

# Справочник

по  
пластическим  
массам



# Справочник

по  
пластическим  
массам

■  
ПОД РЕДАКЦИЕЙ  
М. И. ГАРБАРА, В. М. КАТАЕВА,  
М. С. АКУТИНА

ТОМ II



издательство • химия • 1969

**Справочник по пластическим массам** под ред.  
М. И. Гарбара, В. М. Катаева, М. С. Акутина

В справочнике изложены основные сведения о пластических массах, выпускаемых промышленностью Советского Союза (по состоянию на первую половину 1969 г.). Приведены показатели химических и физико-механических свойств важнейших полимеров, технические требования к вырабатываемым на их основе пластмассам, рассмотрены области их применения и способы переработки в изделия; описаны наиболее распространенные пластификаторы, стабилизаторы и клеи для полимеров.

Справочник предназначен для инженерно-технических работников предприятий, выпускающих и перерабатывающих пластические массы, а также для специалистов проектных и научно-исследовательских институтов тех отраслей народного хозяйства, где используются пластические массы.

Книга содержит 106 рис. и 282 библиографические ссылки.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
Ненасыщенные полиэфиры <i>З. В. Михайлова, Л. Н. Седов, П. З. Ли</i>	7
Эпоксидные полимеры <i>И. М. Гурман, И. Б. Кузнецова, М. С. Акутин</i>	53
Кремнийорганические пластмассы <i>В. И. Пахомов</i>	127
Полиэтилентерефталат <i>Н. В. Андрианова, О. А. Клаповская, Ф. М. Медведева</i>	142
Пентапласт <i>А. В. Купфер</i>	148
Вспененные пластмассы <i>Л. И. Покровский, В. Г. Вахтин, Н. А. Напалков</i>	155
Эфиры целлюлозы <i>М. В. Прокофьева, В. Н. Кряжев, Ю. И. Владимиров</i>	196
Стеклопластики <i>Б. С. Львов</i>	249
Полиарилаты <i>Л. А. Родивилова, М. С. Акутин, С. А. Морозова, Ю. М. Будницкий</i>	289
Полиимиды <i>М. Л. Доброхотова, К. Н. Власова</i>	317
Фенилон <i>Л. Б. Соколов, Г. Г. Кузнецов, Л. Н. Фоменко</i>	326
Пластификаторы <i>Л. И. Буринова, Р. А. Абрамова, Г. Г. Лысенко, И. А. Сорокина, Р. С. Барштейн</i>	344
Стабилизация пластмасс <i>Э. А. Аюпджанян, В. В. Гурьянова, Э. И. Кириллова, Б. М. Коварская, А. А. Козодой, Н. П. Лазарева, И. И. Левантовская, Е. Н. Матвеева, Н. Н. Павлов, З. В. Попова, М. И. Фролова, С. С. Хинькис</i>	366
Антистатик <i>Ю. И. Василенок</i>	445
Синтетические клеи <i>Д. А. Кардашов</i>	462
Предметный указатель	503
Указатель марок, названий	503

## ВВЕДЕНИЕ

**В**о втором томе справочника собраны важнейшие данные о физико-механических и химических свойствах, способах переработки и областях применения различных олигомеров и полимеров на их основе (полиэфирные и эпоксидные смолы), новых термостойких полимеров (полиарилаты, фенилон, полиимиды), производство которых начинает осваиваться промышленностью, а также о вспомогательных веществах, имеющих огромное значение для сохранения работоспособности полимеров и для регулирования их физико-механических свойств (пластификаторы, стабилизаторы, антистатик).

Интересной является глава, посвященная вспененным пластмассам, в которой приведены данные о выпускаемых в настоящее время в промышленности пенопластах. Отдельная глава, в которой собраны обширные сведения об армирующей способности и армирующем действии стекловолокнистых наполнителей, различных видах нетканых наполнителей и связующих, посвящена стеклопластикам.

Хотя клеи не являются пластмассами, составители справочника сочли целесообразным включить эту главу в данное издание, поскольку содержащиеся в ней сведения могут оказаться полезными для потребителей пластмасс.

В предисловии к первому тому говорилось о трудностях, связанных с тем, что основные физико-химические свойства полимеров определяются на образцах, полученных в различных условиях переработки.

При испытании образцов, полученных на основе олигомеров, эти трудности неизмеримо возрастают и лишают во многих случаях возможности сопоставления данных о физико-химических свойствах, взятых из разных источников. Это объясняется тем, что даже в одинаковых условиях переработки трудно добиться полного завершения реакций поликонденсации или полимеризации олигомеров.

Хорошо известным способом — варьированием температурно-временного режима отверждения олигомеров в процессе переработки — можно оказать существенное влияние на стабильность физических и химических свойств структурированных полимеров. С повышением температуры скорость трехмерной полимеризации

или трехмерной поликонденсации на глубоких стадиях увеличивается. Эта зависимость проявляется для всех олигомеров на глубоких стадиях в большей степени, чем в начальный период реакции.

Скорость полимеризации и поликонденсации и степень завершенности реакции зависят также от химической природы исходных олигомеров (в первую очередь от длины цепи) и строения отверждающих агентов.

Качество изделий зависит от наличия в полимере внутренних напряжений. Появление последних в отвержденных образцах ухудшает их механические свойства и приводит в ряде случаев к растрескиванию. Поэтому в процессах трехмерной полимеризации необходимо строго следить за соблюдением температурного режима, равномерным распределением отвердителей или инициаторов и т. д. Контроль за протеканием элементарных реакций при отверждении олигомеров затруднен. Это связано с отсутствием надежных методов регистрации процессов полимеризации или поликонденсации в вязких и структурированных системах. В последнее время предложены термогравиметрический и дилатометрический методы исследования полимеризации (до конечных глубин превращения), разработан метод определения констант скоростей распада фото- и термохимических инициаторов полимеризации, а также констант и скоростей иницирования в условиях высоковязких сред при образовании пространственных полимеров. Однако эти методы сложны и могут быть использованы лишь в редких случаях. Поэтому для оценки процессов структурирования олигомеров целесообразно комплексно использовать более распространенные методы исследования (метод ИК-спектроскопии, термомеханический метод, метод дифференциально-термического анализа, исследование реологических свойств, метод ядерного магнитного резонанса и др.).

Все критические замечания и пожелания по содержанию второго тома справочника будут приняты с благодарностью.

## НЕНАСЫЩЕННЫЕ ПОЛИЭФИРЫ

**Н**енасыщенные полиэфирные смолы представляют собой растворы ненасыщенных полиэфиров молекулярного веса 700—3000 в мономерах или олигомерах, способных к сополимеризации с этими полиэфирами. Они относятся к числу термореактивных материалов с весьма ценным комплексом свойств: небольшой вязкостью, способностью к отверждению не только при повышенной, но и при комнатной температуре без выделения летучих продуктов, хорошими механическими и электроизоляционными свойствами в отвержденном состоянии, высокой стойкостью к действию воды, кислот, бензина, масел и других сред. Кроме того, полиэфирные смолы являются сравнительно дешевыми продуктами, что в ряде случаев делает материалы на их основе конкурентноспособными с другими видами пластмасс и обычными конструкционными материалами (древесина, сталь, бетон и др.).

Ненасыщенные полиэфирные смолы используются главным образом в качестве связующих холодного и горячего отверждения при изготовлении армированных пластиков, прежде всего стеклопластиков, а также в качестве основы для лаков и клеев, компонентов заливочных составов, пластобетонов, шпаклевок и т. д.

Ниже рассматриваются свойства и области применения ненасыщенных полиэфирных смол на основе малеинового ангидрида\*.

Значительная доля ненасыщенных полиэфиров, составляющих основу полиэфирных смол и выпускаемых в промышленном масштабе, представляет собой продукты поликонденсации гликолей с малеиновым и фталевым ангидридами. Введение последнего в состав полиэфиров придает отвержденным продуктам хорошие механические и электроизоляционные свойства. Наряду с этим при производстве полиэфирных смол (в частности смол повышенной эластичности) находят применение адипиновая и себациновая кислоты, при изготовлении самозатухающих смол — тетрахлорфталевого и хлорэндикового ангидриды.

\* В данной главе не рассматриваются ненасыщенные полиэфиры типа олигоэфиракрилатов, подробно освещенные в монографии Берлин А. А. Кефели Т. Я., Королев Г. В., Полиэфиракрилаты, Изд. «Наука», 1967.

В качестве гликолей используют главным образом этиленгликоль, 1,2-пропиленгликоль и диэтиленгликоль, а иногда — триэтиленгликоль.

Большая часть полиэфирных смол, выпускаемых в промышленности, содержит в своем составе стирол в качестве мономера-растворителя. Широкое использование стирола обусловлено его низкой стоимостью, хорошей совместимостью с полиэфирными, малой вязкостью стирольных растворов полиэфиров и умеренной усадкой при их отверждении, а также высокой водостойкостью и хорошими механическими и электроизоляционными свойствами отвержденных смол. К числу мономеров, применяемых в производстве полиэфирных смол, относится также метилметакрилат.

В качестве нелетучих сшивающих агентов для ненасыщенных полиэфиров используют аллиловые эфиры и олигоэфиракрилаты, например диметакрилат триэтиленгликоля (ТГМ-3). При этом уменьшается токсичность смол и иногда снижается усадка в процессе отверждения.

#### ПРОИЗВОДСТВО НЕНАСЫЩЕННЫХ ПОЛИЭФИРНЫХ СМОЛ

Процесс получения ненасыщенных полиэфирных смол складывается из двух стадий: синтеза ненасыщенного полиэфира и его растворения в мономере.

Синтез полиэфира проводят при 170—230°С в расплаве исходных реагентов или при более низких температурах с добавлением растворителей, образующих азеотропные смеси с конденсационной водой (толуол, ксилол, хлорбензол и др.).

Для синтеза ненасыщенных полиэфиров используют аппараты из нержавеющей стали (например, марки 1X18H9T) или эмалированные. Реактор снабжают обратным и прямым холодильниками, мешалкой (якорной или пропеллерной), обогреваемой рубашкой и сборником конденсационной воды.

Более эффективному удалению паров воды способствуют перемешивание реакционной массы, пропускание тока инертного газа (азот, двуокись углерода и др.) и применение вакуума (обычно на последней стадии реакции).

Контроль процесса осуществляют по вязкости, показателю преломления, количеству выделившейся воды или по концентрации карбоксильных групп в реакционной смеси (определение кислотного числа).

Для ускорения процесса иногда применяют катализаторы: минеральные и органические кислоты, например, *n*-толуолсульфокислоту, некоторые соли и т. п.

Скорость поликонденсации, естественно, зависит и от состава исходных веществ. Так, реакционная способность малеинового

ангидрида при взаимодействии с диэтиленгликолем больше, чем фталевого ангидрида. В реакциях малеинового ангидрида с различными гликолями активность последних возрастает в такой последовательности: 1,2-пропиленгликоль — диэтиленгликоль — этиленгликоль. В среднем продолжительность процесса составляет 6—20 ч.

Синтез полиэфиров завершают обычно по достижении кислотных чисел, равных 25—45; при этом процесс в значительной мере замедляется вследствие увеличения вязкости и уменьшения концентрации реакционноспособных групп. Иногда для ускоренного достижения конечных кислотных чисел, а также для улучшения совместимости полиэфиров с мономерами на заключительной стадии поликонденсации в реакционную смесь вводят одноатомный спирт с высокой температурой кипения, например циклогексанол, метилциклогексанол и др.

В отдельных случаях для блокирования концевых гидроксильных групп полиэфиров применяют одноосновные кислоты или их ангидриды (уксусный ангидрид).

Полиэфирные смолы растворяют в том или ином мономере при температуре 20—100°С в атмосфере инертного газа и стабилизируют введением 0,01—0,03% ингибитора (фенолы, хиноны, амины и др.).

#### МАРКИ ПОЛИЭФИРНЫХ СМОЛ\*

Выпускаемые полиэфирные смолы по свойствам и назначению могут быть классифицированы следующим образом.

**Смолы общего назначения ПН-1 (МРТУ 6-05-1082—67) и ПН-2 (ТУ П-379—64).** Используются главным образом при изготовлении крупногабаритных изделий из стеклопластиков контактным методом, что, однако, не исключает других методов переработки (намотка, вакуум-формование, прессование и др.).

Они предназначаются для использования в таких условиях, где не требуются высокая теплостойкость, специальные оптические свойства, повышенная огнестойкость или другие специфические свойства. Смолы этой группы дешевы и изготавливаются, как пра-

\* Наиболее распространенные торговые марки полиэфирных смол за рубежом: акрест, аместер, атлак, бакелит, битл, селектрон, целобонд, кристик, делипол, эрванон, эста, эстал, денофаст, филабонд, габрастер, полималь, глидпол, гликоден, гликолак, гликон, хетрон, изолит, ламелон, ламекс, ламинак, легувал, лерипол, марко, маркон, норсодин, новалит, оркаст, палаталь, пласкон, пластрин, плеоген, поластор, полнак, полилайт, полимастер, ресопол, фадестер, скадопол, сетраол, снерасин, сирестер, соредур, стратил, стерпон, стипол, сумикон, сумилит, синолак, синолит, усефлекс, вестопал, внапал, вибрин.

вилто, из наиболее доступного сырья: этиленгликоля, диэтиленгликоля, пропиленгликоля, малеинового и фталевого ангидридов, причем в качестве мономера-растворителя для ненасыщенных полиэфиров используют почти исключительно стирол. Стоимость смол низкая.

Полиэфирные смолы общего назначения имеют в отвержденном состоянии достаточно высокие прочностные и электроизоляционные характеристики, особенно при комнатной температуре. Однако их теплостойкость обычно невелика (80—130°С по Вика).

**Смолы повышенной теплостойкости ПН-3 (МРТУ 6-05-1082—67), ПН-4 (ВТУ П-220—60), ЗСП-2 и ПНЦ.** Характеризуются теплостойкостью, превышающей 150—170°С (по Вика). Как правило, для получения смол этого типа используют полиэфирные смолы повышенной степени ненасыщенности, благодаря чему при отверждении образуются продукты с большой плотностью поперечных связей. Теплостойкость смол может быть повышена введением в молекулы полиэфирного остатка некоторых диолов и кислот циклического строения или применением специальных мономеров, молекулы которых содержат две или больше реакционноспособных двойных связей.

Смолы повышенной теплостойкости применяются главным образом в качестве связующих для стеклопластиков, эксплуатируемых при повышенных температурах. Перерабатываются теми же методами, что и смолы общего назначения.

**Смолы пониженной горючести ПН-1С (ТУ П-438—65), ПН-6 (ВТУ П-221—60), ПН-7, ПН-62 (ТУ П-478—68) и НПС 609-22М (СТУ 30-14366—65).** Получаются следующими методами:

- 1) введением специальных неорганических наполнителей;
- 2) введением специальных органических добавок;
- 3) химической модификацией полиэфирных смол.

Из неорганических добавок, повышающих огнестойкость смол, наиболее широко используют трехокись сурьмы. Однако это соединение эффективно лишь в сочетании с другими антипиренами, в частности, содержащими атомы галоидов. Введение порошкообразных наполнителей (например, трехоксида сурьмы) затрудняет переработку смол из-за повышения их вязкости и тенденции к осаждению наполнителей. Кроме того, ухудшаются некоторые свойства отвержденных продуктов: снижается прочность и утрачивается прозрачность.

К числу органических добавок, понижающих горючесть полиэфирных смол, относятся некоторые хлор- и фосфорсодержащие низкомолекулярные соединения (хлорпарафин, трибутил-, трифенил- и трикрезилфосфат, трихлорэтилфосфит, трихлорэтилфосфат и т. д.) и полимеры (поливинилхлорид, сополимеры винилхлорида, перхлорвиниловая смола, фторсодержащие полимеры и др.). Ис-

пользование этих соединений (в количестве до 20%) повышает огнестойкость смол, но в то же время снижает механическую прочность, теплостойкость и химическую стойкость отвержденных продуктов. Некоторые из низкомолекулярных добавок постепенно «выпотевают» из смол, вследствие чего снижается их огнестойкость. Следует также отметить, что отдельные фосфорорганические соединения значительно замедляют гелеобразование и отверждение смол. Обычно галонд- или фосфорсодержащие антипирены применяют в сочетании с соединениями сурьмы. При этом проявляется взаимно усиливающее (синергическое) действие этих добавок.

Наиболее эффективным способом получения ненасыщенных полиэфирных смол с повышенной огнестойкостью является химическая модификация смол галоидсодержащими кислотами, например, хлорэндиковой и тетрахлорфталевой, или их ангидридами, галоидсодержащими диолами (дихлоргидрин, пентаэритрит, галондированные ароматические диолы и др.), а также некоторыми мономерами: хлорстиролом, винилхлорацетатом, дихлордиэтиловым эфиром винилфосфиновой кислоты, диметакрилатами замещенных фосфиновой и фосфорной кислот.

Найдено, что для придания смолам способности к самозатуханию необходимо вводить в их состав около 25—28% хлора или приблизительно 10% брома; эти количества могут быть существенно уменьшены при введении в смолы небольшого количества трехоксида сурьмы или соединений фосфора.

**Связующие для светопропускаемых стеклопластиков ПНМ-2 (ТУ П-448—65), ПН-1М и ПНМ-8 (ТУ П-559—67).** При изготовлении плоских и волнистых листов и других изделий из стеклопластиков, пропускающих до 90% дневного света и используемых в качестве кровельного материала и для остекления цехов, теплиц и т. д., применяют полиэфирные связующие особого состава.

Эти смолы должны быть прозрачными и бесцветными, иметь низкую вязкость и повышенную светостойкость; показатель преломления отвержденных продуктов должен приближаться к соответствующему показателю стеклонаполнителя.

Перечисленные свойства достигаются соответствующим подбором гликолей, модифицирующих кислот и мономеров, причем нередко используют пропиленгликоль, тетрагидрофталевый и эндо-метилтетрагидрофталевый ангидриды, метилметакрилат в сочетании со стиролом и т. д. Для повышения стойкости к действию УФ-лучей в смолы вводят малые количества светостабилизаторов, например, 2-окси-4-метоксибензофенон, производные бензотриазола и фенолсалицилата.

**Водо- и кислотостойкие смолы ПН-10 и ПН-10/40 (ТУ П-522—67), ПНЦ и ЗСП-6.** Смолы с повышенной химической стойкостью применяют при получении стеклопластиков, из которых изготавливают различную аппаратуру, трубопроводы, хранилища и изделия

## Технические требования

Показатели *	ПН-1 МРТУ 6-05-1082-67	ПН-2 ТУ П-379-64	ПН-3 МРТУ 6-05-1082-67	ПН-4 ВТУ П-220-60	ПН-1С ТУ П-438-65	ПН-6 ВТУ П-221-60
	Плотность при 20° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,12—1,15	1,18—1,22	1,12—1,15	1,14—1,17	1,18—1,25
Вязкость при 20° С, сПз	—	3000—7000	—	Не более 2000	—	—
Вязкость при 20° С по ВЗ-1, сек. . . . .	20—40	100—200	20—50	—	60—100	45—90
Содержание стирола, %	30—33	—	28—31	29—33	—	29—31
Продолжительность ге- теобразования** при 20° С, мин . . . . .	60—120	60—120	60—180	60—180	60—300	120—300

\* Кроме показателей, приведенных в таблице, технические условия на некоторые смолы: смол ПН-1, ПН-4 и ПН-1С — не менее 8 кг/мм<sup>2</sup> (в последнем случае через 2 суток), для ПН-2 — смолы ПН-3 в процессе отверждения при 40° С должна составлять не менее 90° С.

\*\* В присутствии следующих иницирующих систем: ПН-1, ПН-3 и ПН-1С — 3 вес. ч. гипериза и 8 вес. ч. ускорителя НК; ПН-62 — 3 вес. ч. гипериза, 2 вес. ч. 50%-ной анилина; МПН-2 — 2 вес. ч. пасты перекиси бензоила и 2 вес. ч. раствора диметиланилина;

специального назначения, а также при изготовлении некоторых замазок, мастик и пластобетонов. Повышенная водостойкость и химическая стойкость смол достигается введением в их состав гидрофобных циклических радикалов, например, остатков изофталевой, эндометилентетрагидрофталевой и других кислот, аддуктов на основе канифоли и антрацена, оксиалкилированных или гидрированных дифенолов и т. д. Кроме того, для этой цели используют гликоли разветвленного строения (неопентилгликоль, дихлоргидрип пентаэритрита и др.). Полиэфирные смолы с повышенной химической стойкостью перерабатываются обычными методами.

Смолы, не содержащие летучих мономеров ПН-11 (ТУ П-457—66), ПН-2ГО (СТУ 30-14110—63), ПН-2Н, ЗСП-3 (ВТУ СП 48—67, группа Л-27) ЗСП-4, ПН-62, ПНТ-2 (ТУ 60—66), НПС 609-21М (СТУ 30-14366—65) и НПС 609-22М. Замена стирола и метилметакрилата менее летучими мономерами и олигомерами, например, диаллилфталатом, диаллилизифталатом, триаллилциануратом, диметилакрилатом триэтиленгликоля (ТГМ-3) и олигоэфиракрилатами, дает возможность улучшить условия труда при производстве и переработке полиэфирных смол. В ряде случаев, особенно при переработке смол при повышенных температурах, применение малолетучих мономеров дает возможность улучшить качество изделий в результате уменьшения их пористости и сохранения постоянства состава связующего.

Смолы для полуфабрикатов со стеклонаполнителем, перерабатываемых прессованием («премиксы» и «препреги») ПН-1, ПН-2, ЗСП-3, ЗСП-4. Смолы этого типа отличаются повышенной вязко-

## к полиэфирным смолам

ПН-62 ТУ П-478-68	ПНМ-2 ТУ П-448-65	ПН-10	ПН-10/40	ПН-11 ТУ П-457-66	ПН-60 ВТУ П-374-64	ПН-100 ТУ П-442-65	СКПС-3 ТУ П-465-66	ПН-301 ТУ П-537-67
		ТУ П-522-67						
1,26—1,29 1300—2000	1,15—1,17 200—400	1,075—1,085 1000—1300	1,09—1,11 1600—2500	1,182—1,198 1000—1600	1,10—1,12 75—225	1,06—1,08 140—250	1,00—1,01 70—150	1,08—1,10 150—300
—	14—17	—	—	—	—	—	—	—
60—300	30—70	43—47	33—42	—	30—36	30—36	47—53	38—42
—	—	180—300	100—300	Не более 10	—	—	—	—

гипериза и 8 вес. ч. ускорителя НК на 100 вес. ч. смолы; ПН-2, ПН-4, ПН-6, ПН-10 и ПН-10/40 — пасты перекиси бензоила, 8 вес. ч. ускорителя НК и 1 вес. ч. 10%-ного раствора диметил-

ПН-11 — 2 вес. ч. пасты перекиси бензоила (100° С).

стью, что связано со спецификой их переработки. Они содержат в качестве мономеров стирол или аллиловые эфиры и диметакрилаты. Иногда применяют твердые мономеры — акриламид, триаллилцианурат и др.

Для уменьшения липкости и повышения стабильности полуфабрикатов при хранении в жидкие связующие вводят загустители (тиксотропные добавки) или применяют кристаллизующиеся полиэфирные «премиксы» и «препреги» перерабатывают почти исключительно прессованием.

Смолы повышенной эластичности ПН-69 (ВТУ П-374—64), ПН-100 (ТУ П-442—65), СКПС-3 (ТУ П-465—66), ЗСП-7. Применяются главным образом для заливки и пропитки различных деталей, для «эластификации» жестких смол и т. д.

При их получении используют алифатические модифицирующие кислоты (адипиновая, себациновая), димеризованные жирные кислоты и гликоли с длинной цепью (ди- и триэтиленгликоль, пол-диалкиленгликоли).

Большая часть смол такого типа имеет пониженную вязкость, а в отвержденном состоянии — большое относительное удлинение при разрыве, высокую стойкость к ударным нагрузкам и вибрациям и повышенную морозостойкость.

Лаки ПН-1, ПН-2, ПН-3, ПН-2ГО, ПН-2Н, ПЭ-29 (ТУ ЯН-215—60), ПЭ-219, ПЭ-220 (СТУ 104-329—65). Лаки на основе ненасыщенных полиэфирных смол содержат до 95% пленкообразующих веществ. Нанесением одного слоя полиэфирного лака можно получить покрытие толщиной 200—300 мк.



Для устранения ингибирующего действия воздуха в процессе отверждения полиэфирных смол (проявляющегося в поверхностной липкости покрытий) в их состав вводят 0,05—2,0% воскообразных добавок (парафин, церезин и стеариновая кислота). Эти вещества всплывают на поверхность покрытия и образуют тонкий защитный слой, предохраняющий смолу от непосредственного контакта с воздухом и уменьшающий потери мономера.

Полиэфирные покрытия отличаются хорошей адгезией к деревине, бумаге и некоторым другим материалам, блеском и прозрачностью, стойкостью к действию воды, спирта и бензина; они могут быть легко окрашены во все цвета. Полиэфирные лаки наносятся главным образом методом распыления.

Основные требования, предъявляемые к полиэфирным смолам различных марок, приведены на стр. 12—13.

### КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРНЫХ СМОЛ

Полиэфирные смолы применяют чаще всего в сочетании с различными добавками: наполнителями, разбавителями, пигментами, красителями и т. д., придающими композиции специфические свойства. Большая часть этих смол перерабатывается в виде композиций, армированных стекловолокнистыми наполнителями.

Состав и свойства армированных пластиков рассматриваются в соответствующей главе справочника. Здесь мы приведем примеры полиэфирных композиций различного назначения без армирующих наполнителей или содержащих эти наполнители в очень малом количестве.

#### Связующее холодного отверждения

	Состав, вес. ч.
Смола ПН-1 . . . . .	100
Гипериз . . . . .	3
Ускоритель НК . . . . .	8
Аэросил (при оформлении наклонных и вертикальных элементов изделий) . . . . .	1—3
Пигмент или краситель (в случае необходимости) . . . . .	0,01—1

#### Композиция ПП-1 для литья под давлением

	Состав, вес. ч.
Совмешенное полиэфирное связующее . . . . .	40
Кварцевая мука . . . . .	34
Белая сажа . . . . .	26
Перекись бензоила . . . . .	1

#### Прессовочные композиции с порошкообразными наполнителями

	Состав, вес. ч.
Полиэфирная смола ПН-1 или ТМГФ-11 . . . . .	100
Перекись бензоила . . . . .	1
Минеральный наполнитель (кварцевая мука, тальк, слюда или каолин) . . . . .	84
Загуститель . . . . .	66

### Полиэфирно-эпоксидное связующее повышенной огнестойкости

	Состав, вес. ч.
Ненасыщенный полиэфир . . . . .	100
Стирол . . . . .	50
Смола ЭД-5 . . . . .	50
Маленновый ангидрид . . . . .	15
Трехокись сурьмы . . . . .	10
Перекись бензоила . . . . .	2
Диметиланилин . . . . .	0,2

### Кислотоупорная замазка

	Состав, вес. ч.
Полиэфирная смола (например, ПН-1) с отверждающими добавками . . . . .	100
Минеральный наполнитель . . . . .	200—300

### Пасты для устранения дефектов металлических отливок

	Состав, вес. ч.		Состав, вес. ч.
Смола ПН-1 или ПН-2 . . . . .	33,5	Смола ЭД-5 . . . . .	100
Металлический порошок . . . . .	60,0	Смола ПН-1 . . . . .	20
Гипериз . . . . .	1,0	Гексаметилендиамин или полиэтиленполиамин . . . . .	10—20
Ускоритель НК . . . . .	2,5	Наполнитель (например, графит) . . . . .	До 200
Стекловолокно . . . . .	3,0		

### Шпаклевки и мастики для выравнивания и гидроизоляции поверхности бетона

Состав	Композиции для нанесения			
	шпателем		кистью	
	№ 10	№ 15	№ 05	№ 09
	Содержание компонентов, вес. ч.			
Смола ПН-1 или ПН-3 . . . . .	100	100	100	100
Наполнители (мел, каолин, глина) . . . . .	40—80	40—100	—	До 60
Аэросил . . . . .	3—4	—	—	3—4
Битум БН-У . . . . .	—	50—75	15—20	До 40
Гипериз . . . . .	3—5	4—6	4	3—6
Ускоритель НК . . . . .	8—10	8—10	8	10—15

### Полиэфирно-кумароновые составы для наливных полов

	Состав, вес. ч.		
	ПЭК-1	ПЭК-2	ПЭК-1
Смола ПН-69 . . . . .	80	—	—
Смола ПН-100 . . . . .	—	—	85
Смола СКПС-3 . . . . .	—	80	—
Кумароновая смола . . . . .	20	20	15
Кварцевый песок или поргланцимент . . . . .	80	95	85

**Пластобетон**

	Состав, вес. ч.	
Смола ПН-1 . . . . .	180	
Песок рядовой . . . . .	1530	
Песок тонкомолотый . . . . .	437	
Гипериз . . . . .	3,6	
Ускоритель НК . . . . .	14,4	

**Полиэфирные клеи**

	Состав, вес. ч.		
Смола ПН-1 . . . . .	100	100	100
Гипериз . . . . .	3-4	1	-
Перекись бензоила . . . . .	-	-	1
Ускоритель НК . . . . .	8-9	3	-
Диметиланилин . . . . .	-	0,02	0,02
Белая сажа . . . . .	1	-	-

**Пропиточные и заливочные составы (компаунды) электро- и радиотехнического назначения**

	Состав, вес. ч.	
	КГМС-1	КГМС-2
Полиэфир № 1 (МРТУ 6-05-1122-68)	50	-
Полиэфир № 2 (ТУ МХП КУ-466-57)	-	60
Стирол . . . . .	50	40
Перекись бензоила . . . . .	1	1
Гидрохинон . . . . .	0,05	0,05

**Лаки**

**Мебельный ПЭ-29 (ТУ ЯН-215-60)**

	Состав вес. ч.
Полуфабрикатный лак — стирольный раствор ненасыщенного полиэфир с всплывающей добавкой . . . . .	100
Раствор нафтената кобальта в стироле (1,5% Со) . . . . .	3,4
Гидроперекись кумола (в расчете на 100%-ную) . . . . .	4,6

**Полималеинатный ПЭ-220 (СТУ 104-329-65)**

	Состав вес. ч.
Полуфабрикатный лак — раствор ненасыщенного полиэфир в эфире ТГМ-3 с добавками коллоксилина ВВ, ацетона, алкидной смолы и раствора нафтената кобальта . . . . .	100
Гидроперекись кумола . . . . .	3,6

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИЭФИРНЫХ СМОЛ**

Основными свойствами, определяющими способность полиэфирных смол к переработке тем или иным методом, являются вязкость и жизнеспособность смол с отверждающими добавками, характеризующая продолжительностью гелеобразования. Важный показатель реакционной способности, или активности полиэфирных смол — максимальная температура саморазогрева в процессе отверждения. Данные об этих свойствах приведены на стр. 17.

**Технологические свойства полиэфирных смол**

Показатели	ПН-1 (МРТУ 6-05-1082-67)		ПН-2 (ВТУ П-379-64)		ПН-3 (МРТУ 6-05-1082-67)		ПН-4 (ВТУ П-220-60)		ЗСП-2		ПН-1С (ТУ П-1438-65)		ПН-6 (ВТУ П-221-60)		ПН-7		ПН-62 (ТУ П-478-68)		НПС 609-22М (СТУ 30-1436-65)		ПНМ-2 (ТУ П-448-65)				
	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Вязкость, сПа·с	Продолжительность гелеобразования при 20°С, мин	Максимум экзотермы отверждения при 40°С в присутствии 3% гипериза и 8% ускорителя НК, °С	Время достижения максимума экзотермы, мин	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Вязкость, сПа·с	Продолжительность гелеобразования при 20°С, мин	Максимум экзотермы отверждения при 40°С в присутствии 3% гипериза и 8% ускорителя НК, °С	Время достижения максимума экзотермы, мин	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Вязкость, сПа·с	Продолжительность гелеобразования при 20°С, мин	Максимум экзотермы отверждения при 40°С в присутствии 3% гипериза и 8% ускорителя НК, °С	Время достижения максимума экзотермы, мин	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Вязкость, сПа·с	Продолжительность гелеобразования при 20°С, мин	Максимум экзотермы отверждения при 40°С в присутствии 3% гипериза и 8% ускорителя НК, °С	Время достижения максимума экзотермы, мин	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Вязкость, сПа·с	Продолжительность гелеобразования при 20°С, мин	Максимум экзотермы отверждения при 40°С в присутствии 3% гипериза и 8% ускорителя НК, °С	Время достижения максимума экзотермы, мин
ПН-1	1,12-1,16	380-600	60-120	90-120	30-50	1,12-1,16	380-600	60-120	90-120	30-50	1,14-1,16	60-180	60-120	1,25-1,26	60-90	1,25-1,32	120-300	1,26-1,29	1000-1500	1,20-1,30	700-900	1,15-1,17	1,20-1,30	1,15-1,17	300-400
ПН-2	1,18-1,23	380-600	60-120	90-120	30-50	1,14-1,16	60-180	60-120	140-160	40-50	1,15-1,18	60-120	60-120	1,18-1,25	60-100	1,31-1,32	1100-1800	1,26-1,29	1000-1500	1,20-1,30	70-85	120-130	1,15-1,17	300-400	
ПН-3	1,12-1,16	380-600	60-120	90-120	30-50	1,14-1,16	60-180	60-120	140-160	40-50	1,15-1,18	60-120	60-120	1,18-1,25	60-100	1,31-1,32	1100-1800	1,26-1,29	1000-1500	1,20-1,30	70-85	120-130	1,15-1,17	300-400	
ПН-4	1,12-1,16	380-600	60-120	90-120	30-50	1,14-1,16	60-180	60-120	140-160	40-50	1,15-1,18	60-120	60-120	1,18-1,25	60-100	1,31-1,32	1100-1800	1,26-1,29	1000-1500	1,20-1,30	70-85	120-130	1,15-1,17	300-400	
ЗСП-2	1,12-1,16	380-600	60-120	90-120	30-50	1,14-1,16	60-180	60-120	140-160	40-50	1,15-1,18	60-120	60-120	1,18-1,25	60-100	1,31-1,32	1100-1800	1,26-1,29	1000-1500	1,20-1,30	70-85	120-130	1,15-1,17	300-400	
ПН-1С	1,12-1,16	380-600	60-120	90-120	30-50	1,14-1,16	60-180	60-120	140-160	40-50	1,15-1,18	60-120	60-120	1,18-1,25	60-100	1,31-1,32	1100-1800	1,26-1,29	1000-1500	1,20-1,30	70-85	120-130	1,15-1,17	300-400	
ПН-6	1,12-1,16	380-600	60-120	90-120	30-50	1,14-1,16	60-180	60-120	140-160	40-50	1,15-1,18	60-120	60-120	1,18-1,25	60-100	1,31-1,32	1100-1800	1,26-1,29	1000-1500	1,20-1,30	70-85	120-130	1,15-1,17	300-400	
ПН-7	1,12-1,16	380-600	60-120	90-120	30-50	1,14-1,16	60-180	60-120	140-160	40-50	1,15-1,18	60-120	60-120	1,18-1,25	60-100	1,31-1,32	1100-1800	1,26-1,29	1000-1500	1,20-1,30	70-85	120-130	1,15-1,17	300-400	
ПН-62	1,12-1,16	380-600	60-120	90-120	30-50	1,14-1,16	60-180	60-120	140-160	40-50	1,15-1,18	60-120	60-120	1,18-1,25	60-100	1,31-1,32	1100-1800	1,26-1,29	1000-1500	1,20-1,30	70-85	120-130	1,15-1,17	300-400	
НПС 609-22М	1,12-1,16	380-600	60-120	90-120	30-50	1,14-1,16	60-180	60-120	140-160	40-50	1,15-1,18	60-120	60-120	1,18-1,25	60-100	1,31-1,32	1100-1800	1,26-1,29	1000-1500	1,20-1,30	70-85	120-130	1,15-1,17	300-400	
ПНМ-2	1,12-1,16	380-600	60-120	90-120	30-50	1,14-1,16	60-180	60-120	140-160	40-50	1,15-1,18	60-120	60-120	1,18-1,25	60-100	1,31-1,32	1100-1800	1,26-1,29	1000-1500	1,20-1,30	70-85	120-130	1,15-1,17	300-400	

**Продолжение**

Показатели	ПН-8 (ТУ П-559-67)		ЗСП-1		ПН-10 (ТУ П-522-67)		ЗСП-6		ПН-11 (ТУ П-457-66)		ЗСП-3		НПС 609-21М (СТУ 30-1436-65)		ПН-69 (ВТУ П-374-64)		ПН-100 (ТУ П-442-65)		СМПС-3 (ТУ П-463-66)		
	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Вязкость, сПа·с	Продолжительность гелеобразования при 20°С, мин	Максимум экзотермы отверждения при 40°С в присутствии 3% гипериза и 8% ускорителя НК, °С	Время достижения максимума экзотермы, мин	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Вязкость, сПа·с	Продолжительность гелеобразования при 20°С, мин	Максимум экзотермы отверждения при 40°С в присутствии 3% гипериза и 8% ускорителя НК, °С	Время достижения максимума экзотермы, мин	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Вязкость, сПа·с	Продолжительность гелеобразования при 20°С, мин	Максимум экзотермы отверждения при 40°С в присутствии 3% гипериза и 8% ускорителя НК, °С	Время достижения максимума экзотермы, мин	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Вязкость, сПа·с	Продолжительность гелеобразования при 20°С, мин	Максимум экзотермы отверждения при 40°С в присутствии 3% гипериза и 8% ускорителя НК, °С	Время достижения максимума экзотермы, мин	
ПН-8	1,12-1,14	500-800	250-350	90-120	30-50	1,07-1,08	1000-1300	440-1070	60-180	1,16-1,18	1000-1300	1,20-1,23	360-710	1,16-1,18	60-120	1,10-1,11	100-200	1,06-1,07	100-200	1,09-1,01	100-250
ЗСП-1	1,12-1,14	500-800	250-350	90-120	30-50	1,07-1,08	1000-1300	440-1070	60-180	1,16-1,18	1000-1300	1,20-1,23	360-710	1,16-1,18	60-120	1,10-1,11	100-200	1,06-1,07	100-200	1,09-1,01	100-250
ПН-10	1,12-1,14	500-800	250-350	90-120	30-50	1,07-1,08	1000-1300	440-1070	60-180	1,16-1,18	1000-1300	1,20-1,23	360-710	1,16-1,18	60-120	1,10-1,11	100-200	1,06-1,07	100-200	1,09-1,01	100-250
ЗСП-6	1,12-1,14	500-800	250-350	90-120	30-50	1,07-1,08	1000-1300	440-1070	60-180	1,16-1,18	1000-1300	1,20-1,23	360-710	1,16-1,18	60-120	1,10-1,11	100-200	1,06-1,07	100-200	1,09-1,01	100-250
ПН-11	1,12-1,14	500-800	250-350	90-120	30-50	1,07-1,08	1000-1300	440-1070	60-180	1,16-1,18	1000-1300	1,20-1,23	360-710	1,16-1,18	60-120	1,10-1,11	100-200	1,06-1,07	100-200	1,09-1,01	100-250
ЗСП-3	1,12-1,14	500-800	250-350	90-120	30-50	1,07-1,08	1000-1300	440-1070	60-180	1,16-1,18	1000-1300	1,20-1,23	360-710	1,16-1,18	60-120	1,10-1,11	100-200	1,06-1,07	100-200	1,09-1,01	100-250
НПС 609-21М	1,12-1,14	500-800	250-350	90-120	30-50	1,07-1,08	1000-1300	440-1070	60-180	1,16-1,18	1000-1300	1,20-1,23	360-710	1,16-1,18	60-120	1,10-1,11	100-200	1,06-1,07	100-200	1,09-1,01	100-250
ПН-69	1,12-1,14	500-800	250-350	90-120	30-50	1,07-1,08	1000-1300	440-1070	60-180	1,16-1,18	1000-1300	1,20-1,23	360-710	1,16-1,18	60-120	1,10-1,11	100-200	1,06-1,07	100-200	1,09-1,01	100-250
ПН-100	1,12-1,14	500-800	250-350	90-120	30-50	1,07-1,08	1000-1300	440-1070	60-180	1,16-1,18	1000-1300	1,20-1,23	360-710	1,16-1,18	60-120	1,10-1,11	100-200	1,06-1,07	100-200	1,09-1,01	100-250
СМПС-3	1,12-1,14	500-800	250-350	90-120	30-50	1,07-1,08	1000-1300	440-1070	60-180	1,16-1,18	1000-1300	1,20-1,23	360-710	1,16-1,18	60-120	1,10-1,11	100-200	1,06-1,07	100-200	1,09-1,01	100-250

Известно, что низковязкие смолы удобно перерабатывать методами заливки, пропитки и распыления. Для контактного формования стеклопластиков обычно используют связующие с вязкостью до 2000 *спз*. Высоковязкие и твердые смолы находят применение в составе пресскомпозиций, например, типа «премиксов» и препрегов».

Вязкость полиэфирных смол резко снижается при повышении температуры. Так, например,

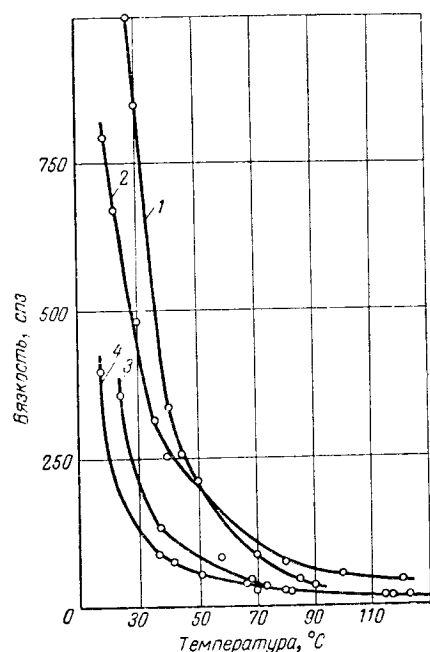


Рис. 1. Температурная зависимость вязкости полиэфирных смол различных марок.

1 — ПН-2; 2 — ПН-3; 3 — ПН-1; 4 — ПН-4.

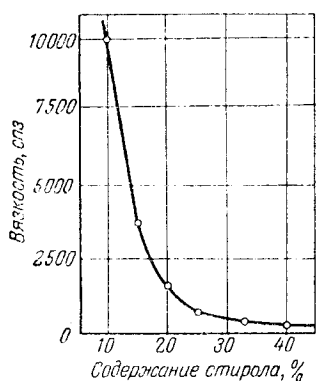


Рис. 2. Зависимость вязкости стирольных растворов полидигликольмалеинатфталата (3:2:1) от концентрации стирола.

#### Физико-механические свойства

Показатели	ПН-1	ПН-2	ПН-3	ПН-4	ЗСП 2
Плотность, $г/см^3$	1,21—1,28	1,26—1,29	1,22—1,25	1,21—1,25	—
Предел прочности, $кг/см^2$					
при растяжении	400—450	250—300	450—550	400—500	—
> сжатия	800—1100	1050—1350	800—1250	1000—1200	1000—1300
> изгиба	825—1100	700—1050	600—850	500—800	800—1000
Удельная ударная вязкость, $кг·см/см^2$	6—10	2—5	7—11	4—8	4—8
Модуль упругости при изгибе, $кг/см^2$	$2,2 \cdot 10^4$ — $2,8 \cdot 10^4$	$2,5 \cdot 10^4$ — $3,5 \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^4$ — $2,5 \cdot 10^4$	$2,4 \cdot 10^4$ — $3,2 \cdot 10^4$	—
Твердость по Бринеллю, $кг/мм^2$	14—18	17—24	10—15	10—15	13—19

мер, повышение температуры с 20 до 30° С может вызывать уменьшение вязкости в 2 раза. Температурная зависимость вязкости показана на рис. 1.

Вязкость полиэфирных смол снижается также при разбавлении стиролом и другими мономерами. Зависимость вязкости смолы от содержания стирола показана на рис. 2.

#### ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОТВЕРЖДЕННЫХ ПОЛИЭФИРНЫХ СМОЛ

Данные об основных механических свойствах отвержденных полиэфирных смол при комнатной температуре приведены на стр. 18—21.

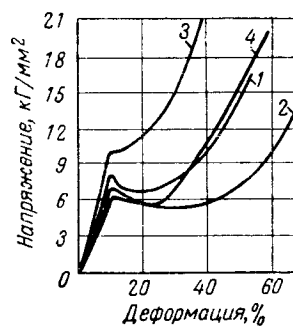


Рис. 3. Диаграммы сжатия различных полиэфирных смол: 1 — ПН-1 в сухом состоянии; 2 — ПН-1 после длительного пребывания в воде; 3 — связующее 911 МС; 4 — ПН-3 до термообработки.

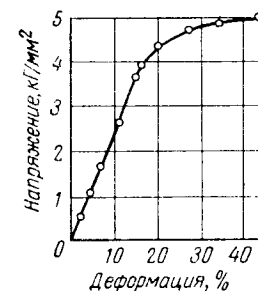


Рис. 4. Диаграмма растяжения смолы ПН-1 при постоянной скорости деформации  $v_\epsilon = 10^{-2} \text{ мин}^{-1}$ .

Типичные диаграммы сжатия и растяжения некоторых смол представлены на рис. 3 и 4.

#### отвержденных полиэфирных смол

	ПН-1С	ПН-6	ПН-7	ПН-62	НПС 609-22М	ПНМ-2
	1,33—1,34	1,40—1,42	—	1,32—1,35	—	1,26—1,27
	250—280 980—1190 440—55С	— 1050—1150 300—41С	— 500—70С 560—870	— 800—1250 500—70С	250—300 1000—1300 500—60С	— 1150—135С 550—650
	4	2—3	3—5	3—6	5—7	—
	$2,8 \cdot 10^4$ — $2,9 \cdot 10^4$	$3,3 \cdot 10^4$ — $3,9 \cdot 10^4$	$3,3 \cdot 10^4$ — $3,7 \cdot 10^4$	$3,0 \cdot 10^4$ — $3,2 \cdot 10^4$	—	$2,5 \cdot 10^4$ — $2,8 \cdot 10^4$
	15—22	17—21	15—25	15—25	—	12—14

Продолжение

Показатели	ПН-1М	ПНМ-8	ЭСП-1	ПН-10
Плотность, $g/cm^3$ . .	—	1,22–1,23	—	1,18–1,21
Предел прочности, $кг/см^2$	—	—	—	—
> при растяжении	800–1100	1000–1100	1000–1300	1000–1100
> сжатии . . . . .	700–1000	650–750	800–1000	240–300
> изгибе . . . . .	—	—	—	—
Удельная ударная вязкость, $кг·см/см^2$	4–8	2–3	3–10	2–3
Модуль упругости при изгибе, $кг/см^2$	—	—	—	$3,2 \cdot 10^4$ – $3,4 \cdot 10^4$
Твердость по Бринеллю, $кг/мм^2$	12–14	23–27	13–18	20–23

ЭСП-6	ПН-11	НПС 609 21М	ПН-69	ПН-100	СКПС 3
—	1,27–1,29	—	1,19–1,21	1,15–1,17	1,08–1,10
—	—	—	60–120	20–60	60–110
1200–1600	850–1050	1000–1400	—	—	—
450–600	500–600	600–800	—	—	—
2–7	5–6	3–7	55–100	—	—
—	$2,6 \cdot 10^4$ – $2,8 \cdot 10^4$	—	—	—	—
15–20	12–16	15–25	—	—	—

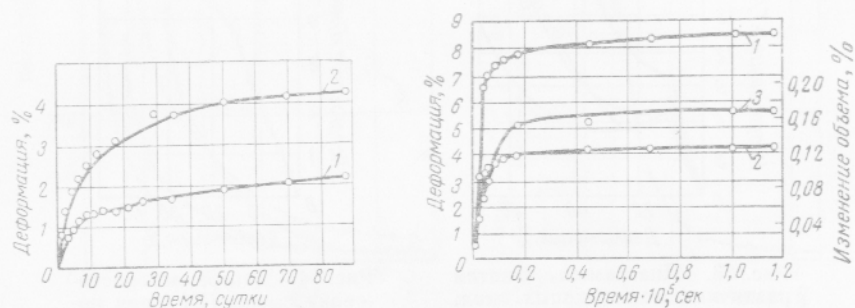


Рис. 5. Кривые ползучести смолы ПН-1 при 30° С:  
1 – напряжение 18  $кг/см^2$ ; 2 – напряже-  
ние 34,5  $кг/см^2$ .

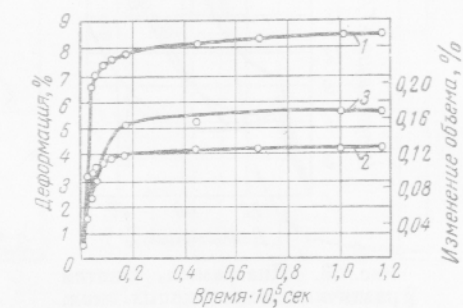


Рис. 6. Изменение во времени продоль-  
ных (1) и поперечных (2) деформаций и  
объема (3) отвержденной смолы ПН-1 при  
55° С и напряжении 17,5  $кг/см^2$ .

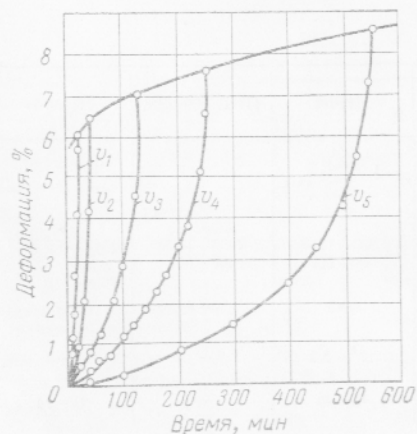


Рис. 7. Зависимость предельной деформа-  
ции смолы ПН-1 от длительности равно-  
мерного нагружения ( $t = \frac{\sigma}{v}$ ) с раз-  
личными скоростями ( $v_1 > v_2 > v_3 > v_4 > v_5$ ).

Деформация полиэфирных связующих в значительной степени изменяется во времени (рис. 5–7). Как видно из рис. 8, предел

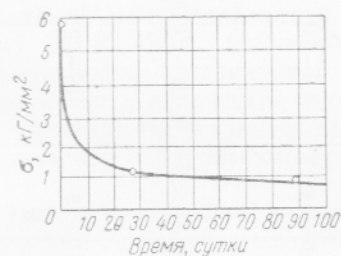


Рис. 8. Временная зависимость  
прочности смолы ПН-1 при по-  
стоянной нагрузке и температуре  
20° С.

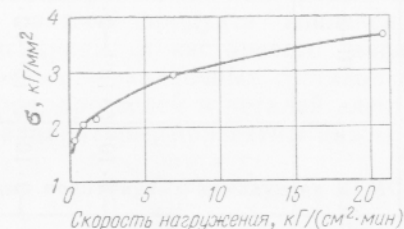


Рис. 9. Зависимость прочности  
смолы ПН-1 от скорости равно-  
мерного нагружения.

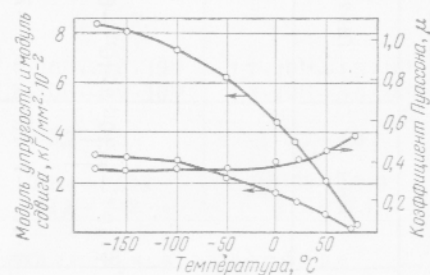


Рис. 10. Температурная зависимость  
упругих постоянных смолы ПН-1 (мо-  
дуль упругости – верхняя кривая, мо-  
дуль сдвига – нижняя).

длительной прочности полиэфирной смолы ПН-1 составляет только 10% от максимальной кратковременной прочности. На рис. 7 и 9 приведены данные о зависимости предельной деформации и прочности смолы ПН-1 от скорости равномерного нагружения.

Показатели	ПН-1	ПН-2	ПН-4	ПН-69	ПН-100	СКПС-3	ПН-10/40
Удельное электрическое сопротивление	объемное, $\text{ом} \cdot \text{см}$	$1 \cdot 10^{14} - 5 \cdot 10^{15}$	$2 \cdot 10^{15} - 6 \cdot 10^{15}$	$7 \cdot 10^{14} - 4 \cdot 10^{15}$	$6 \cdot 10^{11} - 2 \cdot 10^{12}$	$2 \cdot 10^7 - 2 \cdot 10^{12}$	$1 \cdot 10^{11} - 3 \cdot 10^{12}$
		поверхностное, $\text{ом}$	$3 \cdot 10^{13} - 7 \cdot 10^{13}$	$3 \cdot 10^{14} - 7 \cdot 10^{14}$	$3 \cdot 10^{14} - 9 \cdot 10^{15}$	$4 \cdot 10^{13} - 2 \cdot 10^{14}$	$1 \cdot 10^{12} - 2 \cdot 10^{14}$
Диэлектрическая проницаемость при $10^6 \text{ гц}$	4,4—4,5		4,1—4,3	3,6—4,8	3,0—5,0	4,1—5,3	3,7—4,2
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^6 \text{ гц}$	0,022—0,025	0,022—0,024	0,022—0,033	0,021—0,043	0,045—0,055	0,020—0,030	0,013—0,014
Электрическая прочность, $\text{кв/мм}$	13—19	12—15	10—15	16—22	17—21	20—23	19—21

Механические свойства полиэфирных смол зависят от температуры. Влияние этого фактора на модуль упругости, определенный динамическим методом, на модуль сдвига и коэффициент Пуассона полиэфирной смолы ПН-1 показано на рис. 10. При комнатной температуре модуль упругости достаточно высок: при температуре выше  $40-50^\circ \text{C}$  он значительно уменьшается. В связи с этим для получения конструктивных материалов, эксплуатируемых при повышенных температурах, рекомендуется использовать более термостойкие смолы, например, ПН-3, ПН-4 и ПН-62.

#### ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОТВЕРЖДЕННЫХ ПОЛИЭФИРНЫХ СМОЛ

Как правило, полиэфирные смолы являются хорошими электроизоляционными материалами, благодаря чему они находят применение в электро- и радиотехнической промышленности. Данные об электрических свойствах отвержденных смол некоторых марок приведены на стр. 22.

Свойства компаундов КГМС-1 (стирольный раствор полнителинглицольаминафталата, модифицированного касторовым маслом) и КГМС-2 (стирольный раствор продукта конденсации этилглицоля, малеинового ангидрида и касторового масла), применяемых в качестве пропиточных и заливочных составов для изоляции обмоток трансформаторов, дросселей и деталей электро-технической и радиотехнической аппаратуры, приведены ниже.

#### Электрические свойства отвержденных полиэфирных компаундов КГМС

Показатели	КГМС-1	КГМС-2
------------	--------	--------

#### Исходное состояние

Удельное объемное электрическое сопротивление, $\text{ом} \cdot \text{см}$	$1,1 \cdot 10^{14} - 4,0 \cdot 10^{15}$	$1,7 \cdot 10^{14} - 1,5 \cdot 10^{15}$
при $20^\circ \text{C}$	$1,2 \cdot 10^{11} - 8,9 \cdot 10^{12}$	$1,8 \cdot 10^{11} - 5,8 \cdot 10^{12}$
при $120^\circ \text{C}$	3,7—4,3	3,7—4,0
Диэлектрическая проницаемость при $50 \text{ гц}$	0,014—0,025	0,0168—0,019
Тангенс угла диэлектрических потерь при $50 \text{ гц}$	21,8—29,2	21,0—27,1
Электрическая прочность, $\text{кв/мм}$		

После выдержки в течение 48 ч в атмосфере относительной влажности при  $50^\circ \text{C}$

Удельное объемное электрическое сопротивление при $20^\circ \text{C}$ , $\text{ом} \cdot \text{см}$	$1,0 \cdot 10^{13} - 3,1 \cdot 10^{14}$	$5,4 \cdot 10^{13} - 7,7 \cdot 10^{13}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при $50 \text{ гц}$	0,019—0,029	0,019—0,029

Как показали испытания, электрическая прочность смол ПН-1, ПНЦ-2Э-6 (модифицированная циклопентадиеном) и ПНА-Д-Э-2 (модифицированная антраценом) мало зависит от температуры в интервале 20—70°С при переменном напряжении частотой 50 гц. При постоянном напряжении электрическая прочность резко уменьшается с повышением температуры (рис. 11).

Влияние температуры на величину удельного объемного элект-

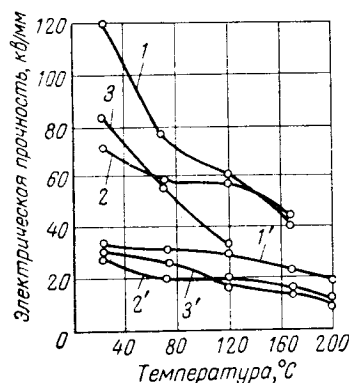


Рис. 11. Зависимость электрической прочности полиэфирных смол от температуры:

1, 1' — ПНЦ-2Э-6; 2, 2' — ПНА-Д-Э-2;  
3, 3' — ПН-1; 1 — 3 — постоянный ток;  
1' — 3' — переменный ток. Толщина образцов, мм: 1 — 0,85; 2 — 1,41; 3 — 1,94;  
1' — 0,92; 2' — 1,69; 3' — 0,83.

рического сопротивления полиэфирных смол показано на стр. 25. Как видно из приведенных данных, при 25—60°С величина  $\rho_e$  составляет приблизительно  $10^{13}$ — $10^{15}$  ом·см и мало зависит от температуры. При температурах выше 60°С сопротивление резко уменьшается, хотя остается достаточно высоким.

#### ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОТВЕРЖДЕННЫХ ПОЛИЭФИРНЫХ СМОЛ

Материалы на основе полиэфирных смол можно длительно эксплуатировать при температурах до 100 и в отдельных случаях до 150°С, так как при температурах выше 200°С протекает термическая и термоокислительная деструкция (рис. 12).

Верхний предел рабочих температур жестких конструкционных материалов определяется температурой стеклования связующих.

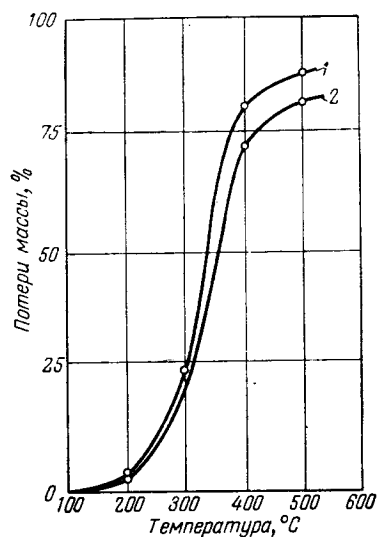


Рис. 12. Термогравиметрические кривые отвержденных полиэфирных смол:

1 — ПН-1; 2 — ПН-4.

Зависимость удельного объемного электрического сопротивления отвержденных полиэфирных смол от температуры

Марка смолы и количество мономера (на 100 вес. ч. полиэфир)	Удельное объемное электрическое сопротивление, ом·см							
	при 25°С	при 50°С	при 75°С	при 100°С	при 125°С	при 150°С	при 175°С	при 200°С
ПН-1 . . . . .	$4,3 \cdot 10^{15}$	$1,1 \cdot 10^{14}$	$1,1 \cdot 10^{14}$	$2,0 \cdot 10^{13}$	$5,1 \cdot 10^{11}$	$5,1 \cdot 10^{10}$	$7,2 \cdot 10^9$	—
ПНЦ-2Э-7+40 вес. ч. стирола . . . . .	$1,9 \cdot 10^{16}$	$1,9 \cdot 10^{16}$	$5,6 \cdot 10^{15}$	$3,3 \cdot 10^{14}$	$5,6 \cdot 10^{13}$	$5,6 \cdot 10^{12}$	$9,3 \cdot 10^{11}$	—
ПНЦ-2Э-7+20 вес. ч. стирола+20 вес. ч. метилметакрилата . . . . .	$1,6 \cdot 10^{16}$	$1,6 \cdot 10^{16}$	$4,1 \cdot 10^{15}$	$2,1 \cdot 10^{14}$	$1,8 \cdot 10^{13}$	$6,5 \cdot 10^{12}$	$1,3 \cdot 10^{12}$	$0,8 \cdot 10^{11}$
ПНЦ-2Э-7+35 вес. ч. стирола . . . . .	$1,4 \cdot 10^{16}$	$1,4 \cdot 10^{16}$	$1,3 \cdot 10^{16}$	$2,5 \cdot 10^{14}$	$1,4 \cdot 10^{14}$	$6,4 \cdot 10^{12}$	$1,1 \cdot 10^{12}$	$3,5 \cdot 10^{11}$
ПНАЭ-0,2+40 вес. ч. стирола . . . . .	$1,2 \cdot 10^{16}$	$1,2 \cdot 10^{16}$	$5,5 \cdot 10^{14}$	$2,1 \cdot 10^{13}$	$2,4 \cdot 10^{12}$	$3,4 \cdot 10^{11}$	$2,4 \cdot 10^{11}$	—
ПНАД-0,2+40 вес. ч. стирола . . . . .	$1,5 \cdot 10^{16}$	$3,6 \cdot 10^{15}$	$4,3 \cdot 10^{14}$	$8,5 \cdot 10^{11}$	$3,6 \cdot 10^{11}$	$2,1 \cdot 10^{10}$	$9,8 \cdot 10^9$	$6,1 \cdot 10^7$
ПНЦ-2Э-6+40 вес. ч. стирола . . . . .	$1,4 \cdot 10^{16}$	$1,4 \cdot 10^{16}$	$2,1 \cdot 10^{15}$	$1,7 \cdot 10^{14}$	$3,9 \cdot 10^{13}$	$4,3 \cdot 10^{12}$	$3,6 \cdot 10^{11}$	—

Примечание. Полиэфиры ПНЦ-2Э-6 и ПНЦ-2Э-7 модифицированы циклопентадиеном. ПНАЭ-0,2 и ПНАД-0,2 — антраценом, эти полиэфиры представляют собой опытные продукты.

На рис. 13 и 14 приведены термомеханические кривые для некоторых отвержденных смол.

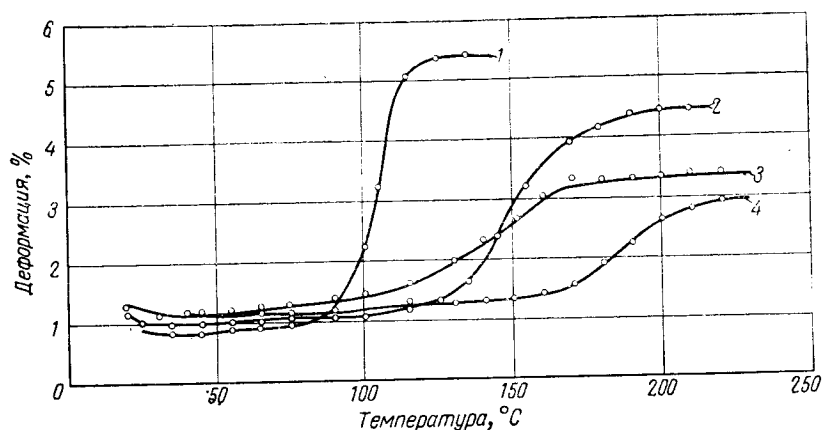


Рис. 13. Термомеханические кривые при сжатии образцов из полиэфирных смол (напряжение  $10 \text{ кг/см}^2$ ):  
1 — ПН-1; 2 — ПН-10; 3 — ПН-62; 4 — ПН-4.

Для сравнения теплостойкости различных продуктов в технике широко используют результаты испытания теплостойкости по Мартенсу и Вика:

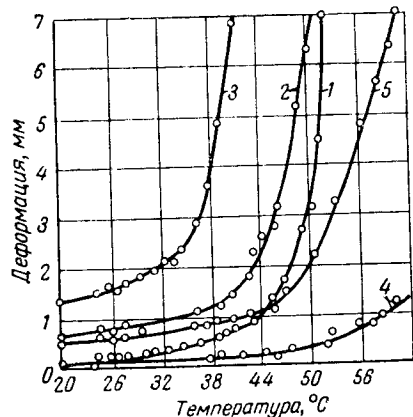


Рис. 14. Термомеханические кривые при изгибе образцов из полиэфирных смол ПН-1 (1-3) и ПН-3 (4, 5) при различных напряжениях (в  $\text{кг/см}^2$ ):  
1 — 20; 2 — 100; 3 — 200; 4 — 20; 5 — 100.

	Теплостойкость, °C	
	по Вика	по Мартенсу
ПН-1 . . . . .	80—110	45—55
ПН-2 . . . . .	100—120	45—60
ПН-3 . . . . .	170—190	55—60
ПН-4 . . . . .	190—200	65—70
ЗСП-2 . . . . .	—	55—70
ПН-1С . . . . .	80—100	40—60
ПН-6 . . . . .	90—115	60—70
ПН-7 . . . . .	190—210	—
ПН-62 . . . . .	170—190	—
ПНМ-2 . . . . .	60—85	—
ПНМ-8 . . . . .	85—95	—
ЗСП-1 . . . . .	—	45—60
ПН-1С . . . . .	145—155	60—65
ЗСП-6 . . . . .	—	55—65
ПН-11 . . . . .	170—190	—
ППС 609-21М . . . . .	—	50—70
ПН-10 . . . . .	140—150	60—65
ПН-10,40 . . . . .	160—170	70—80

В то время как смолы, которые должны воспринимать механические нагрузки, эксплуатируют в стеклообразном состоянии, многие заливочные и пропиточные составы в рабочем интервале темпе-

ратур находятся в высокоэластическом состоянии. Нижний температурный предел эксплуатации таких материалов определяется их температурой хрупкости. В настоящее время разработаны полиэфирные смолы с температурой хрупкости до  $-50^\circ\text{C}$  (смолы типа СКПС).

Некоторые теплофизические характеристики полиэфирных смол приведены ниже:

Удельная теплоемкость, $\text{ккал}/(\text{кг}\cdot\text{град})$ . . . . .	0,25—0,55
Коэффициент теплопроводности, $\text{ккал}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{град})$ . . . . .	0,13—0,19
Коэффициент термического линейного расширения, $\text{град}^{-1}$ . . . . .	$8\cdot 10^{-5}$ — $20\cdot 10^{-5}$

### ВОДОСТОЙКОСТЬ И ХИМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ ПОЛИЭФИРНЫХ СМОЛ

Большая часть полиэфирных смол отличается высокой водостойкостью и стойкостью к действию минеральных и органических кислот, бензина, масел и многих органических растворителей; стойкость к действию щелочей, как правило, невысока.

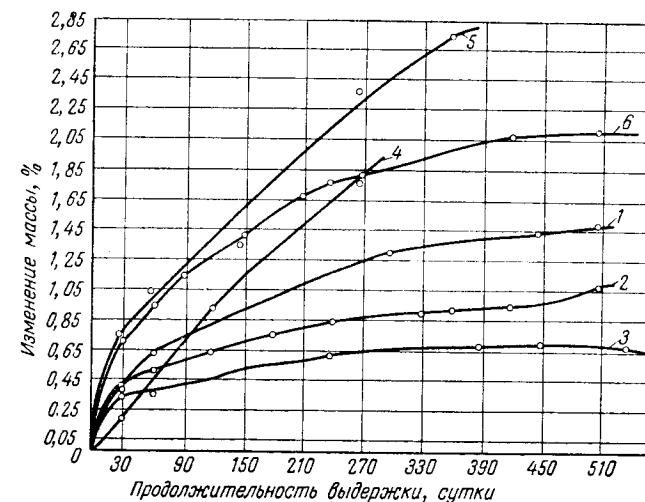


Рис. 15. Изменение массы полиэфирных смол в процессе выдержки в воде (1, 3, 5, 6) и 25%-ной серной кислоте (2, 4) при комнатной температуре:  
1, 2 — ПН-10; 3, 4 — ПН-10, армированная стеклотканью АСТТ (6)-С2-0;  
5 — ПН-1; 6 — ПН-3.

На рис. 15 показано изменение массы образцов отвержденных смол ПН-1, ПН-3 и ПН-10 в процессе длительного пребывания их в воде; приведены также данные об изменениях массы смолы ПН-10 в среде 25%-ной серной кислоты.

Ниже приведены результаты испытания прочности смол после выдержки в воде и 25%-ной серной кислоте при комнатной температуре в течение 1 года. Максимальную химическую стойкость имеет смола ПН-10, прочность которой остается по существу неизменной.

## Химическая стойкость некоторых полиэфирных смол

Продолжительность выдержки, сутки	Предел прочности при сжатии в кг/см <sup>2</sup> после выдержки			
	в воде			в 25%-ной H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
	ПН-10	ПН-3	ПН-1	ПН-10
0	1045	1020	1125	1045
7	1185	—	—	1200
30	1130	825	870	1185
120	1040	780	720	900
180	1115	885	725	—
270	1235	—	—	1195
330	—	690	675	—
360	1120	—	—	1030

Данные об изменении массы и твердости по Бринеллю отвержденной смолы ПН-10 после ее пребывания в различных кислых средах приведены ниже:

Среда	Условия испытания *	Изменение массы %	Твердость по Бринеллю, кг/мм <sup>2</sup>	
			исходная	после выдержки
Серная кислота 50%-ная . . . . .	1	-0,29	18	17
	2	+0,15	15	16
60%-ная . . . . .	2	-0,43	16	17
Соляная кислота 36%-ная	1	+2,30	18	16
	2	+1,09	16	18
Смесь 10—12%-ной серной кислоты и 10%-ного гидроксиламинсульфата . . .	1	+1,03	15	16
Смесь 30%-ной серной и 27%-ной соляной кислот	1	+1,37	15	18
Формалин . . . . .	1	+0,98	18	19
	2	+1,59	15	13
Фосфорная кислота 85%-ная . . . . .	1	-0,50	18	23
Уксусная кислота 10%-ная	1	+1,16	18	17
	2	+1,61	16	16

\* Режим 1 — выдержка образцов в течение 29 суток при комнатной температуре. Режим 2 — выдержка образцов в течение 23 суток при комнатной температуре и 6 суток при 100°C.

В результате кипячения образцов смолы ПН-10 в 60%-ной серной кислоте в течение 6 суток предел прочности при изгибе уменьшается на 21,5%; после кипячения в воде и 10%-ной соляной кислоте прочность составляет примерно 65% от исходной.

## Изменение физико-механических свойств смолы ПН-10 после кипячения в воде и 10%-ной соляной кислоте

Продолжительность кипячения ч	Вода			Соляная кислота 10%-ная	
	увеличение массы %	предел прочности кг/см <sup>2</sup>		увеличение массы %	предел прочности при сжатии кг/см <sup>2</sup>
		при изгибе	при сжатии		
0	0	295	1330	0	1330
5	—	—	—	0,65	1180
10	0,57	295	1165	0,86	1275
20	0,86	220	—	—	—
40	1,42	155	—	—	—
60	1,60	185	—	1,75	—
80	1,78	235	885	1,90	1025
100	1,90	190	870	2,22	875

Высокая стойкость ПН-1 и некоторых других полиэфирных смол к кислым и окислительным средам позволила разработать на их основе кислотоупорные замазки, предназначенные для футеровки химической аппаратуры с целью защиты ее от коррозии. Ниже приведены данные о химической стойкости замазки на основе смолы ПН-1 с минеральным наполнителем.

## Химическая стойкость замазки на основе смолы ПН-1

Среда	Продолжительность испытания ч	Температура °С	Концентрация реагента г/л	Потеря массы, %
Вода . . . . .	5136	80	—	1,31
Раствор двуокиси хлора	5856	60—80	0,8	2,22
Сернистая кислота . . .	6600	30	2,0	0,29
Соляная кислота . . . .	6600	25	2,0	0,17

## ОГНЕСТОЙКОСТЬ ПОЛИЭФИРНЫХ СМОЛ

Некоторые полиэфирные смолы отличаются повышенной огнестойкостью. В соответствии со строительными нормами СНиП П-А-5—62 все материалы по степени возгораемости делятся на негоряемые, труднотгораемые и тгораемые.

Оценку возгораемости проводят методами огневой трубы (отборочный метод) и калориметрии. Ниже описана методика испытания по методу огневой трубы.

Образец отвержденной смолы размером 10 × 35 × 150 мм подвешивают в центре металлической трубы, под него устанавливают горелку, причем расстояние от кромки горелки до образца должно быть 10 мм. Материал подвергается действию пламени



газовой горелки в течение 2 мин или спиртовой горелки в течение 2,5 мин. Материалы, характеризующиеся продолжительностью самостоятельного горения и тления (после удаления источника пламени) более 1 мин и имеющие потерю массы более 20%, относятся к группе сгораемых. Материалы, не горящие самостоятельно, но имеющие потерю массы более 20%, подвергаются для окончательной оценки их возгораемости испытанию по методу калориметрии.

Некоторые данные об огнестойкости ряда полиэфирных смол (по методу огневой трубы) приведены ниже.

Огнестойкость полиэфирных смол

Показатели	ПН-6	ПН-6 + 5% Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ПН-62	ПН-7	ПН-1С	ПН-3С
Продолжительность самостоятельного горения, сек . . . . .	3-11	0	5-15	0-2	0-15	0-15
Продолжительность тления, сек . . . . .	0	0	0-10	0	15-40	0
Потеря массы, % . . . . .	10-19	7-12	11-19	5-12	7-19	7-11

Примечание. Время поджигания образцов (10×10×150 мм) — 2 мин

### ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИЭФИРНЫХ СМОЛ

#### Отверждение

Большая часть полиэфирных смол перерабатывается при комнатной температуре, причем для их отверждения используют различные иницирующие системы, состоящие из инициаторов и ускорителей. В качестве инициаторов обычно применяют различные перекиси и гидроперекиси, например, перекиси бензоила (СТУ 12-10303—64), метилэтилкетона и циклогексанона, гидроперекись изопропилбензола (гипериз, МРТУ 38-2-5—66). Некоторые характеристики инициаторов отверждения полиэфирных смол приведены ниже.

#### Инициаторы отверждения полиэфирных смол

Инициатор	Критическая температура разложения °С	Содержание активного кислорода %
Перекись бензоила . . . . .	70	6,61
Перекись дикумила . . . . .	120	11,85
Перекись метилэтилкетона . . . . .	80	18,60
Перекись лауроила . . . . .	60—70	4,02
Перекись трет-бутила . . . . .	100	10,95
Перекись циклогексанона . . . . .	80—90	13,91
Гидроперекись изопропилбензола (кумола) . . . . .	100	10,53
Гидроперекись трет-бутила . . . . .	110	17,78
Трет-Бутилпербензоат . . . . .	90	8,25

Перекись метилэтилкетона, как правило, выпускают в виде растворов 40—60%-ной концентрации в органических растворителях или пластификаторах; перекись циклогексанона — в виде 50%-ной пасты в дибутилфталате или диметилфталате. Перекись бензоила целесообразно использовать также в виде пасты.

Эффективными ускорителями, применяемыми в сочетании с перекисью бензоила, являются третичные амины, например диметил-, диэтил- и диэтаноланилин, диметил-*n*-толуидин и т. д.; с перекисью метилэтилкетона и циклогексанона и гидроперекисями применяют кобальтовые соли нафтяных и некоторых других кислот, например, нафтенат кобальта, выпускаемый в виде стирольного раствора под названием «ускоритель НК». Кроме того, в сочетании с гиперизом и некоторыми другими инициаторами можно использовать высокоэффективный ускоритель В на основе пятиокиси ванадия, применение которого позволяет в десятки раз сократить расход иницирующих добавок и повысить скорость гелеобразования. Ниже приведены основные характеристики перечисленных ускорителей.

Ускорители отверждения полиэфирных смол

Ускоритель	Технические условия и ГОСТы	Внешний вид	Плотность г/см <sup>3</sup>	Содержание металла, %
Ускоритель НК . . . . .	МРТУ 6-05-1075—67	Жидкость фиолетового цвета	0,905—0,915	0,60—0,76
Ускоритель В . . . . .	ТУ П-523—67	Жидкость от зеленого до коричневого цвета	1,045—1,050	0,24—0,26 (в пересчете на V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
Диметиланилин* . . . . .	ГОСТ 2168—58	Жидкость от светло-желтого до желтого цвета	0,95—0,96	—
Диэтиланилин* . . . . .	ГОСТ 10162—62	Бесцветная или желтоватая жидкость	0,933—0,935	—

\* Используются в виде 10% ных растворов в стироле.

Для отверждения при комнатной и умеренно повышенных температурах (до 60—80°С) чаще всего применяют иницирующую систему, состоящую из гипериза и ускорителя НК. При этом достигаются удовлетворительная скорость и большая глубина отверждения стиролсодержащих смол и хорошие физико-механические свойства отвержденных продуктов.

К распространенным иницирующим системам, используемым для «холодного» отверждения полиэфирных смол, относятся перекись метилэтилкетона + ускоритель НК, перекись циклогексанона + ускоритель НК, гипериз + ускоритель В и перекись бензоила + диметиланилин.

В отдельных случаях возникает необходимость вводить инициатор и два ускорителя (трехкомпонентные системы), а иногда — два инициатора и два ускорителя (четырёхкомпонентные системы).

Двухкомпонентные системы на основе гипериза и перекиси метилэтилкетона и циклогексанола используют для отверждения смол при температурах не ниже 18° С и влажности не выше 65%.

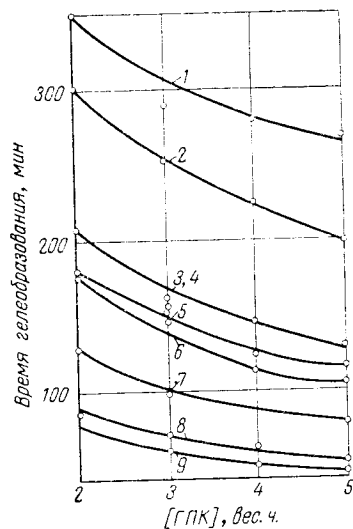


Рис. 16. Зависимость времени гелеобразования смолы ПН-1 от концентрации гидроперекиси кумола (ГПК) при 15° С (1-3), 20° С (4-6) и 30° С (7-9) при концентрации ускорителя НК (вес. ч. на 100 вес. ч. смолы):

1,4,7 — 4; 2,5,8 — 8; 3,6,9 — 12.

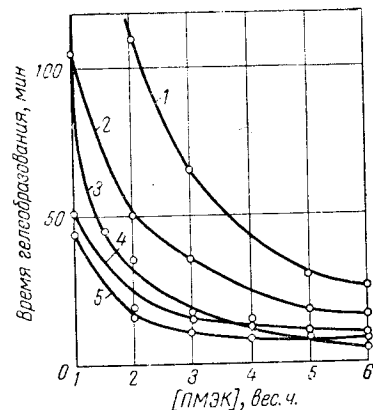


Рис. 17. Зависимость времени гелеобразования полиэфирных смол ПН-1 (1, 2, 4, 5) и ПН-3 (3) от концентрации инициатора — 50%-ного раствора перекиси метилэтилкетона (при 20° С).

Перекись бензоила в сочетании с третичными аминами менее чувствительна к понижению температуры (отверждение можно проводить даже при температурах около 0° С).

Из двухкомпонентных систем минимальную скорость гелеобразования обеспечивает пара гипериз + ускоритель НК, максимальную — гипериз + ускоритель В и перекись бензоила + диметиланилин. Недостатком двух последних пар является их повышенная чувствительность к ингибирующему действию кислорода воздуха, что проявляется в недостаточной глубине отверждения и в дефектах поверхности изделия (если она не защищена).

В большинстве случаев (за исключением оговариваемых ниже) применения системы перекись бензоила + диметиланилин при комнатной и повышенных температурах следует избегать, так как она

не обеспечивает достаточно глубокого отверждения смол, что, в свою очередь, приводит к ухудшению их механических свойств, химической стойкости и погодоустойчивости. Отвержденные таким способом смолы не стойки к ультрафиолетовому облучению и желтеют под действием солнечного света.

Для достижения наиболее полного отверждения целесообразно использовать в качестве инициаторов гипериз или перекись метилэтилкетона в сочетании с ускорителем НК.

В тех случаях, когда необходимо существенно ускорить гелеобразование, особенно при отверждении полиэфирных смол, содержащих олигоэфиракрилаты вместо стирола, применяют трех- и четырехкомпонентные иницирующие системы. Эти высокоэффективные системы дают возможность ускорить отверждение и получить конечные продукты с ценными свойствами.

Некоторые составы, рекомендуемые для холодного отверждения полиэфирных смол, приведены ниже.

#### Основные иницирующие системы

Компоненты	Состав, вес. ч.							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Полиэфирная смола . . . . .	100	100	100	100	100	100	100	100
Гипериз . . . . .	3-6	—	—	—	0,3-0,6	3	1-3	—
Перекись метилэтилкетона в диметилфталате (50%-ная) . . . . .	—	1-2	—	—	—	—	—	—
Перекись циклогексанола в дибутилфталате (50%-ная) . . . . .	—	—	1-2	—	—	—	—	2
Перекись бензоила в дибутилфталате (50%-ная) . . . . .	—	—	—	0,5-2	—	—	1-2	—
Ускоритель НК . . . . .	6-8	1-3	1-3	—	—	6-8	6-8	8
Ускоритель В . . . . .	—	—	—	—	0,2-0,6	—	—	—
Раствор диметиланилина в стироле (10%-ный) . . . . .	—	—	—	0,5-3	—	0,25-1	0,5-2	0,5-2

Составы 1-3 и 6 целесообразно использовать при переработке смол ПН-1, ПН-2, ПН-3, ПН-4, ПН-1С, ПН-3С, ПН-10 и ПН-10/40, ПН-69 и ПН-100; составы 2, 3 и 5 — при переработке ПНМ-2, ПНМ-8, ПН-10 и ПН-10/40; 4 — при переработке смол ПН-6, ПН-7, ПН-69, ПН-100 и СКПС-3; составы 7 и 8 — при переработке ПН-62 и ПН-11.

В случае применения двухкомпонентных систем для отверждения ПН-1 наиболее высокая скорость гелеобразования и отверждения и максимальная температура саморазогрева достигаются при

использовании перекисей бензола, метилэтилкетона и циклогексанола.

Оптимальный температурный интервал первой фазы отверждения, обеспечивающий optimum физико-механических свойств конечных продуктов, индивидуален для различных иницилирующих систем: для системы гипериз + ускоритель НК — 20—50° С, перекись циклогексанола (или метилэтилкетона) + ускоритель НК — 20—40° С, перекись бензоила + диметиланилин — 20—30° С.

Инициаторы и ускорители добавляются к смоле непосредственно

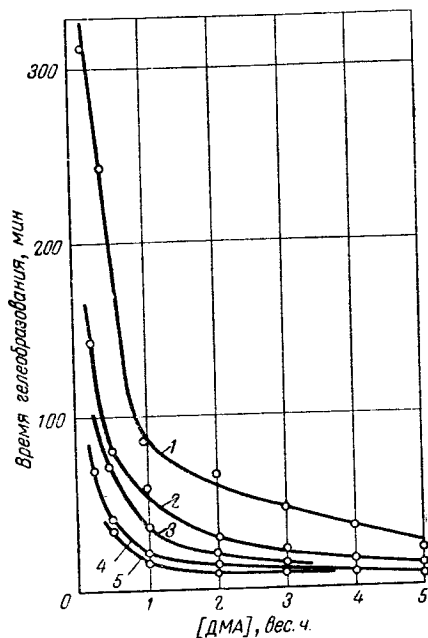


Рис. 18. Зависимость времени гелеобразования смолы ПН-4 от концентрации ускорителя — 10%-ного стирольного раствора диметиланилина (при 20° С). Концентрация перекиси бензоила (вес. ч. на 100 вес. ч. смолы): 1 — 0,25; 2 — 0,5; 3 — 1,0; 4 — 1,5; 5 — 2,0.

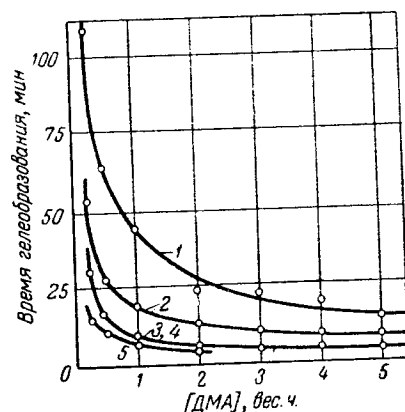


Рис. 19. Зависимость времени гелеобразования смолы ПН-4 от концентрации ускорителя — 10%-ного стирольного раствора диметиланилина. Температура: 1, 2, 3 — 40° С; 4, 5 — 60° С. Концентрация перекиси бензола (вес. ч. на 100 вес. ч. смолы): 1, 4 — 0,25; 2, 5 — 0,5; 3 — 1,0.

перед изготовлением изделий, так как смолы, содержащие отверждающие добавки, сохраняют текучесть и, следовательно, способность к формованию в течение ограниченного периода времени, определяемого временем гелеобразования.

Инициаторы и ускорители вводят в смолу порознь, так как при их непосредственном смешении может произойти воспламенение или взрыв. Последовательность введения компонентов не имеет существенного значения; важно, чтобы каждый последующий компонент добавлялся лишь после тщательного смешения со смолой предыдущего.

Смолы, содержащие ускорители, могут храниться в течение значительно более длительного периода времени (до 1 месяца и более), чем с добавкой инициаторов. В последнем случае срок хранения смесей обычно не превышает 10 суток.

Продолжительность гелеобразования зависит от температуры, состава смолы и иницилирующей системы и количества отверждаю-

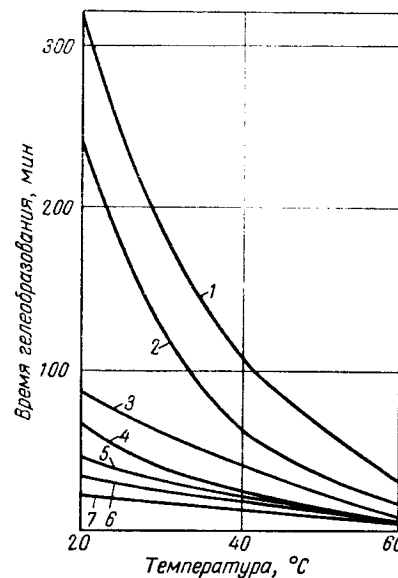


Рис. 20. Температурная зависимость времени гелеобразования смолы ПН-4 в присутствии 0,25 вес. ч. перекиси бензоила и ускорителя — 10%-ного стирольного раствора диметиланилина (вес. ч. на 100 вес. ч. смолы): 1 — 0,25; 2 — 0,5; 3 — 1,0; 4 — 2,0; 5 — 3,0; 6 — 4,0; 7 — 5,0.

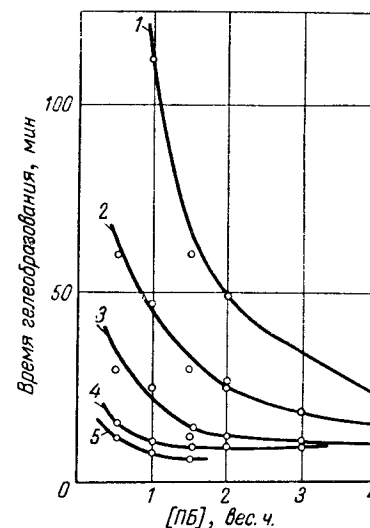


Рис. 21. Зависимость времени гелеобразования смолы ПН-1 от концентрации инициатора — 50%-ной пасты перекиси бензоила при различных температурах: 1 — 50° С; 2 — 60° С; 3 — 70° С; 4 — 80° С; 5 — 100° С.

щих добавок и изменяется при 20° С от нескольких минут до нескольких часов. Зависимость скорости гелеобразования полиэфирных смол от концентрации инициатора и ускорителя и температуры среды показана на рис. 16—21. Полное отверждение при комнатной температуре достигается в течение 3—15 суток. Для ускорения процесса можно использовать термическую обработку изделий при 80—120° С в течение 3—10 ч. Количество иницирующих добавок рекомендуется варьировать в пределах, указанных в таблице составов.

Значительная часть полиэфирных смол перерабатывается при повышенных температурах (80—160° С), причем обычно используют

перекись бензоила, гипериз или перекись дикумила (ТУ ТСР 744Р—62). Последнюю применяют в тех случаях, когда к композициям предъявляется требование повышенной жизнеспособности при хранении.

Обычно к 100 вес. ч. полиэфирной смолы добавляют 0,5—3 вес. ч. инициатора или смеси инициаторов, проявляющих при отверждении взаимно усиливающий (синергический) эффект. Примерами таких систем являются перекись бензоила + гипериз, перекись циклогексанола + гипериз и др. При выборе температурных условий «горячего» отверждения необходимо учитывать критическую температуру разложения перекисных и гидроперекисных инициаторов (см. стр. 30).

#### Методы переработки

Известно, что основную часть полиэфирных смол используют в качестве связующих при производстве слоистых пластиков — главным образом стеклопластиков. Существует большое число различных методов формования изделий из полиэфирных стеклонаполненных материалов, некоторые из которых являются весьма специфичными и обусловлены тем, что процесс отверждения полиэфирных смол может протекать не только при повышенных, но и при комнатной температуре без выделения летучих продуктов.

К числу основных способов переработки\* таких материалов относятся:

1. Контактное формование при комнатной температуре.
2. Прессование.
3. Метод вакуумной пропитки стекловолоконного наполнителя в замкнутой форме.
4. Протяжка пропитанного стекложгута через формирующую фильеру.
5. Намотка пропитанного стеклонаполнителя на оправку.
6. Непрерывный метод формования плоских и профильных материалов.
7. Метод напыления стекловолокна и смолы на форму с последующим уплотнением материала прикаткой.
8. Центробежный метод.

Полиэфирные смолы без наполнителей или с порошкообразными наполнителями и специфическими добавками (например, красители и добавки, предотвращающие ингибирующее действие кислорода воздуха) перерабатываются в основном следующими способами:

1. Заливка.
2. Центробежное литье.

\* Подробное описание методов переработки стекловолоконных материалов в изделия приведено в гл. «Стеклопластики».

3. Прессование.
4. Экструзия.
5. Распыление.
6. Полив (лаки).
7. Пропитка.

#### Заливка и центробежное литье

Полиэфирные смолы используют для заливки различных деталей радиотехнического и электрического оборудования, медицинских, биологических и музейных препаратов, изготовления кабельных муфт, листовых и стержневых заготовок для получения пуговиц и других галантерейных изделий и т. д.

К заливочным смолам предъявляются следующие требования: они должны иметь невысокую вязкость, умеренную усадку и небольшой экзотермический эффект при отверждении, а в отвержденном состоянии — повышенную ударную прочность и в ряде случаев — высокие показатели электроизоляционных свойств, улучшенную теплопроводность и прозрачность. Кроме того, они не должны оказывать химического действия на заливаемые объекты.

Известно, что объемная усадка ненасыщенных полиэфирных смол находится обычно в пределах 6—9%. При наличии большой усадки и малой адгезии полиэфирной смолы к заливаемому материалу возможно растрескивание массы и образование пустот между поверхностью изделия и смолой. Для уменьшения усадки часто используют смолы на основе полиэфиров, содержащих умеренное количество двойных связей. При этом количество поперечных связей, образующихся при отверждении, а, следовательно, и усадка, уменьшаются. Снижение усадки может быть также достигнуто уменьшением содержания стирола в смоле и частичной или полной заменой стирола триэтиленгликольдиметакрилатом или некоторыми другими мономерами.

Весьма эффективным способом уменьшения усадки полиэфирных смол при отверждении является введение наполнителей (мел, тальк, сланец, слюда, каолин, кварцевая мука, древесная мука, асбест и т. д.); снижение усадки пропорционально содержанию наполнителя в заливочной композиции.

Экзотермический эффект, наблюдаемый при отверждении ненасыщенных полиэфирных смол, в отдельных случаях столь значителен, что в массе развивается температура до 250°С. Вследствие плохой теплопроводности смол [0,1—0,2 ккал/(м·ч·град)] возникают местные перегревы массы. Это, в свою очередь, вызывает неравномерность ее термического расширения, значительные внутренние напряжения и растрескивание. С увеличением объема отливок возрастает максимальная температура, развивающаяся в массе, и, следовательно, опасность растрескивания. Естественно,

что условия отвода тепла зависят также от конфигурации отливки, теплопроводности среды (формы) и т. д.

Для уменьшения возможности растрескивания рекомендуется применять смолы пониженной степени ненасыщенности, вводить инертные наполнители (особенно с высоким коэффициентом теплопроводности), замедлять отверждение регулированием количества инициатора, ускорителя и ингибитора и улучшать условия теплоотвода соответствующим подбором конфигурации отливок и форм.

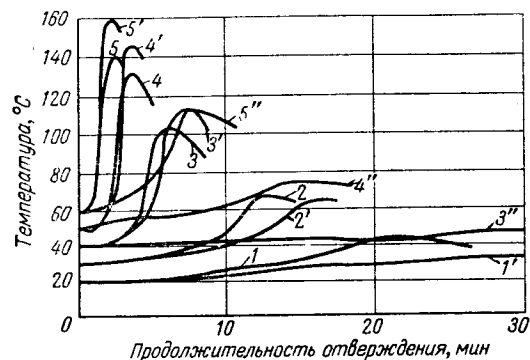


Рис. 22. Кривые саморазогрева смолы ПН-1 при отверждении в присутствии различных иницирующих систем:

1-5 — 3 вес. ч. 50%-ной пасты перекиси циклогексана + 8 вес. ч. ускорителя НК; 1'-5' — 3 вес. ч. 50%-ного раствора перекиси метилэтилкетона + 3 вес. ч. ускорителя НК; 3''-5'' — 3 вес. ч. гипериза + 8 вес. ч. ускорителя НК; 3'-5''' — 3 вес. ч. гипериза + 8 вес. ч. ускорителя НК.  
Температура бани: 1, 1' — 20° С; 2, 2' — 30° С; 3, 3', 3'' — 40° С; 4, 4', 4'' — 50° С; 5, 5', 5'' — 60° С.

При изготовлении массивных отливок целесообразно использовать иницирующую систему гипериз + ускоритель НК, так как в этом случае экзотермический эффект отверждения невелик (рис. 22). Для получения монолитных отливок (весом до нескольких килограммов), не имеющих внутренних напряжений и дефектов, предложено использовать некоторые альдегиды и кетоны: дезоксибензон, фенилацетальдегид, гидратроповый альдегид и др. Отверждение проводят обычно при 80—120° С в присутствии 0,5—2,0% инициатора. При этом не наблюдается значительного разогрева массы. Уменьшение максимальной температуры разогрева в процессе отверждения достигается также при использовании перекиси циклогексана в сочетании с аскорбиновой кислотой. При этом возможно изготовление крупных отливок без трещин.

Резкое уменьшение температуры саморазогрева наблюдается также при переходе от системы перекись бензола + диметиланилин к системам, содержащим фенилморфоллин, метилфениланилин и некоторые другие третичные амины. Обычно этим методом пользуются для заливки медицинских и биологических препаратов, раз-

личных деталей электрического оборудования, изготовления кабельных муфт, заготовок для пуговиц и т. д. Заливку массы в формы осуществляют без внешнего давления после введения иницирующих добавок, обеспечивающих отверждение материала при комнатной или повышенных температурах. Иногда отверждение проводят по ступенчатому режиму, повышая температуру вначале до 45—50° С, а затем до 100—120° С. Если отливки получают при комнатной температуре, то для ускорения отверждения целесообразно проводить термообработку изделий через сутки после их изготовления при 80—120° С в течение 3—10 ч.

Заливка медицинских препаратов и некоторых деталей часто проводится в несколько приемов таким образом, что каждая последующая порция смолы заливается после гелеобразования предыдущей. При этом удается избежать растрескивания материала, которое может происходить в процессе отверждения большой массы смолы. Аналогичным приемом пользуются при изготовлении листов, предназначенных для получения пуговиц или мелкой галантереи. В смолу добавляют красители, пластификатор, ускоритель, инициатор и заливают ее в форму, покрытую антиадгезионной смазкой. При использовании этого метода можно получить материал, окрашенный послойно в различные цвета.

При изготовлении заготовок (листов и стержней) для производства пуговиц часто возникает необходимость придания им перламутрового блеска, что достигается введением специальных добавок: жемчужного пата, хлорокиси висмута, алюминиевой пудры или основного карбоната свинца. Для получения перламутрового эффекта необходима определенная ориентация частиц этих добавок по отношению к поверхности.

Один из способов изготовления листов с перламутровым эффектом заключается в том, что смолу с отверждающими и «перламутровыми» добавками заливают в форму (при 45° С), которую помещают на вибрационный стол. Вибрацию прекращают после гелеобразования смеси. Затем лист извлекают из формы, вырезают из него пуговицы или другие изделия, после чего проводят окончательное отверждение изделий при 80, а затем при 100° С. Для ориентации частиц можно использовать электрическое или магнитное поле. Кроме того, ориентация достигается при колебательном движении формы с частотой до 100 колебаний в минуту. При использовании этого метода внутреннюю поверхность формы делают с одной стороны рифленой.

Наиболее распространенный метод изготовления листовых заготовок для пуговиц — центробежное литье. Один из вариантов этого способа заключается в том, что смолу с добавками заливают в барабан центрифуги диаметром 40—150 см и длиной 40—60 см. Отверждение проводят при вращении барабана со скоростью 90—150 об/мин.

В ряде случаев необходимо получение малоокрашенных прозрачных отливок. Такие отливки изготавливают из практически бесцветных смол в присутствии иницирующих систем, которые не придают дополнительной окраски материалу. Так, при «горячем» отверждении могут быть использованы перекись бензоила или гидроперекись кумола в количестве 0,5—1 и 1—3% соответственно или смеси этих инициаторов. В последнем случае достигается синергический эффект, который проявляется в увеличении скорости гелеобразования и отверждения смол. При комнатной температуре целесообразно применять гидроперекись кумола в сочетании с ускорителем В, которые вводят в композицию в количестве 0,3—0,6 и 0,2—0,6% соответственно.

Часто в полиэфирные смолы вводят порошкообразные наполнители, которые снижают усадку и экзотермический эффект отверждения и удешевляют композицию, а иногда придают им специфические свойства: огнестойкость, теплопроводность, электропроводность, водостойкость и т. д. В зависимости от вязкости таких композиций они могут перерабатываться различными способами, в том числе и свободным литьем. При этом процесс изготовления отливок практически не отличается от такового для ненаполненных композиций.

#### Прессование и экструзия

В том случае, когда композиции содержат значительное количество порошкообразных наполнителей и имеют консистенцию липкой замазки или сухого порошка, переработка их производится с применением давления. Обычно такие композиции помимо порошкообразных содержат некоторое количество волокнистых наполнителей — асбеста, хлопка, сизаля и др.

В качестве наполнителей для прессовочных композиций используют мел, каолин, кварцевую муку, тальк, слюду и т. д. К числу полиэфирных смол, которые могут применяться в качестве связующих относятся полималеинатные смолы, например ПН-1 и ПН-2, олигоэфиракрилаты (ТМГФ-11 и др.), а также их смеси.

Ниже приводятся примерные составы прессовочных композиций (в вес. ч.):

	Жидкая паста	Сухой порошок
Полиэфирная смола . . .	100	100
Минеральный наполнитель	150	84
Загуститель . . . . .	—	66
Инициатор . . . . .	1	1

В качестве инициаторов обычно используют перекись бензоила, перекись дикумила или гидроперекись изопропилбензола. Смешение исходных ингредиентов осуществляется в лопастном смесителе

или смесителе типа «co-ender», куда они подаются через дозатор. Из смесителя масса может подаваться в необогреваемый экструдер на таблетирование, а затем на прессование.

Ниже приведены данные о текучести паст с 60—70%-ным содержанием наполнителя, приготовленных на основе различных полиэфирных смол.

Давление при прессовании $кг/см^2$	Температура прессформы $^{\circ}C$	Текучесть по Рашигу, мм
90	120	50
90	150	55
315	150	78

При использовании поверхностно-активных веществ, обуславливающих тиксотропные свойства, получают сухие пресспорошки. Для удаления кислорода воздуха и повышения текучести порошков необходимо перед прессованием обработать их на вальцах или в червячном прессе. Такие материалы на основе малеинатов, полиэфиракрилатов или их смесей в присутствии перекиси бензоила могут быть отпрессованы по следующему режиму: давление 50—200  $кг/см^2$ , температура — 120 $^{\circ}C$ , продолжительность выдержки 1 мин/мм.

Полиэфирные пресспорошки могут также перерабатываться методом холодной экструзии в горячие прессформы. При этом пресспорошок вводят через загрузочную воронку в цилиндр червячного пресса. При перемещении вдоль оси червяка происходит пластикация материала до состояния пасты. Паста через сопло подается в нагретую прессформу, которая в момент заполнения прижимается к соплу цилиндра винтовым прижимом.

#### Распыление и полив

Метод распыления находит широкое применение при переработке лакокрасочных материалов на основе ненасыщенных полиэфирных смол. Основное преимущество полиэфирных лаков заключается в том, что нанесением одного слоя можно получить пленку толщиной 200—300 мк. Чтобы предотвратить стекание лака с вертикальных поверхностей, в него вводят тиксотропные добавки (азросил, нитрат целлюлозы и др.). Обычно непосредственно перед использованием в полиэфирные лаки для снижения их вязкости добавляют необходимое количество (5—15%) растворителя — ацетона, метанола, этилацетата, метилэтилкетона и др. Нельзя применять в качестве растворителей хлорированные углеводороды или скипидар, так как они оказывают влияние на процесс отверждения лаков. Перед нанесением полиэфирных лаков на деревянные или древесно-стружечные поверхности обычно проводится операция порозаполнения. При этом используют шпаклевку ПЭШ или порозаполнители КФ-1 или ЛК-4. После нанесения порозаполнителя

производится сушка изделий в течение 1 ч при 40—50° С. Лакирование поверхности осуществляют в специальных распылительных камерах или с использованием пистолетов-распылителей различной конструкции или других устройств.

Так, например, технологический процесс лакирования футляров телевизоров «Беларусь 110» беспарафиновым лаком горячего отверждения ПЭ-220 складывается из следующих операций:

- 1) нанесение первого слоя лака в распылительной камере;
- 2) выдержка на конвейере в течение 14 мин при 18—23° С;
- 3) подсушка в терморadiационной сушильной камере в течение 16 мин при 70—75° С;
- 4) нанесение второго слоя лака;
- 5) выдержка на конвейере в течение 12 мин при 18—23° С;
- 6) подсушка в терморadiационной сушильной камере в течение 26 мин при 70—75° С;
- 7) нанесение третьего слоя лака;
- 8) окончательная сушка — ступенчатая (40—80° С) в течение 1 ч 45 мин.

Приготовление лака производится следующим образом: на 100 вес. ч. полуфабриката лака ПЭ-220 вводят 3,6 вес. ч. гидроперекиси кумсала и добавляют ацетон до достижения необходимой вязкости (вязкость по ВЗ-4 при 18—23° С — 32—34 сек).

Данные о режимах сушки и вязкости некоторых марок полиэфирных лаков приведены ниже.

Режимы сушки полиэфирных лаков

Марка лака	Вязкость по вискозиметру ВЗ-4 (для нанесения распылителем), сек	Разбавитель	Режим сушки	
			температура °С	продолжительность мин
Лак полималеннотный ПЭ-220 (СТУ 104-329-65) . .	30—35	Ацетон	Первый слой	
			18—20	20
			60	30
			Второй слой	
Лак полиэфиракрилатный ПЭ-214 (ВТУ ГИПИ-4 228-60) . . . . .	55—65	Ацетон или Р-8	18—20	20
			60	180
			18—20	24 ч
			или 70	75
Лак полималеннотный мепельный ПЭ-29 (ТУ ЯН 215-60) . . . . .	55—65	Ацетон	18—20	10 ч
Эмаль полималеннотная ПЭ-225 белая (ТУ ГИПИ-4-442-62) . . . . .	30—35	Ацетон	Первый слой	
			18—20	20
			60	40
			Второй слой	
			18—20	20
			60	180

В настоящее время для переработки полиэфирных лаков кроме метода распыления применяют метод полива или нанесения их вручную кистями. При нанесении покрытия кистями пользуются лаками более вязкой консистенции, чем при распылении. Например, лак ПЭ-220 разбавляют в этом случае ацетоном до рабочей вязкости по ВЗ-4 — 80—100 сек, при нанесении же лака методом распыления вязкость составляет 30—35 сек. Температурные режимы сушки обычно аналогичны таковым для метода распыления.

#### Пропитка

Полиэфирные смолы применяются для пропитки и герметизации узлов электрооборудования, а также для пропитки древесины, сварных и паяных швов и металлических отливок, полученных методами порошковой металлургии, литьем под давлением и другими методами (ПН-301, ТУ П-537—67).

Пропитку некоторых изделий из цветных и черных металлов проводят с целью устранения их пористости и повышения герметичности, прочности и коррозионной стойкости. Обычно технологический процесс устранения микроскопических дефектов состоит из следующих операций:

- 1) очистка пор от следов масла и других загрязнений;
- 2) пропитка;
- 3) удаление избыточного количества смолы с поверхности;
- 4) отверждение пропиточной смолы.

Очистку пор литых изделий проводят в герметизированном аппарате в парах растворителя, например, перхлорэтилена. Затем изделия подают в пропиточную камеру, где вначале под вакуумом (остаточное давление 30—60 мм рт. ст.) удаляют из пор газы и пары, а затем заполняют аппарат полиэфирной смолой и проводят пропитку под давлением 5—7 ат. После извлечения изделия из аппарата и стекания избыточного количества смолы оставшийся на поверхности слой пропиточного состава удаляют промывкой в растворителях или воде. Пропитанную и отмытую деталь помещают в термокамеру, где при 100—150° С проходит отверждение смолы в порах.

Для пропитки трансформаторов и других деталей электротехнического назначения последние погружают в смолу, содержащую отверждающие добавки; процесс ведут под вакуумом или давлением или с применением вакуума и давления попеременно. Длительность цикла пропитки определяется главным образом вязкостью смолы и размером пустот.

#### ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ И ГИГИЕНА ТРУДА ПРИ ХРАНЕНИИ И ПЕРЕРАБОТКЕ ПОЛИЭФИРНЫХ СМОЛ

Хранение полиэфирных смол и иницирующих добавок. Полиэфирные смолы хранят в бочках или бидонах из алюминия или оцинкованного железа в закрытых помещениях при температуре не

выше 20° С, защищая смолы от действия солнечных лучей и влаги. Гарантийный срок хранения составляет обычно 4—6 месяцев, однако, если по истечении данного срока продукт удовлетворяет требованиям технических условий, его можно считать пригодным к переработке.

Пожарная опасность полиэфирных смол определяется природой мономера, входящего в их состав. Стирол, являющийся компонентом многих смол, легко воспламеняется (температура вспышки 31° С, температура самовоспламенения 490° С). Пределы взрываемости смесей стирола с воздухом: нижний — 1,1, верхний — 7,5 объемн. %. Температурные пределы взрываемости 27—56° С.

Для предотвращения пожара необходимо хранить смолы в герметично укупоренной таре; освещение и электрооборудование складских помещений должно быть сделано во взрывобезопасном исполнении. Не допускается наличие источников открытого огня и искр.

Целесообразно заземлять большие емкости для хранения полиэфирных смол. Помещения должны быть снабжены средствами пожаротушения: пенными и углекислотными огнетушителями, песком и т. п.

Перекисные и гидроперекисные инициаторы, являющиеся взрыво- и огнеопасными веществами, хранят в изолированных вентрируемых неотапливаемых помещениях при температуре не выше 25° С. В сухом состоянии они могут разлагаться со взрывом при ударах, растирании, нагревании, соприкосновении с сильными кислотами и восстановителями, например, третичными аминами, нафтенатом кобальта и др. Гипериз хранится в железных бочках; нельзя применять пробки и прокладки из резины, свинца или третирика. В лабораторных условиях гипериз хранят в таре из полиэтилена или темного стекла. В последнем случае запрещается использовать резиновые и притертые стеклянные пробки; вместо них применяют завинчивающиеся крышки из полиэтилена или корковые пробки с прокладкой из полистироловой пленки.

Перекись бензоила поставляют и хранят в увлажненном состоянии (влажность не менее 25%) в стеклянных бутылках и керамических банках с деревянными или керамическими пробками. Тару помещают в деревянные обрешетки. Замороженная увлажненная перекись бензоила так же взрывоопасна, как и сухая, поэтому в зимнее время необходимо проводить увлажнение ее не водой, а этиловым спиртом.

Не допускается хранение перекисей и гидроперекисей рядом с источниками тепла (огнем, нагревательными приборами, паровыми трубами, радиаторами отопления и т. д.), а также на прямом солнечном свете. Складское помещение должно отвечать всем требо-

ваниям, предъявляемым к помещениям для хранения огне- и взрывоопасных веществ. Источники электрического освещения располагаются вне склада. Помещение должно быть чистым и свободным от горючих материалов, сора, тряпок и т. д. При возникновении пожара следует применять воду и песок.

В лабораториях и производственных помещениях разрешается хранить лишь небольшое количество инициаторов. Тара, освобождающаяся из-под перекисей и гидроперекисей, должна тщательно промываться спиртом, ацетоном, водой, содовым раствором или 3%-ным раствором щелочи; только после этого она может использоваться повторно. Категорически запрещается хранить пустую непромыванную тару.

Применяемый в качестве ускорителя диметиланилин выпускается в стеклянных бутылках; ускоритель НК — в алюминиевых бидонах и стеклянных бутылках. Ускорители ввиду их горючести и токсичности хранят в отдельных помещениях или отсеках в условиях, аналогичных условиям хранения полиэфирных смол.

**Переработка полиэфирных смол.** Многие полиэфирные смолы (ПН-1, ПН-2, ПН-3, ПН-4, ПН-6, ПН-10, ПН-69 и др.) содержат в своем составе стирол, пары которого обладают наркотическим и сильным раздражающим действием, а также действуют на нервную систему, кровь и кроветворные органы. Попадание стирола или стиролсодержащих смол на кожу может вызывать раздражение и дерматиты. Предельно допустимая концентрация паров — 5 мг/м<sup>3</sup>.

В состав некоторых смол входят метилметакрилат (ПНМ-2, ПНМ-8, ПН-1М) и полиэфиракрилаты (ПН-62, ПН-11, НПС 609-21М и др.). Метилметакрилат вызывает раздражение кожи и слизистой оболочки глаз; он менее токсичен, чем стирол (предельно допустимая концентрация 50 мг/м<sup>3</sup>).

Токсичность смол, содержащих полиэфиракрилаты, определяется наличием в последних толуола в количестве до 4%. Пары толуола при концентрациях более 50 мг/м<sup>3</sup> обладают наркотическим и сильно раздражающим действием и влияют на кроветворные органы.

Работы с полиэфирными смолами должны проводиться в помещениях с приточно-вытяжной вентиляцией. Кроме общей необходимо устанавливать местную вентиляцию в местах наибольшей концентрации токсичных летучих веществ (пресса, термокамеры, участки для контактного формования изделий и т. д.). При этом отсос воздуха желательно проводить из нижней части рабочего помещения, так как пары стирола тяжелее воздуха.

При работе с полиэфирными смолами следует пользоваться спецодеждой (халаты, комбинезоны, фартуки и др.), резиновыми перчатками или специальными защитными смазками на основе поливинилового спирта или казеина.



При попадании смолы на незащищенные участки кожи необходимо удалить ее куском ваты, ткани или бумаги, а затем вымыть этот участок кожи теплой водой с мылом или 5%-ным раствором соды и смазать кремом.

Перекиси и гидроперекиси, особенно гипериз и перекиси циклогексанона и метилэтилкетона, обладают резким раздражающим действием на кожу и слизистые оболочки и могут вызывать ожоги. Работу с этими веществами надо проводить в резиновых перчатках и очках, особенно опасаясь их попадания в глаза. В последнем случае необходимо немедленно смыть перекись сильной струей воды, сразу же промыть глаза 2%-ным раствором пищевой соды и обратиться за помощью к врачу. Участки кожи, на которые попала перекись, промывают спиртом, а затем водой с мылом и смазывают кремом.

Диметиланилин весьма токсичен. Он действует на кровь, печень, почки и центральную нервную систему. Предельно допустимая концентрация паров — 0,003 мг/л. Приготовление навесок диметиланилина желательно проводить в вытяжном шкафу, пользуясь перчатками и защитными очками. Тара с ускорителем должна закрываться плотно.

При обращении с ускорителем НК, содержащим стирол, принимают те же меры предосторожности, что и при работе с полиэфирными смолами.

Основные меры по обеспечению взрыво- и пожаробезопасности при переработке полиэфирных смол определяются свойствами смол и иницирующих добавок, описанными выше. Цехи по производству и переработке полиэфирных смол должны отвечать требованиям, предъявляемым к взрыво- и пожароопасным помещениям: они снабжаются средствами пожаротушения, взрывобезопасным электрооборудованием и осветительной арматурой, в цехах запрещается курение и работа с инструментом, который может вызвать искрение при ударе.

Во избежание возгорания и взрыва категорически воспрещается предварительное смешение инициатора с ускорителем. Эти компоненты иницирующих систем, например гипериз и ускоритель НК, перекись бензоила и диметиланилин и др., следует вводить в полиэфирную смолу поочередно, причем каждый последующий компонент вводится только после тщательного смешения со смолой предыдущего.

#### ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИЭФИРНЫХ СМОЛ

Полиэфирные смолы применяются глазным образом в качестве связующих для стеклопластиков, которые широко используются в различных областях народного хозяйства.

В настоящее время выпускаются гладкие и волнистые листы из стеклопластиков на основе смолы ПН-1. Эти материалы имеют

удовлетворительные физико-механические свойства, небольшую объемную массу, светопрозрачность и хороший внешний вид. Они применяются для устройства световых фонарей, покрытий общественных и промышленных зданий (летних павильонов, кафе и т. д.), навесов, балконных ограждений, стеновых панелей и перегородок. Листовые стеклопластики декоративного назначения могут быть окрашены практически в любые цвета и тона с помощью различных пигментов и красителей.

Кроме того, из полиэфирных стеклопластиков изготавливают оконные переплеты, наружные слон навесных панелей, коробки и петли, прозрачные и непрозрачные двери, панели козырьков, карнизы, лестничные ограждения, водосточные желоба, гидроизоляцию и т. д. Представляют интерес дачные домики, монолитные санузлы, душевые кабины, ванны, умывальники и вентиляционные короба из стеклопластиков на основе полиэфирных смол.

Разработана технология нанесения стеклопластиков со связующими типа ПН-1, ПН-3, ПН-4 и др. на асбоцементные листы, древесностружечные и древесноволокнистые плиты с целью повышения их ударной прочности и водостойкости. Специальные трубы из стекложгута и смолы ПН-1 находят применение для устройства каркаса сборных юрт.

Из полиэфирных стеклопластиков изготавливают корпуса судов, катеров, шлюпок и яхт. Существенные преимущества стеклопластиков перед традиционными материалами заключаются в том, что они не гниют, не подвергаются коррозии и не поражаются древоточцами; технология их изготовления проста; повторная окраска производится сравнительно редко. Это уменьшает расходы на строительство и эксплуатацию судов и повышает срок их службы.

Внутренняя отделка судов, судовая мебель, сантехкабины, двери, иллюминаторы и другие элементы судовых конструкций также могут быть выполнены из стеклопластиков, причем в качестве связующих рекомендуется использовать самозатухающие смолы.

Для эффективной защиты деревянных корпусов судов в качестве наружного покрытия обшивки используют полиэфирный стеклопластик на основе ПН-1 или олигоэфиракрилатов.

Разработана конструкция и технология изготовления крыш грузовых вагонов с применением стеклопластиков на основе полиэфирных смол. Замена такими крышами металлических крыш дает возможность снизить вес каждого вагона на 1 т и высвободить большое количество стального проката, пиломатериалов и лакокрасочных материалов.

Полиэфирные стеклопластики используют при изготовлении корпусов машин, кожухов, защитных ограждений, вентиляционных труб, бачков, рукояток, фланцев, химической аппаратуры, контейнеров и других изделий.

Кроме того армированные пластики на основе полиэфирных смол находят применение в автомобиле- и самолетостроении, электротехнике, мебельной промышленности, в производстве спортивного инвентаря и других отраслях народного хозяйства.

Некоторые полиэфирные смолы, например ПН-1, ПН-2, ПН-3, ПН-2ГО, ПЭ-219, ПЭ-220, ПН-2Н и др., применяются в качестве лаков, наносимых распылением или поливом.

Полиэфирные лаки холодной и горячей сушки используют главным образом для отделки мебели и корпусов радиоприемников и телевизоров. Разработана технологическая схема поточной отделки столярных и древесностружечных плит (для изготовления торгового оборудования) окрашенными полиэфирными смолами марок ПН-1 и ПН-3.

Полиэфирные покрытия отличаются высокой механической прочностью, твердостью, блеском и стойкостью к действию воды, бензина, масла и разбавленных кислот.

Смола ПН-1 и некоторые другие полиэфирные смолы применяются при склеивании стеклопластиков друг с другом, с асбцементными и древесноволокнистыми плитами, сотовыми и другими материалами.

На основе смолы ПН-1 и минерального наполнителя получена кислотоупорная замазка, стойкая к действию окислительных сред и предназначенная для защиты химической аппаратуры.

Смолы ПН-1 и ПН-3 входят в состав некоторых шпаклевочных масс, применяемых для гидро- и пароизоляции бетона. Смолы ПН-69 и СКПС-3 в сочетании с ПН-1 использованы при изготовлении наливных полов, приобретающих после отверждения связующих высокую ударную прочность, стойкость к истиранию, действию воды и химических сред.

Шпаклевочные композиции на основе ПН-1 и эпоксидных смол нашли применение при заделке крупных дефектов металлического литья.

В СССР освоен выпуск специальных марок смол (ПН-69, ПН-100, СКПС-3, КГМС-1, КГМС-2 и др.), которые могут использоваться для пропитки и заливки различных материалов, препаратов и изделий, в частности деталей электро- и радиотехнического назначения.

Кроме того, полиэфирные смолы ПН-69 и СКПС-3 пригодны для химической пластификации некоторых полиэфирных (ПН-1, ПН-2, ПН-10, ТГМ-3, МГФ-9) и эпоксидных смол. Введение пластифицирующих смол вызывает также снижение вязкости исходных композиций.

Описано также применение ПН-1 и ПН-3 для пластификации антикоррозионных и декоративных покрытий по металлу на основе эпоксидных смол; при этом значительно увеличивается долговечность покрытия: оно не растрескивается и не теряет эластичности.

Сочетание полиэфирных смол эластичного типа с хрупкими кумароновыми смолами обеспечивает получение покрытий полов с высокими эксплуатационными характеристиками. Полиэфирно-кумароновые мастичные составы с минеральными наполнителями применяют при изготовлении наливных полов. Водопоглощение этих составов в 10 раз меньше, чем поливинилacetатных.

## ЛИТЕРАТУРА

### Производство полиэфирных смол

1. Vorlander D., Liebigs Ann. Chem., **280**, 167 (1894).
2. Пат. США 2195362 (1936), 2255313 (1941).
3. Венде А., Химия и технология полимеров, № 2, 91 (1966).
4. Дринберг А. Я., Жебровский В. В., ЖПХ, **13**, 610 (1940); Дринберг А. Я., Благодирова А. А., ПОХ, **7**, № 8, 388 (1940).
5. Жебровский В. В., Кулиникова Е. Я., ПОХ, № 6, 321 (1940); Жебровский В. В., канд. дисс., ЛХТИ, 1938.
6. Максоров Б. А., Сб. «Вопросы изоляции в электротехнике» (Труды конференции по изолирующим материалам), М.—Л., 1930, стр. 128.
7. Ли П. З., Михайлова З. В., Седов Л. Н., Пласт. массы, № 8, 7 (1960).
8. Штрайхман Г. А., Альшиц И. М. и др., ЖПХ, **34**, № 4, 888 (1961).
9. Коршак В. В., Виноградова С. В., Гетероцепные полиэфирные, Изд. АН СССР, 1958.

### Свойства полиэфирных смол и материалов на их основе

10. Ли П. З., Михайлова З. В., Седов Л. Н. и др., Производство и переработка пластмасс, синтетических смол и стеклянных волокон. Техн. и эконом. информ., № 4, 16 (1965).
11. Новикова Т. В., Голынкина В. Б., Ненасыщенные полиэфирные смолы, ЛДНТП, 1966.
12. Ли П. З., Михайлова З. В., Седов Л. Н., Эксанов В. А., Пласт. массы, № 2, 29 (1960).
13. Михайлова З. В., Ли П. З., Седов Л. Н., Пласт. массы, № 5, 38, 1968.
14. Ли П. З., Каганова Е. Л., Михайлова З. В., Пласт. массы, № 5, 10 (1962).
15. Авт. свид. СССР № 132812, 8/1, 1960 г. (Бюлл. изобр., № 20, 1960); № 135638, 15/IV, 1960 г. (Бюлл. изобр., № 3, 1960).
16. Авт. свид. СССР № 172037, 31/VIII, 1964 г. (Бюлл. изобр., № 12, 1965).
17. Витенберг А. Р., Дудина Ю. Д., Михайлова З. В., Миронова В. В., Пласт. массы, № 6, 62 (1965).
18. Михайлова З. В., канд. дисс., МХТИ, 1966.
19. Ли П. З., Михайлова З. В., Черток О. М. и др., Пласт. массы, № 9, 40 (1966).
20. Авт. свид. СССР № 170664, 10/VI, 1963 г. (Бюлл. изобр., № 9, 1965); Седов Л. Н., Ли П. З., Пласт. массы, № 1, 11 (1966).
21. Лакорасочные материалы. Сырье и полупродукты. Справочник, Госхимиздат, 1961.
22. Бенниг Г., Ненасыщенные полиэфирные. Строение и свойства. Изд. «Химия», 1968.
23. Ли П. З., Луковенко Т. М., Михайлова З. В., Седов Л. Н., Пласт. массы, № 2, 19 (1959).

24. Тростянская Е. Б., Ставкой Г. Г., Казанский Ю. Н., Пласт. массы, № 9, 31 (1966).
25. Тростянская Е. Б., Виноградов В. М., Казанский Ю. М., Пласт. массы, № 7, 15 (1962).
26. Авт. свид. СССР № 150620, 24/II, 1962 г. (Бюлл. изобр., № 19, 1962).
27. Авт. свид. СССР № 155256 (Бюлл. изобр., № 12, 1963); Лопатин Б., Бум. пром., № 1, 15 (1966).
28. Трахтенберг З. З., Чудновский А. Р., Литейное производство, № 10, 37 (1964).
29. Авт. свид. СССР, № 134829, 5/V 1960 г. (Бюлл. изобр., № 1, 1961).
30. Нечаев Г. А., Федотов Е. Д., Применение пластмасс для гидроизоляции зданий, Изд. лит. по строительству, 1965, стр. 57.
31. Белоусов Е. Д., Фиговский О. Л., Строительные материалы, № 9, 34 (1966).
32. Николадзе Г. И., Применение пластмасс в водоснабжении и канализации, Изд. лит. по строительству, 1966, стр. 29.
33. Черняк К. И., Справочник. Неметаллические материалы в судовой электро- и радиотехнической аппаратуре, Изд. «Судостроение», 1966, стр. 112.
34. Технические условия на лакокрасочные материалы, т. 1, Изд. «Химия», 1965.
35. Седов Л. Н., Пласт. массы, № 12, 16 (1966); Ли П. З., Михайлова З. В., Седов Л. Н., Вестник техн. и эконом. информ., № 11, 51 (1961).
36. Прелкова А. Г., Бочкарева Г. П., Пласт. массы, № 11, 17 (1963); Левицкая О. М., Голынкина В. Б., Кацнельсон Е. С., Быкова А. Я., Пласт. массы, № 4, 18 (1965); Авдеева Г. М., Ли П. З., Седов Л. Н., Пласт. массы, № 8, 26 (1967).
37. Берштейн В. А., Труды ЦНИИ Мор. флота, 53, 1963.
38. Поляков В. Л., Федоренко А. Г., Горбаткина Ю. А., в сб. «Физико-химия и механика ориентированных стеклопластиков», Изд. «Наука», 1967, стр. 139.
39. Корф О. Я., Скудра А. М., Тр. строит. фак. РПИ, Рига, 1966.
40. Гарнопольский Ю. М., Скудра А. М., Конструктивная прочность и деформативность стеклопластиков, Изд. «Зинатне», Рига, 1966.
41. Николаев А. Ф., Синтетические полимеры и пластические массы на их основе, Изд. «Химия», 1966, стр. 159; Варденбург А. К., Пластические массы в электротехнической промышленности, Госэнергоиздат, 1957, стр. 81.
42. Конобиевский И. Д., Несолёная Л. Г., Пласт. массы, № 5, 10 (1965); Конобиевский И. Д., Каган Г. Т., Пласт. массы, № 7, 46 (1964).
43. Седов Л. Н., Ли П. З., Зотов Л. И., Авдеева Г. М., Макеева А. А., Савичева О. И., Пласт. массы, № 9, 16 (1967).
44. Михайлова З. В. в сб. «Применение стеклопластиков в народном хозяйстве», МДНТП, 1, 1966, стр. 41.
45. Таубкин С. И., Баратов А. Н., Никитина Н. С., Справочник пожарной опасности твердых веществ и материалов, Изд. МКХ, 1961; Таубкин С. И., Основы огнезащиты целлюлозных материалов, Изд. МКХ, 1960.
46. Ли П. З., Михайлова З. В., Седов Л. Н., Каганова Е. Л., Гефтер Е. Л., Пласт. массы, № 11, 9 (1960).

#### Переработка полиэфирных смол

47. Ли П. З., Михайлова З. В., Быкова Л. В., Пласт. массы № 6, 19 (1966).
48. Михайлова З. В., Ли П. З., Пласт. массы, № 1, 12 (1963).
49. Авт. свид. СССР № 172491, 8/II, 1964 г. (Бюлл. изобр., № 13, 1965); Михайлова З. В., Ли П. З., Малиновская Т. П., Каганова Е. Л., Пласт. массы, № 7, 12 (1966).
50. Михайлова З. В., Ли П. З., Быкова Л. В., Каганова Е. Л., Пласт. массы, № 3, 21 (1967).

51. Волк А. И. и др., в сб. «Стеклопластики в строительстве», ВНИИНСМ, вып. 7 (15), 79 (1966).
52. Харпер Ч., Заливка электронного оборудования синтетическими смолами, Изд. «Энергия», 1964.
53. Андрианов К. А., Рокницкая М. С., Прелкова А. Г., Вестник электропрома, № 2, 11 (1956).
54. Седов Л. Н., Вестник техн. и эконом. информ., № 9, 15 (1964).
55. Седов Л. Н., Химия и технология полимеров, 10, № 2, 17 (1966).
56. Фр. пат. № 1334909.
57. Пат. США № 2971223.
58. Фр. пат. № 1317357.
59. Хувинк Р., Ставерман А., Химия и технология полимеров, Изд. «Химия», 1966, стр. 642.
60. Справочник по лакокрасочным покрытиям в машиностроении, Изд. «Машиностроение», 1964, стр. 88.
61. Гловская Н. С., Лакокрасочные материалы и их применение, № 1, 59 (1967).
62. Основные правила безопасной работы в химической лаборатории, Изд. «Химия», 1966.
63. Вредные вещества в промышленности, ч. 1, Госхимиздат, 1963.
64. Code of practice for the storage of organic peroxides, Laporte Chemicals Ltd., Publ. LC 41, 1966.

#### Применение полиэфирных смол

65. Стеклопластики в строительстве, Сб. трудов, вып. 7 (15), ВНИИНСМ, 1966.
66. Виттенберг А. Р., Дудина Ю. Д., Михайлова З. В., Миронова В. В., Пласт. массы, № 6, 62 (1965); Волк А. И., Тимофеев Н. Я. и др., Пласт. массы, № 4, 24 (1966).
67. Гладченко И. П., Добкин Р. Д., Кокки А. Д., Пласт. массы, № 9, 22 (1960); Виттенберг А. Р., Дудина Ю. Д., Пласт. массы, № 10, 47 (1960); Федоров В. Н., Гладченко И. П. и др., Пласт. массы, № 7, 54 (1961).
68. Николаев А. Н., Гладченко И. П., Несветов Н. В., Егерев В. Н., Пласт. массы, № 10, 55 (1963); Николаев А. Н., Гладченко И. П., Биргауз Г. О. и др., Пласт. массы, № 7, 60 (1965).
69. Губенко А. Б., Ковальчук Л. М., Патуроев В. В., Расс Ф. В., Пласт. массы, № 2, 37 (1963); Губенко А. Б., Патуроев В. В., Сухарев Л. А., Ковальчук М. М., Пласт. массы, № 11, 34 (1964).
70. Николаев А. Н., Ярцев В. Г., Куликов Н. В. и др., Пласт. массы, № 1, 52 (1964).
71. Аврух М. Г., Проектирование судов из пластмассы, Л., Судпрогиз, 1960; Катков П. П., Костров А. Н., Файнберг Е. Д., Шлюпки и катера из пластмасс, Судпрогиз, 1964; Альшин И. М., «Полиэфирные стеклопластики для судостроения, Изд. «Судостроение», 1964.
72. Лукьянчиков И. К., в сб. «Переработка пластмасс», Труды Свердл. науч.-тех. совещания, Изд. «Химия», 1966, стр. 301; Круглая З. В., Дядин А. А., Соков А. М., Труды Всесоюз. ЦНИИ жел.-дор. транспорта, вып. 267, 1963, стр. 82; Ситковский И. П., в сб. «Применение стеклопластиков в народном хозяйстве», 2, МДНТП, 1966, стр. 55.
73. Каган А. М., Соболев Д. А., Пласт. массы, № 3, 37 (1960); Егоров Н. К., в сб. «Применение стеклопластиков в народном хозяйстве», 2, МДНТП, 1966, стр. 61.
74. Федоров В. Н., Гладченко И. П. и др., Пласт. массы, № 7, 54 (1961); Левицкая О. М., Бреслер В. А., Руднев С. А., Пласт. массы, № 12, 26 (1961); Сенатский Н. Н., Пласт. массы, № 2, 26 (1963); Гендлер В. М., Брякалов А. А., Пласт. массы, № 5, 34 (1962); Горвинова А. В., Стеклопластики в машиностроении, Машгиз, 1961.

75. Сухарева Л. А. и др. Лакокрас. материалы и их применение, № 3, 46 (1965); Кинь В. А., Ковач С. С., Томчани В. И., Мебель, Реф. информ., 1966, № 6, 4.
76. Фрейдин А. С., Шолохова А. Б., Расс Ф. В., Сб. «Технология изготовления клеевых панелей из пластмасс, алюминия, асбестоцемента и бетона», Госстройиздат, 1963; Шолохова А. Б., Телетая С. Н., Фрейдин А. С., Пласт. массы, № 5, 72 (1965); Шолохова А. Б., Канд. дисс., 1966; Шпикин В. Е., Конструкции из дерева и пластических масс, Изд. лит. по строительству, 1966; Ковальчук Л. М., Негушил Н. Е., Чистяков А. М., Пласт. массы, № 4, 65 (1966).
77. Логиннов В. С., Кашковская Е. А. и др., Бетон и железобетон, № 1, 27 (1963).
78. Малышев Г. А., Езерский А. Н., Пласт. массы, № 2, 71 (1964).

## ЭПОКСИДНЫЕ СМОЛЫ \*

**Э**поксидными соединениями называют широкий класс веществ, содержащих в своей цепи эпоксидную группу  $\left(\begin{array}{c} \diagup \text{C} \text{---} \text{C} \diagdown \\ \diagdown \text{O} \diagup \end{array}\right)$ , или  $\alpha$ -окисный цикл.

Эпоксидные соединения, содержащие две и более эпоксидных групп, после введения в них сшивающих агентов (отвердителей, катализаторов) при определенных условиях переходят в неплавкие нерастворимые продукты, обладающие сетчатой трехмерной структурой.

Эпоксидные смолы могут быть получены двумя способами:

1. При взаимодействии эпихлоргидрина или дихлоргидрина с двух- и многоатомными фенолами, резорцином, анилином, фенольными смолами, аминами, гликолями и другими соединениями.

2. Прямым эпоксидированием ненасыщенных соединений надкислотами (надуксусной, надбензойной, моноадфталевой и др.).

Первым способом в результате реакции с эпихлоргидрином получают:

а) диэпоксидные смолы на основе дифенилолпропана, получившие название диановых, — ЭД-5, ЭД-6, ЭД-П, ЭД-Л, Э-37, Э-40, Э-5; азотсодержащие — ЭА (на основе анилина); ЭМДА (на основе диаминодифенилметана); ЭФФ (на основе фенолфталеина); ЭАФ-400;

б) полиэпоксидные смолы на основе эпоксиноволаков ЭН-5, ЭН-6; эпоксициануратные (ЭЦ); смолы на основе полифенолов типа ЭТФ;

в) алифатические диэпоксидные смолы: Э-181, ДЭГ-1, ДЭГ-19, ТЭГ-1, ТЭГ-17, ДЭГ-Ж, ДЭГ-Ф, ДЭГ-У, МЭГ-1, ЭЭТ-1.

Прямым эпоксидированием дициклопентадиена надуксусной кислотой получают диоксид дициклопентадиена ДДЦПД, монооксидвинилциклогексена МВЦГ.

Путем прямого эпоксидирования получают также полиэпоксидные олигомеры — эпоксидированный дивинил, эпоксидированный дивинилстирол и др.

\* Наиболее распространенные торговые марки эпоксидных смол за рубежом: аральдит, дуракс, дураксин, экомолд, эпнал, эпикот, эпифен, эпокаст, эполак, эполит, эпон, эпофен, эпосир, эпоксилит, хайсол, марасет, нуреко, сумикон, урже.

Неотвержденные эпоксидные смолы представляют собой низкомолекулярные жидкости или низкоплавкие продукты, которые легко растворяются во многих органических растворителях (ацетоне, толуоле, хлорированных углеводородах и др.), нерастворимы в воде, бензине, ограниченно растворимы в спиртах. С увеличением молекулярного веса растворимость неотвержденных эпоксидных смол уменьшается. Неотвержденные смолы имеют весьма ограниченное применение.

Отвержденные смолы обладают рядом ценных технологических, физико-механических и диэлектрических свойств; изделия, изготовленные из них, бензо-, масло- и водостойки. В отличие от многих других полимерных материалов эпоксидные смолы отверждаются без выделения побочных продуктов с минимальной усадкой.

Эпоксидные смолы используют как конструкционный, электроизоляционный материал, как связующее при изготовлении стеклопластиков и прессовочных композиций, для изготовления различной технологической оснастки, в качестве клеев, герметиков, коррозионно- и водостойких покрытий, обладающих хорошей атмосферостойкостью.

#### ДИАНОВЫЕ ЭПОКСИДНЫЕ СМОЛЫ

Эпоксидные диановые смолы ЭД-5, ЭД-6, ЭД-П, ЭД-Л (ГОСТ 10587 — 63). Представляют собой растворимые плавкие низкомолекулярные продукты конденсации эпихлоргидрина с дифенилолпропаном в присутствии щелочи.

Изменяя соотношение исходных компонентов, получают смолы различного молекулярного веса. Зависимость молекулярного веса эпоксидных смол от соотношения входящих в их состав компонентов представлена ниже:

Марка смолы	Мольное соотношение эпихлоргидрина и дифенилолпропана	Молекулярный вес	Количество эпоксидных групп %	Температура размягчения смолы °С
ЭД-5	5:1	350—470	18—23	0
ЭД-6	2,5:1	480—600	13—18	10
ЭД-П	1,5:1	600—800	11—14	15—30
ЭД-Л	1,2:1	800—1200	8—11	40—60

Свойства неотвержденных диановых смол приведены на стр. 55.

В качестве отвердителей эпоксидных диановых смол применяют различные ди- и полиамины жирного и ароматического ряда, низкомолекулярные полиамиды, производные аминов. Отверждение в этих случаях начинается при умеренных температурах (15—20°С). Для завершения процесса отверждения и достижения оптимальных свойств необходима дополнительная термообработка при 80—120°С в течение 8 и 3 ч соответственно.

#### Свойства неотвержденных диановых смол

Показатели	ЭД-5	ЭД-6	ЭД-П	ЭД-Л
Внешний вид . . . . .	Низковязкая прозрачная смола	Вязкая прозрачная смола	Высоковязкая смола	Твердая смола
Цвет . . . . .	От светло-желтого до коричневого			
Содержание, %				
эпоксидных групп . . . . .	Не менее 18,0	18,0—14,0	14,0—11,0	11,0—8,0
летучих, не более . . . . .	2,0	1,0	1,0	1,0
общего хлора, не более . . . . .	1,5	0,75	1,5	1,5
иона хлора, не более . . . . .	0,016	0,016	0,007	0,007
Температура размягчения по методу «кольцо и шар», °С . . . . .	Не определяют			40—60
Условная вязкость по шариковому вискозиметру, сек, не более				
при 25°С . . . . .	75	—	Не определяют	
» 50°С . . . . .	—	100	Не определяют	
Условная вязкость с отвердителем через 2 ч после смешения при 100°С по шариковому вискозиметру, сек, не более . . . . .	10,0	20,0	35,0	100,0

Примечание. В смолах, применяемых для изготовления электроизоляционных и антикоррозионных покрытий, содержание иона хлора не должно превышать 0,007%.

Отверждение ангидридами дикарбоновых кислот проводят при 120—200°С. Для ускорения процесса отверждения и уменьшения экзотермического эффекта рекомендуется использовать ускорители — третичные амины, меркаптаны, тиоспирты.

Отверждение также может происходить в результате полимеризации по эпоксидным группам в присутствии катализаторов — комплексных соединений трехфтористого бора (BF<sub>3</sub>) и третичного амина. Эти реакции протекают при температурах от —5 до +200°С (в зависимости от типа катализатора).

Свойства отвержденных эпоксидных диановых смол зависят от их молекулярного веса. С увеличением молекулярного веса повышается эластичность отвержденных смол, снижается теплостойкость. При отверждении ароматическими аминами теплостойкость отвержденной смолы выше, чем при отверждении алифатическими аминами. При отверждении ангидридами двухосновных кислот получают продукты с лучшей теплостойкостью, чем при отверждении аминами.

Свойства смолы ЭД-6, отвержденной полнэтиленполнэминами и малеиновым ангидридом, приведены ниже:

	Полиэтилен-полнэмина при 80° С	Малеиновый ангидрид при 120–140° С
Предел прочности, $кг/см^2$		
при статическом изгибе . . . . .	800–1000	900–1200
» сжатии . . . . .	1100–1600	1300–1600
Твердость по Бринеллю, $кг/мм^2$ . . . . .	25–30	30–35
Удельное электрическое сопротивление		
объемное $ом \cdot см$ . . . . .	$1 \cdot 10^{15}$	$1 \cdot 10^{15}$
поверхностное, $ом$ . . . . .	$1 \cdot 10^{14}$	$1 \cdot 10^{14}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^3 гц$ . . . . .	$2 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$
Диэлектрическая проницаемость при $10^3 гц$ . . . . .	3,5–4	3,5–4
Электрическая прочность, $кв/мм$ . . . . .	20–22	22–25
Верхний предел рабочих температур, °С . . . . .	100–120	160–180

Зависимость электронизоляционных свойств отвержденных диановых смол от типа примененного отвердителя и режима отверждения показана на рис. 1.

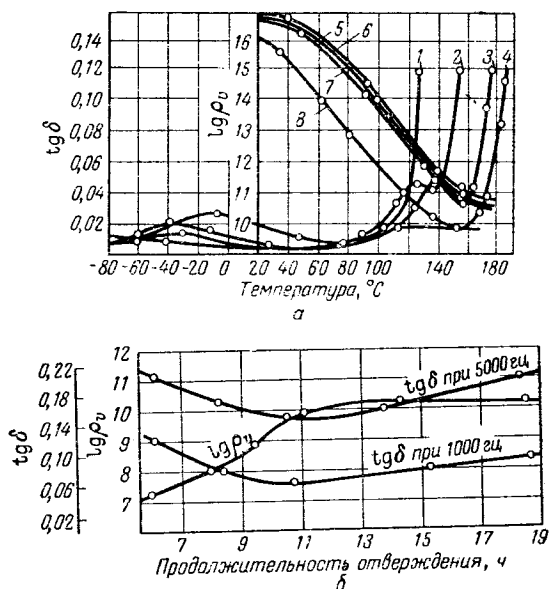


Рис. 1. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь ( $tg \delta$ ) и удельного объемного электрического сопротивления ( $\rho_v$ ) от температуры (а) и продолжительности отверждения при 150° С (б):

$tg \delta$ : 1—ЭД-5/ДЭТА; 2—ЭД-Л/МА; 3—ЭД-5/МА; 4—ЭД-5/МА.  
 $\rho_v$ : 5—ЭД-5/МА; 6—ЭД-6/МА; 7—ЭД-Л/МА; 8—ЭД-5/ДЭТА; 9—ЭД-6.

Низкомолекулярные смолы типа ЭД-5 отверждают главным образом алифатическими (жидкими) аминами, высокомолекулярные

смолы ЭД-П и ЭД-Л — ангидридами кислот или ароматическими аминами.

Низкомолекулярную смолу ЭД-5 и частично смолу ЭД-6 используют для совмещения с различными модифицирующими добавками при изготовлении компаундов. Смолу ЭД-П применяют при получении газонаполненных эпоксидных материалов (пенэпоксидов). Смолы ЭД-6, ЭД-П и ЭД-Л применяют с отвердителями горячего отверждения (ангидриды, феноло-формальдегидные и другие смолы) при изготовлении литой изоляции, для пропитки и обволакивания различных электродеталей (трансформаторов, герметичных проходных высоковольтных изоляторов и др.), как связующее при получении стеклопластиков.

**Эпоксидная смола Э-37 (СТУ 30-12118 — 63).** Продукт взаимодействия дифенилолпропана и эпихлоргидрина. Смола Э-37 должна удовлетворять следующим требованиям:

Внешний вид . . . . .	Сиропообразная жидкость от светло-желтого до темно-коричневого цвета
Содержание, %	
эпоксидных групп . . . . .	11–17
иона хлора, не более . . . . .	0,005
летучих (после нагревания в течение 2 ч при 100° С), не более . . . . .	0,5
Вязкость по шариковому вискозиметру при 100° С после нагревания в течение 2 ч с отвердителем, сек, не более . . . . .	35

Области применения смолы Э-37 аналогичны областям применения смолы ЭД-6.

**Эпоксидная смола Э-40 (ТУ УХП № 259 — 59).** Продукт взаимодействия дифенилолпропана и эпихлоргидрина в щелочной среде. Применяют для шпатлевки, заливки, как клей и полуфабрикат для получения лаков и высокомолекулярных эпоксидных смол. Смола Э-40 должна удовлетворять следующим требованиям:

Внешний вид . . . . .	Прозрачная жидкость от желтого до коричневого цвета
Содержание эпоксидных групп, % . . . . .	16–21
Число омыления, мг КОН/г, не более . . . . .	10
Вязкость по вискозиметру ВЗ-4 при 18–20° С, сек . . . . .	25–60

#### АЗОТСОДЕРЖАЩИЕ ЭПОКСИДНЫЕ СМОЛЫ

**Смола ЭА (МРТУ 6-05-1190 — 69).** Диэпоксидная смола представляющая собой продукт конденсации анилина и эпихлоргидрина в щелочной среде.

Смола должна удовлетворять следующим требованиям:

Внешний вид . . . . .	Низковязкая жидкость от светло-желтого до темно-красного цвета
Содержание, %	
эпоксидных групп, не менее . . . . .	30
летучих, не более . . . . .	1,5
общего хлора, не более . . . . .	2,5
иона хлора, не более . . . . .	0,1
Вязкость по вискозиметру Хейслера при 40°С, <i>снз</i> , не более . . . . .	120

Смола ЭА отверждается аминами, ангидридами кислот и анилино-формальдегидными смолами, хорошо совмещается с различными эпоксидными и полиэфирными смолами, реакционноспособными каучуками.

Физико-механические и диэлектрические свойства отвержденной смолы ЭА аналогичны свойствам диановых смол. Зависимость некоторых свойств смолы ЭА и композиции на основе ЭА и ЭД-5 от характера отвердителя показана ниже.

#### Свойства отвержденных смолы ЭА и композиции на основе смол ЭА и ЭД-5

Показатели	Отвердитель малеиновый ангидрид		Отвердитель ПЭПА
	ЭА	ЭА : ЭД-5 (1 : 1)	ЭА
Предел прочности, $кг/см^2$ при статическом изгибе . . . . .	900—1000	950	800—1000
» сжатия . . . . .	1700—1800	—	1400—1700
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	15—18	13	6—8
Твердость по Бринеллю, $кг/мм^2$ . . . . .	30—35	32	30
Теплостойкость по Мартенсу, °С . . . . .	115	115	100
Водопоглощение, % . . . . .	0,03	0,04	0,03
Удельное электрическое сопротивление			
объемное, <i>ом \cdot см</i> . . . . .	$1 \cdot 10^{15}$	$1,5 \cdot 10^{14}$	$1 \cdot 10^{15}$
поверхностное, <i>ом</i> . . . . .	$1 \cdot 10^{15}$	$1 \cdot 10^{14}$	$1 \cdot 10^{15}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^3$ <i>гц</i> . . . . .	$1 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
Диэлектрическая проницаемость при $10^3$ <i>гц</i> . . . . .	4,0	4,0	4,5
Электрическая прочность, <i>кв/мм</i> . . . . .	15	12	15

Смолу ЭА используют как связующее для стеклопластиков, для заливки, пропитки, герметизации и склеивания в сочетании со смолами ЭД-5 и ЭД-6 (как их активный разбавитель).

**Смола ЭМДА (опытная).** Диэпоксидная смола, представляющая собой продукт конденсации 4,4'-диаминодифенилметана с эпихлор-

гидрином в щелочной среде. Смола должна удовлетворять следующим требованиям:

Внешний вид . . . . .	Высоковязкая жидкость
Содержание, %	
эпоксидных групп . . . . .	31—38
летучих . . . . .	0,4—1,5
общего хлора . . . . .	0
иона хлора . . . . .	~ 0,002
Вязкость при 40°С, <i>снз</i> . . . . .	10 000—12 000

Смола отверждается аминами и ангидридами кислот. Отвержденная смола обладает повышенной теплостойкостью и термостойкостью. Свойства смолы ЭМДА, отвержденной малеиновым ангидридом при 150°С в течение 10 ч, представлены ниже:

Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	18—20
Твердость по Бринеллю, $кг/мм^2$ . . . . .	30—35
Удельное электрическое сопротивление	
объемное, <i>ом \cdot см</i> . . . . .	$8 \cdot 10^{15}$
поверхностное, <i>ом</i> . . . . .	$4 \cdot 10^{15}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^6$ <i>гц</i> . . . . .	$1 \cdot 10^{-2}$
Диэлектрическая проницаемость при $10^6$ <i>гц</i> . . . . .	4,5
Теплостойкость по Мартенсу, °С . . . . .	160—180
Водопоглощение за 24 ч, % . . . . .	0,05—0,08

Смола ЭМДА хорошо совмещается с диановыми эпоксидными смолами; она может быть использована для получения теплостойких конструкционных стеклопластиков и клеев.

В последнее время разработаны новые смолы: УП-610 — эпоксидно-аминофенольная, УП-622ф — эпоксиданилино-формальдегидная, УП-622а — эпоксиданилино-ацетоновая, УП-622ц — эпоксиданилино-циклогексановая. Смолы содержат 25—36% эпоксидных групп, их вязкость при 40°С составляет 500—2500 *снз*.

Ниже приведены характеристики некоторых смол, получаемых взаимодействием эпихлоридрина с другими соединениями.

**Диэпоксидная смола ЭАФ-400 (ТУ П-607—68).** Смола на основе 3,9-ди-(оксифенилэтилен)-спирито-(*м*-диоксалаана) и эпихлоридрина, содержащая 13,5% эпоксидных групп. Отверждается всеми отвердителями, применяемыми для диановых смол. Характеризуется хорошими механическими свойствами (предел прочности при растяжении — 900  $кг/см^2$ , относительное удлинение при разрыве — 7%).

**Диэпоксидная смола ЭФФ (опытная).** Смола на основе фенол-фталена представляет собой твердое хрупкое вещество с температурой каплеплавания 60—70°С, содержащее 15—17% эпоксидных групп (число омыления 130—160 мг КОН/г).

Смолу ЭФФ отверждают ангидридами кислот. Она хорошо совмещается со смолой ЭД-5, при этом снижается вязкость смолы

ЭФФ и повышается эластичность отливок. Деформационная теплостойкость (определяемая по термомеханическим кривым) отвержденной маленновым ангидридом смолы ЭФФ составляет 160—180°С. Другие свойства отвержденной смолы\* представлены ниже:

Предел прочности, $кг/см^2$	800—900		
при статическом изгибе . . . . .	1000—1100		
» сжатии . . . . .	5—8		
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	25—31		
Твердость по Бринеллю, $кг/мм^2$ . . . . .	При 20°С		
Удельное электрическое сопротивление	При 20°С	При 100°С	При 200°С
объемное, $ом \cdot см$ . . . . .	$2 \cdot 10^{15}$	$1 \cdot 10^{14}$	$5 \cdot 10^9$
поверхностное, $ом$ . . . . .	$7 \cdot 10^{15}$	$2 \cdot 10^{14}$	$3 \cdot 10^{11}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^5 гц$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$
Диэлектрическая проницаемость при $10^5 гц$	4,1	4,1	5,5
Водопоглощение за 24 ч, % . . . . .	0,02—0,08		
Теплостойкость по Мартенсу, °С . . . . .	150—160		

**Продукт ЭФ (опытный).** Моноэпоксидное соединение, получаемое при взаимодействии фурилового спирта с эпихлоргидрином. Представляет собой низковязкую жидкость (40 *слз* при 40°С по вискозиметру Хепплера), содержащую 27—28% эпоксидных групп. Применяется как разбавитель диановых смол (ЭД-5, ЭД-6) в количестве от 5 до 50%.

Композиции, содержащие продукт ЭФ, можно отверждать аминами, ангидридами двухосновных кислот и другими отвердителями. Смолы ЭД-6, модифицированная продуктом ЭФ в соотношении 100 : 50 (в вес. ч.) и отвержденная маленновым ангидридом (60—62 вес. ч. на 100 вес. ч. смеси) при 80°С в течение 10 ч и при 150°С в течение 12 ч, обладает следующими свойствами:

Предел прочности при статическом изгибе, $кг/см^2$ . . . . .	800—1200
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	15—25
Твердость по Бринеллю, $кг/мм^2$ . . . . .	15—19
Удельное электрическое сопротивление	
объемное, $ом \cdot см$ . . . . .	$1 \cdot 10^{15}$
поверхностное, $ом$ . . . . .	$1 \cdot 10^{14}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^5 гц$ . . . . .	$2 \cdot 10^{-2}$
Диэлектрическая проницаемость при $10^5 гц$ . . . . .	4
Электрическая прочность, $кв/мм$ . . . . .	20
Теплостойкость по Вика, °С . . . . .	120

Композиции, содержащие продукт ЭФ, используют для заливки и пропитки различных изделий и в качестве связующего при изготовлении конструкционных теплостойких стеклопластиков.

Промышленно выпускаются также диановые смолы, идущие для изготовления лаков. К ним относятся: смола Э-41 (ТУ

\* Отверждение проводилось по следующему режиму: 1 ч при 80°С; 2 ч при 120°С; 10 ч при 140—150°С.

ЯН № 335—62), смола Э-44 (ТУ № 33—61), смола Э-49 (ТУ № 28-П—61), получаемые сополимеризацией смолы Э-40 с дифенилопропаном, а также опытная смола — Э-15. Эти смолы должны удовлетворять требованиям, приведенным ниже.

Свойства неотвержденных лаковых эпоксидных смол

Показатели	Э-41	Э-44	Э-49	Э-15
Внешний вид . . . . .	Твердое прозрачное вещество от желтого до светло-коричневого цвета	Твердое прозрачное вещество желтого цвета	Твердое прозрачное вещество желтого цвета	Твердое вещество желтого цвета
Содержание эпоксидных групп, % . . . . .	9—12	6—8,5	2,0—4,5	4,5—7,0
Температура размягчения по методу «кольцо и шар», °С . . . . .	72—82	82—88	95—105	85—95
Содержание, %, не более . . . . .				
общего хлора . . . . .	—	0,2	0,2	0,6
иона хлора . . . . .	0,1	0,02	0,02	0,25

## ПОЛИЭПОКСИДНЫЕ СМОЛЫ

Полиэпоксидными смолами называют соединения, содержащие в цепи более двух эпоксидных групп. Их получают при взаимодействии эпихлоргидрина с три- и полифункциональными соединениями (новолачными смолами, циануровой кислотой, полифункциональными многоядерными фенолами и др.), а также прямым эпоксидированием ненасыщенных соединений, содержащих в цепи более двух двойных связей. Синтезированы циклоалифатические полиэпоксидные смолы типа ЭН-6, ЭЦ, циклические (ЭДЦ) и другие.

Полиэпоксидные смолы образуют отвержденные продукты с более плотной «сшивкой», вследствие чего они обладают более высокой теплостойкостью, большей стабильностью диэлектрических свойств при повышенных температурах, но хрупкость их выше, чем у отвержденных диановых смол.

Неотвержденные полиэпоксидные смолы — это твердые продукты с температурой размягчения выше 50°С. Их отверждают ангидридами поликарбоновых кислот, ароматическими аминами, феноло-формальдегидными, анилино-формальдегидными и другими смолами.

Деформационная теплостойкость полиэпоксидных смол составляет 200—300°С. Для снижения хрупкости и вязкости полиэпоксидных смол их совмещают с диановыми эпоксидными смолами (ЭД-5, ЭД-Л), со смолой ЭА.

Полиэпоксидные смолы применяют как связующие для конструкционных теплостойких стеклопластиков, для изготовления



теплостойких клеев и электроизоляционных материалов. Зависимость диэлектрических свойств смол ЭД-5, ЭДЦ и ЭН-6 от температуры представлена на рис. 2.

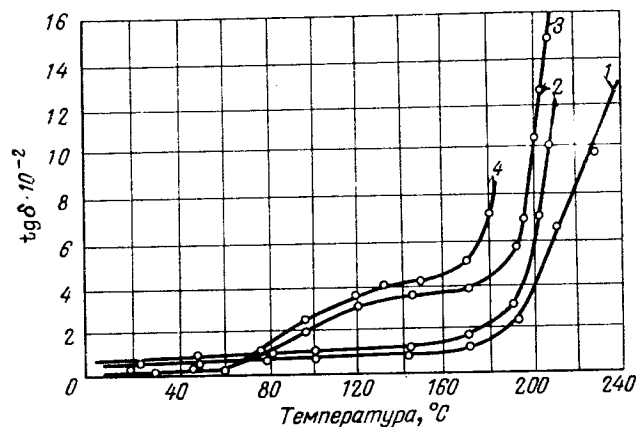


Рис. 2. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь (при  $10^3$  гц) эпоксидных смол от температуры: 1 — ЭН-6; 2 — ЭДЦ; 3 — ЭД-5 с МА; 4 — ЭД-5 с ПЭПА.

**Смола полиэпоксидная 5Н (ВТУ № П-206 — 60).** Продукт взаимодействия эпихлоргидрина с феноло-формальдегидным конденсационным раствором. Представляет собой смесь низкомолекулярной полиэпоксидной смолы и фенилглицидилового эфира. Свойства смолы, отвержденной малеиновым ангидридом, представлены ниже:

Предел прочности, $\text{кг/см}^2$	
при статическом изгибе . . . . .	600—750
» сжатия . . . . .	1300—1500
Удельная ударная вязкость, $\text{кг} \cdot \text{см/см}^2$ . . . . .	8—12
Твердость по Бринеллю, $\text{кг/мм}^2$ . . . . .	20—30
Удельное электрическое сопротивление	
объемное, $\text{ом} \cdot \text{см}$ . . . . .	$4,4 \cdot 10^{15}$
поверхностное, $\text{ом}$ . . . . .	$5,5 \cdot 10^{15}$
Теплостойкость по Мартенсу, $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	50—70

**Смола полиэпоксидная ЭН-6 (ТУ № П-202—68).** Продукт взаимодействия новолачной смолы с эпихлоргидрином. Смола должна удовлетворять следующим требованиям:

Внешний вид . . . . .	Хрупкий твердый продукт желтого цвета
Температура плавления, $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	56—70
Содержание эпоксидных групп, % . . . . .	18—22

Смола ЭН-6 применяется главным образом как связующее при изготовлении теплостойких стеклопластиков и как составная часть теплостойкой цоколевочной мастики, теплостойких клеев и компаундов. Для отверждения смолы ЭН-6 применяют малеиновый ангидрид, метилтетрагидрофталевый ангидрид, фенольную смолу № 18, аналино-формальдегидную смолу № 211, ароматические амины и др. Количество смолы подбирают экспериментально (обычно 20—40% от количества смолы ЭН-6). Режим отверждения зависит от типа примененного отвердителя.

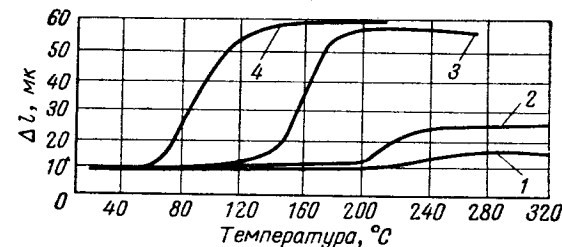


Рис. 3. Термомеханические кривые эпоксидных смол и компаундов при  $\sigma = 12 \text{ кг/см}^2$ : 1 — ЭН-6; 2 — компаунд К-105; 3 — ЭД-5; 4 — 5Н. (Отверждение МА при 180—200 $^{\circ}\text{C}$  в течение 6 ч).

Для улучшения технологических свойств и снижения хрупкости отвержденных отливок смолу ЭН-6 совмещают со смолой ЭД-5 (компаунд К-105) или со смолой ЭД-Л (компаунд К-106). Свойства смолы ЭН-6, отвержденной малеиновым ангидридом\*, и компаундов на ее основе представлены ниже:

Показатели	ЭН-6	К-105	К-106
Предел прочности, $\text{кг/см}^2$			
при статическом изгибе . . . . .	600	780	700—800
» сжатия . . . . .	1400	1500	—
Удельная ударная вязкость, $\text{кг} \cdot \text{см/см}^2$ . . . . .	7—9	10—15	12—18
Твердость по Бринеллю, $\text{кг/мм}^2$ . . . . .	30—35	25—30	25—30
Удельное объемное электрическое сопротивление, $\text{ом} \cdot \text{см}$			
при 20 $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	$4 \cdot 10^{15}$	$5 \cdot 10^{15}$	$4 \cdot 10^{14}$
» 150 $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	$8 \cdot 10^{13}$	$8 \cdot 10^{10}$	$5 \cdot 10^{12}$
» 200 $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	$3 \cdot 10^{12}$	—	$6 \cdot 10^{10}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при 50 гц			
при 20 $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	$1 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-3}$
» 150 $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	$1 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$
» 200 $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	$1,4 \cdot 10^{-2}$	—	—
Теплостойкость по Мартенсу, $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	180	150	130
Водопоглощение за 24 ч, % . . . . .	0,05	0,05	0,1

\* Режим отверждения: 10 ч при 140 $^{\circ}\text{C}$ ; 2 ч при 180 $^{\circ}\text{C}$ .

Смола ЭН-6 может быть использована при температурах до 200°С. Термомеханические кривые смолы ЭН-6 и компаунда на ее основе представлены на рис. 3.

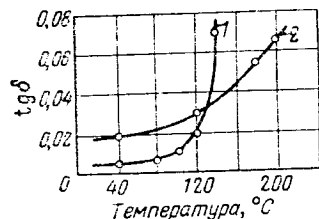


Рис. 4. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь эпоксидных смол от температуры:

1 — ЭД-6; 2 — ЭЦ.  
(Отверждение МА при 140°С в течение 16 ч.)

**Эпоксидная смола ЭЦ (ТУ № П-142 — 65).** Продукт конденсации циклического тримера циануровой кислоты с эпихлоргидрином (полиглицидилцианурат). К смоле ЭЦ предъявляют следующие требования:

Внешний вид . . . . .	Густовязкий или твердый хрупкий продукт от желтого до коричневого цвета
Содержание, %	
эпоксидных групп, не менее . . . . .	30
летучих, не более . . . . .	1,5
общего хлора, не более . . . . .	5
иона хлора, не более . . . . .	0,1
Гарантийный срок хранения со дня изготовления (в герметичной таре в крытом складском помещении), месяцы . . . . .	3

Смола ЭЦ отверждается ангидридами (маленовый, фталевый) и триэтаноламинотитанатом ТЭАТ-1 (25 вес. ч.). Отвержденная маленовым ангидридом смола имеет следующие свойства:

	ЭЦ	ЭД-6
Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,4—1,45	1,22—1,25
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>		
при статическом изгибе . . . . .	700—750	1200—1300
» сжатия . . . . .	1700—1800	1300—1400
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> . . . . .	10—15	15—25
Теплостойкость по Мартенсу, °С . . . . .	170—175	115—120
Усадка при отверждении при 150°С в течение 10 ч, % . . . . .	0,8—1,0	1,6—1,8

Как видно из рис. 4, смола ЭЦ обладает хорошими диэлектрическими свойствами, мало изменяющимися при температурах до 200°С.

Смоле ЭЦ применяют главным образом в качестве связующего при изготовлении теплостойких стеклопластиков, теплостойких клеев, как клей в клеесварных конструкциях (в этом случае отверждение проводят в присутствии триэтаноламинотитаната).

**Эпоксидная смола ЭТФ (ТУ № П-516—67).** Представляет собой продукт взаимодействия трифенола с эпихлоргидрином. Должна удовлетворять следующим требованиям:

Внешний вид . . . . .	Высоковязкая жидкость от темно-желтого до коричневого цвета
Температура плавления (по Кремер-Сарнову), °С . . . . .	35—42
Температура размягчения по методу «кольцо и шар», °С . . . . .	40—65
Содержание, %	
эпоксидных групп, не менее . . . . .	19,5
летучих, не более . . . . .	1,0
общего хлора, не более . . . . .	1,0
иона хлора, не более . . . . .	0,018
Гарантийный срок хранения со дня изготовления (в герметичной таре в складском помещении), месяцы . . . . .	12

Смоле ЭТФ можно отверждать ангидридами двухосновных кислот, ароматическими аминами (12 вес. ч.), феноло-формальдегидными смолами. Свойства отвержденной смолы ЭТФ представлены

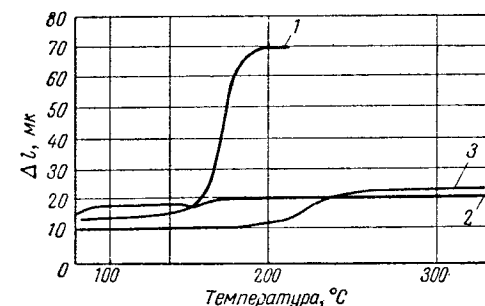


Рис. 5. Термомеханические кривые отвержденных эпоксидных смол при  $\sigma = 12 \text{ кг/см}^2$ :

1 — ЭД-5, отвержденная МА; 2 — ЭТФ, отвержденная МФДА; 3 — ЭТФ, отвержденная МА. (Отверждение при 180—200°С в течение 4 ч.)

в таблице на стр. 66. Деформационная теплостойкость смолы ЭТФ на 50—100°С выше, чем смолы ЭД-5. Как видно из рис. 5, термомеханические свойства смолы ЭТФ незначительно изменяются при изменении температуры.

Смола ЭТФ применяется при изготовлении термостойких клеев и стеклопластиков.

Физико-механические и диэлектрические свойства смолы ЭТФ и композиций на ее основе

Показатели	Отвердитель $\alpha$ -фенилендиамин					Отвердитель малеиновый ангидрид ЭТФ
	ЭД-5	ЭТФ	ЭТФ : ЭД-5			
			80 : 20	50 : 50	20 : 80	
Предел прочности, $кг/см^2$ при изгибе						
20° С . . .	1000—1200	500—750	500—750	550—900	600—900	500—700
150° С . . .	650—730	300—400	350—400	320—400	320—470	200—300
200° С . . .	35—45	170—350	200—400	360—500	150—400	—
при сжатии	1500	1450—1600	1400—1600	1500—1600	1400—1600	1500—1900
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$	11—20	8—20	4—10	7—15	10—19	6—11
Твердость по Бринеллю, $кг/мм^2$ . . .	22—25	20—23	22—25	20—24	20—23	22—24
Удельное электрическое сопротивление объемное, $ом \cdot см$ . . .	$5,3 \cdot 10^{15}$	$3,5 \cdot 10^{15}$	—	—	—	$7 \cdot 10^{16}$
поверхностное, $ом$ . . .	$4,3 \cdot 10^{12}$	$9,3 \cdot 10^{12}$	—	—	—	$12 \cdot 10^{13}$
	$2,5 \cdot 10^{15}$	$2,5 \cdot 10^{15}$	—	—	—	$3 \cdot 10^{16}$
	$9 \cdot 10^{12}$	$3 \cdot 10^{12}$	—	—	—	$9 \cdot 10^{13}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^6$ $гц$	$\frac{0,021}{0,04}$	$\frac{0,02}{0,017}$	—	—	—	$\frac{0,018}{0,007}$
Диэлектрическая проницаемость при $10^6$ $гц$ . . .	4,1—4,3	4,1—3,7	—	—	—	3,5
Электрическая прочность, $кв/мм$ . . .	$\frac{18,5}{15,7}$	$\frac{15,7}{26,7}$	—	—	—	17
Теплостойкость по Мартенсу, °С . . . . .	140—150	180—200	180—184	160—173	163—168	140—145
Водопоглощение, % . . . . .	—	0,08	—	—	—	0,07

Примечание. В числителе даны показатели при 20° С, в знаменателе — при 150° С.

#### АЛИФАТИЧЕСКИЕ ЭПОКСИДНЫЕ СМОЛЫ

Алифатические эпоксидные смолы (АЭС) получают конденсацией эпихлоргидрина с алифатическими спиртами (гликолями) в присутствии трехфтористого бора или других кислых катализа-

торов. АЭС представляют собой низкомолекулярные (молекулярный вес 200—350) соединения с вязкостью при 40° С 10—200 *спз*. АЭС применяют как активные разбавители диановых смол. Они отверждаются теми же отвердителями, что и диановые смолы, хорошо с ними совмещаются, образуя после отверждения привитые сополимеры, обладающие повышенной эластичностью.

Алифатические эпоксидные смолы содержат 5—7% гидроксильных групп, которые катализируют реакцию отверждения аминами. При введении АЭС снижается водостойкость отвержденных продуктов. Оптимальное количество вводимых АЭС составляет 20 вес. ч. на 100 вес. ч. диановых смол (ЭД-5). При отверждении ангидридами возможно применение смесей с большим содержанием АЭС, так как гидроксильные группы при взаимодействии с ангидридами образуют эфиры, которые не снижают водостойкость полученного продукта. Для повышения водостойкости проводят этерификацию АЭС жирными кислотами (ДЭГ-Ж, ДЭГ-С) и полнуретаном (ДЭГ-У).

**Смола Э-181 (ВТУ № П-151—59).** Диепоксидная смола, представляющая собой смесь продуктов различной степени конденсации эпихлоргидрина в присутствии борной кислоты. Смола должна удовлетворять следующим требованиям:

Внешний вид . . . . .	Низковязкая жидкость от темно-желтого до красно-коричневого цвета
Плотность, $г/см^3$ . . . . .	1,15—1,3
Содержание, %	
эпоксидных групп . . . . .	25,0—30,0
летучих, не более . . . . .	7,0
общего хлора . . . . .	16—20
влаги, не более . . . . .	0,5
Абсолютная вязкость, <i>спз</i> , не более	80,0

Смолу Э-181 применяют в качестве активного разбавителя диановых эпоксидных смол, а также для изготовления заливочных компаундов и как связующее для стеклопластиков. Введение 20 вес. ч. смолы Э-181 на 100 вес. ч. смолы ЭД-5 снижает вязкость последней в 5 раз. Физико-механические свойства смолы ЭД-5 при этом ухудшаются незначительно. Эластичность композиций повышается с увеличением содержания смолы Э-181. Смола Э-181 и композиции на ее основе отверждаются полиэтиленполнаминами, ангидридами кислот и другими отвердителями. Физико-механические и диэлектрические показатели композиции на основе смолы ЭД-5, модифицированной смолой Э-181 (в соотношении 4:1 и 1:1), представлены в таблице на стр. 68.

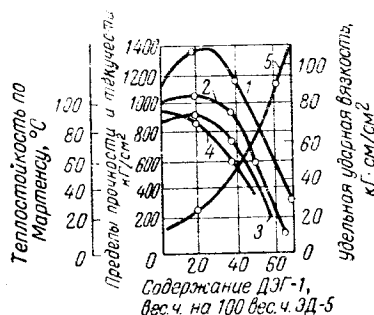


Рис. 6. Зависимость физико-механических свойств смолы ЭД-5 от количества введенной смолы ДЭГ-1 при отверждении полиэтиленполиаминами:

1 — предел прочности при статическом изгибе; 2 — предел текучести при сжатии; 3 — предел прочности при растяжении; 4 — теплостойкость по Мартенсу; 5 — удельная ударная вязкость.

**Физико-механические и диэлектрические свойства композиции на основе смолы ЭД-5, модифицированной смолой Э-181**

Показатели	Отвердитель маленовый ангидрид (40 вес. ч.)			Отвердитель м-фенилендиамин (16 вес. ч.)	
	Э-181	ЭД-5 — 80 вес. ч. Э-181 — 20 вес. ч.	ЭД-5 — 50 вес. ч. Э-181 — 50 вес. ч.	Э-181	ЭД-5 — 50 вес. ч. Э-181 — 50 вес. ч.
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup> при статическом изгибе	1000—1200	1000—1300	1280—1570	700—1000	700—1000
при сжатии, кг/см <sup>2</sup>	1000—1300	1000—1300	1200—1350	500—700	800—900
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup>	16—19	18—20	20	14	10
Твердость по Бриггелю, кг/мм <sup>2</sup>	11,8—15,5	24,3	25,6	10,6	26,6
Удельное поверхностное электрическое сопротивление, ом	$8 \cdot 10^{15}$ $1 \cdot 10^{15}$	$3 \cdot 10^{15}$ $1 \cdot 10^{15}$	$6 \cdot 10^{15}$ $5 \cdot 10^{15}$	$6 \cdot 10^{15}$ $1 \cdot 10^{11}$	$3 \cdot 10^{15}$ $1 \cdot 10^{11}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 <sup>3</sup> гц	$0,023$ $0,024$	$0,016$ $0,018$	$0,018$ $0,019$	$0,040$ $0,053$	$0,026$ $0,026$
Диэлектрическая проницаемость при 10 <sup>3</sup> гц	$4,0$ $4,3$	$4,0$ $3,7$	$4,1$ $4,1$	$4,1$ $4,5$	$4,4$ $4,3$
Электрическая прочность, кв/мм	$16,2$ $17,3$	$20,2$ $16,2$	$15,3$ $15,8$	$20,2$ $21,2$	$20,3$ $23,2$
Теплостойкость по Мартенсу, °C	38	96—100	68—84	21	70
Водопоглощение, %	0,28	0,041	0,048	0,59	—

Примечание. В числителе указаны показатели, определенные при выдержке композиции при комнатной температуре, а в знаменателе — после выдержки в течение 48 ч на воздухе со 100%-ной относительной влажностью.

**Смола ДЭГ-1 (МРТУ 6-05-1223—69).** Бифункциональный продукт конденсации диэтиленгликоля и эпихлоргидрина. К смоле ДЭГ-1 предъявляются следующие требования:

Внешний вид . . . . .	Низковязкая жидкость от светло-желтого до коричневого цвета
Содержание, %	
эпоксидных групп, не менее . . . . .	24
летучих, не более . . . . .	2,0
общего хлора, не более . . . . .	2,0
иона хлора, не более . . . . .	0,075
гидроксильных групп . . . . .	4—5
Вязкость по вискозиметру Хеннлера при 40±1° С, <i>снз</i> , не более . . . . .	70
Гарантийный срок хранения со дня изготовления (в герметичной таре в обычном складском помещении), месяцы . . . . .	12

Применяется для модификации эпоксидных смол — снижает вязкость и повышает эластичность заливочных, пропиточных, герметизирующих и клеевых составов. При совместном отверждении

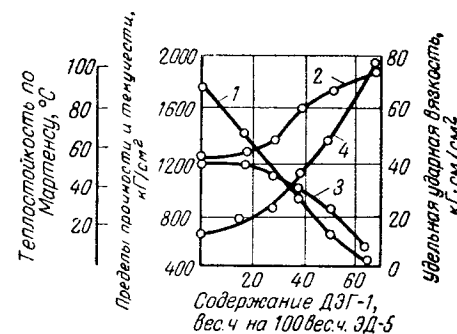


Рис. 7. Зависимость физико-механических свойств смолы ЭД-5 от количества введенной смолы ДЭГ-1 при отверждении маленовым ангидридом.

Обозначения те же, что и на рис. 6.

с днановыми смолами образует привитые сополимеры с повышенной эластичностью (введение смолы ДЭГ-1 в количестве 20 вес. ч. на 100 вес. ч. смолы ЭД-5 снижает вязкость последней в 3—4 раза). Физико-механические и диэлектрические показатели такого соединения (компаунд К-156) представлены ниже (см. также рис. 6 и 7).

## Физико-механические и диэлектрические свойства компаунда К-156

Показатели	Отвердитель (на 100 вес. ч. К-156)	
	полиэтиленполиамин (15 вес. ч.)	маленовый ангидрид (45 вес. ч.)
Предел прочности, $кг/см^2$ при статическом изгибе . . . . .	1200	1250
» растяжении . . . . .	500-700	—
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	6-8	—
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ Твердость по Бринеллю, $кг/мм^2$ . . . . .	15-24 20	— 24
Удельное электрическое сопротивление объемное, $ом \cdot см$ . . . . .	$2 \cdot 10^{14}$	$8 \cdot 10^{14}$
поверхностное, $ом$ . . . . .	$1,2 \cdot 10^{16}$	$2 \cdot 10^{15}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^6$ $гц$ . . . . .	$3 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$
Диэлектрическая проницаемость при $10^3$ $гц$ . . . . .	3,2	3,2
Электрическая прочность, $кв.мм$ . . . . .	25	25
Теплостойкость по Мартенсу, $^{\circ}C$ . . . . .	80	85
Водопоглощение, % за 24 ч пребывания в воде . . . . .	0,11	0,05
» 240 ч » » » . . . . .	0,4	0,1

Компаунды на основе смолы ЭД-5, содержащие 20 вес. ч. смолы ДЭГ-1 (компаунд К-156, К-156 С), применяют в качестве связующих для стеклопластиков (отвердитель ТЭАТ-1). Такие стеклопластики обладают повышенной механической прочностью и теп-

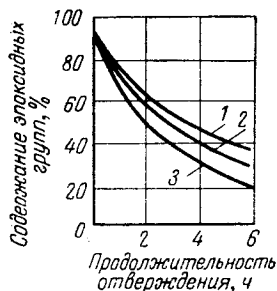


Рис. 8. Зависимость скорости отверждения компаунда на основе смолы ЭД-5 от количества введенной смолы ДЭГ-1:

1 — ЭД-5; 2 — 100 вес. ч. ЭД-5 и 20 вес. ч. ДЭГ-1; 3 — 100 вес. ч. ЭД-5 и 40 вес. ч. ДЭГ-1 (исходное содержание эпоксидных групп принято за 100 %).

лостойкостью благодаря повышенной адгезии связующего, которая объясняется наличием гидроксильных групп, взаимодействующих с поверхностью стекла.

На основе смолы ДЭГ-1 с более узкими пределами содержания эпоксидных групп разработан компаунд КДА (СТУ 30-14337-65). Свойства его и области применения аналогичны таковым у компаунда К-156. На рис. 8 показано изменение во времени скорости от-

верждения компаундов на основе смол ЭД-5 и ДЭГ-1 (отвердитель — полиэтиленполиамин) \*.

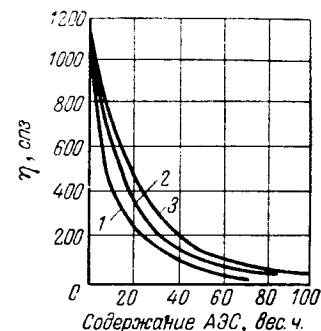


Рис. 9. Изменение вязкости смолы ЭД-5 при введении алифатических эпоксидных смол:

1 — ЭД-5; 2 — ДЭГ-1; 3 — ТЭГ-1.

**Смола ДЭГ-19 (МРТУ 6-05-908-63).** Продукт конденсации диэтиленгликоля и эпихлоргидрина. Смола должна удовлетворять следующим требованиям:

Внешний вид . . . . .	Низковязкая жидкость от светло-желтого до коричневого цвета
Содержание, %	
эпоксидных групп . . . . .	17-22
летучих, не более . . . . .	2,5
общего хлора, не более . . . . .	2,5
иона хлора, не более . . . . .	0,1
гидроксильных групп . . . . .	7-9
Вязкость по вискозиметру Хенплера при $40 \pm 1^{\circ}C$ , $спз$ , не более . . . . .	80

Применяют для модификации эпоксидных смол.

**Смола ТЭГ-1 (МРТУ 6-05-1223-69) и ТЭГ-17 (МРТУ 6-05-907-63).** Представляют собой продукты конденсации триэтиленгликоля и эпихлоргидрина. К смолам ТЭГ-1 и ТЭГ-17 предъявляются следующие требования:

	ТЭГ-1	ТЭГ-17
Внешний вид . . . . .	Низковязкая жидкость от светло-желтого до коричневого цвета	
Содержание, %		
эпоксидных групп, не менее . . . . .	19	15-20
летучих, не более . . . . .	2,5	2,5
общего хлора, не более . . . . .	2,5	2,5
иона хлора, не более . . . . .	0,1	0,1
гидроксильных групп . . . . .	—	7-9
Вязкость при $25^{\circ}C$ , $сст$ , не более . . . . .	100	—
Вязкость по вискозиметру Хенплера при $40 \pm 1^{\circ}C$ , $спз$ , не более . . . . .	—	100

\* Показатели определяли спектральным методом по изменению оптической плотности.

Смолы применяются для модификации эпоксидных смол в качестве компонента, снижающего вязкость и повышающего эластичность заливочных, пропиточных, герметизирующих и клеевых составов. Влияние количества введенной смолы ТЭГ-1 и типа взятого отвердителя на свойства композиции на основе смолы ЭД-5 показано в таблице. На рис. 9 приведены данные об изменении вязкости смолы ЭД-5 при введении смол ТЭГ-1 и ДЭГ-1.

Физико-механические и диэлектрические свойства компаунда на основе ЭД-5 (100 вес. ч.) и ТЭГ-1 (20 вес. ч.)

Показатели	Отвердитель		
	полиэтиленполиамины (12 вес. ч.)	триэтаноламино-титанат (20 вес. ч.)	малеиновый ангидрид (35 вес. ч.)
Предел прочности, $\text{кг}/\text{см}^2$			
при растяжении . . . . .	500—900	—	—
» статическом изгибе	743	1043	1340
» сжатии . . . . .	1554	1616	1180
Удельная ударная вязкость, $\text{кг} \cdot \text{см}/\text{см}^2$ . . . . .	8,5—15,0	11,0—13,0	10,0—16,0
Твердость по Бринеллю, $\text{кг}/\text{мм}^2$ . . . . .	17,0	18,9	20,0
Модуль упругости при изгибе, $\text{кг}/\text{см}^2$ . . . . .	$3,25 \cdot 10^4$	$2,91 \cdot 10^4$	$3,6 \cdot 10^4$
Удельное электрическое сопротивление			
объемное, $\text{ом} \cdot \text{см}$ . . . . .	$7,8 \cdot 10^{14}$ $4,0 \cdot 10^{14}$ $4,6 \cdot 10^{10}$	$8,4 \cdot 10^{14}$ $2,4 \cdot 10^{14}$ $5,0 \cdot 10^9$	$1,4 \cdot 10^{16}$ $5,6 \cdot 10^{15}$ $4,4 \cdot 10^{11}$
поверхностное, $\text{ом}$ . . . . .	$2,5 \cdot 10^{16}$ $9,7 \cdot 10^{13}$ $6,0 \cdot 10^{11}$	$4,8 \cdot 10^{14}$ $8,7 \cdot 10^{12}$ $8,0 \cdot 10^{10}$	$4,1 \cdot 10^{16}$ $3,2 \cdot 10^{15}$ $1,2 \cdot 10^{12}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^6$ $\text{гц}$ . . . . .	0,022 0,027 0,030	0,029 0,033 0,021	0,013 0,018 0,042
Диэлектрическая проницаемость . . . . .	3,3/3,4/5,1	3,7/3,6/5,2	3,6/3,6/4,8
Электрическая прочность, $\text{кв}/\text{мм}$ . . . . .	31,6/30,8/25,9	25,4/24,3/32,0	24,7/23,0/36,0
Водопоглощение, %			
за 24 ч . . . . .	0,12	0,22	0,04
» 10 суток . . . . .	0,36	0,44	0,19

Примечание. Для диэлектрических показателей первая цифра означает данные в состоянии поставки; вторая — после 48 ч пребывания в условиях 100%-ной относительной влажности; третья — после 2 ч прогрева при  $100^\circ \text{C}$ .

Смолы ДЭГ-Ж (МРТУ 6-05-1191—69) и ДЭГ-Ф (СТУ 30-14346—56), ДЭГ-У (опытная). Продукты этерификации АЭС жирными кислотами (Ж), эфирами фталевой кислоты (Ф) и изоптанатом (У).

Свойства композиций на основе смолы ЭД-5, модифицированной ДЭГ-1, ДЭГ-Ж, ДЭГ-Ф и ДЭГ-У (20 вес. ч. на 100 вес. ч. ЭД-5) при отверждении полиэтиленполиамином представлены ниже:

Показатели	ЭД-5	ЭД-5 и ДЭГ-1	ЭД-5 и ДЭГ-Ж	ЭД-5 и ДЭГ-Ф	ЭД-5 и ДЭГ-У
Вязкость при $40^\circ \text{C}$ , $\text{спз}$ . . . . .	1315	381	355	560	1050
Предел прочности при статическом изгибе, $\text{кг}/\text{см}^2$ . . . . .	1200	1200	900	1000	1500
Удельная ударная вязкость, $\text{кг} \cdot \text{см}/\text{см}^2$ . . . . .	10	23	—	—	12
Теплостойкость по Мартенсу, $^\circ \text{C}$ . . . . .	97	92	78	84	95
Водопоглощение после кипячения в течение 10 ч, % . . . . .	0,8	2,4	1,7	2,1	1,5

Как видно из таблицы, при введении смолы ДЭГ-1 получаются маловязкие эпоксидные компаунды с хорошей стойкостью к ударам и удовлетворительной влагостойкостью. Введение смол ДЭГ-Ж и ДЭГ-Ф дает материалы с несколько большей эластичностью и лучшей водостойкостью.

**Смола МЭГ-1 (опытная).** Продукт конденсации эпихлоргидрина с этиленгликолем. По внешнему виду — подвижная жидкость с вязкостью 50—100  $\text{спз}$  при  $40^\circ \text{C}$ . Содержит 24—26% эпоксидных и 3—4% гидроксильных групп и 0,5—1,5% общего хлора.

Применяется как активный разбавитель эпоксидных (в основном днановых) смол. Смола МЭГ-1 обладает небольшой жизнеспособностью (1 ч 20 мин при отверждении полиэтиленполиамином); при отверждении малеиновым ангидридом длительность периода гелеобразования увеличивается до 2,5 ч.

**Смола ЭЭТ-1 (опытная).** Представляет собой продукт конденсации эпихлоргидрина с этриолом (мол. вес. 450). К смоле предъявляются следующие требования:

Содержание, %	
эпоксидных групп . . . . .	24—26
общего хлора, не более . . . . .	1,5
иона хлора, не более . . . . .	0,08
летучих, не более . . . . .	1,5
Вязкость при $40^\circ \text{C}$ , $\text{спз}$ . . . . .	200—400

Смола применяется для модификации диановых смол (ЭД-5, ЭД-6, ЭД-П и ЭД-Л). Сравнение свойств композиций на основе смолы ЭД-5, модифицированной некоторыми алифатическими эпоксидными смолами (20 вес. ч. на 100 вес. ч. ЭД-5), приведено ниже.

Свойства композиций на основе смолы ЭД-5, отвержденных малеиновым ангидридом

Показатели	ЭД-5 и ТЭГ-1	ЭД-5 и МЭГ-1	ЭД-5 и ЭЭТ-1	ЭД-5 и ДЭГ-1
Предел прочности при статическом изгибе, $кг/см^2$ . . . . .	1250	1280	1350	1250
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	16	12	16	18
Теплостойкость по Мартенсу, °С . . . . .	82	97	115	98
Водопоглощение после кипячения в течение 10 ч, % . . . . .	0,91	0,73	0,61	0,81
Потери массы после прогрева в течение 9 ч при 200°С, % . . . . .	0,37	0,30	—	0,58

При отверждении малеиновым ангидридом получают компаунды с более высокой водостойкостью, чем при отверждении полиэтиленполиаминами. При отверждении смесей диановых смол и АЭС уменьшается хрупкость без значительного снижения теплостойкости. Это явление происходит благодаря тому, что при совмещении диановых смол и АЭС образуется полимер, в котором чередуются ароматические и алифатические звенья. Пластификаторы, не содержащие функциональных групп, не изменяют частоту сшивок (например, дибутилфталат).

Для снижения вязкости и повышения эластичности компаундов используют эпоксидные модификаторы марок ЭФГ и ЭТФ-10 (МРТУ 6-05-1192—69). Модификатор ЭФГ представляет собой продукт конденсации фенола с эпихлоргидрином (23% эпоксидных групп), а модификатор ЭТФ-10 — смесь алифатической смолы ЭЭТ-1 и фенилглицидилового эфира ЭФГ в соотношении 1 : 1 (22% эпоксидных групп, вязкость при 25°С — 100 сст).

Выпускаются также олигодиепоксида следующие марки.

**Олигодиепоксид ПДИ-ЗА (ВТУ № В-102—68).** Продукт на основе олигодиепоксида и эпихлоргидрина с молекулярным весом 4000—5000 и вязкостью 200—250 *пз* при 25°С и 10 *пз* при 50°С. Содержание эпоксидных групп составляет 2—3%. Олигодиепоксид ПДИ-ЗА отверждается всеми отвердителями, применяемыми для эпоксидных смол. Продукты отверждения обладают свой-

ствами эластомеров. Ниже приводятся свойства ПДИ-ЗА при отверждении ПЭПА и МА:

	ПДИ-ЗА и 1,5 вес. ч. ПЭПА	ПДИ-ЗА и 5 вес. ч. МА
Предел прочности при растяжении, $кг/см^2$ . . . . .	25—30	25
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	200—280	320
Температура хрупкости, °С . . . . .	От -70 до -80	-80

ПДИ-ЗА и композиции его со смолами ЭД-5 и ЭД-6 применяют в качестве заливочных и герметизирующих материалов, обладающих высокой морозостойкостью и эластичностью.

**Смолы УП-563 и УП-599.** Получаются на основе дикарбонового олигодиепоксида и смол ЭД-5 и Э-181 соответственно. Содержат 6—8% эпоксидных групп, отверждаются всеми известными отвердителями; при отверждении образуют эластичные полимеры.

ЭПОКСИДНЫЕ СМОЛЫ, ПОЛУЧАЕМЫЕ ПРЯМЫМ ЭПОКСИДИРОВАНИЕМ

Прямым эпоксидированием ненасыщенных соединений получают циклические, циклоалифатические и алифатические моно-, ди- и полиэпоксидные смолы. Эпоксидирование проводят надкислотами — надуксусной, надбензойной, моноадфталевой.

**Диоксид дициклопентадиена ДДЦПД (ТУ № П-462 — 66).** Продукт эпоксидирования дициклопентадиена (ДЦПД) надуксусной кислотой (20—25% -ный раствор в этилацетате). Представляет собой диэпоксидное соединение, содержащее эпоксидные группы непосредственно в цикле. Диоксид дициклопентадиена должен удовлетворять следующим требованиям:

Внешний вид . . . . .	Кристаллический порошок белого или светло-желтого цвета
Температура плавления, °С . . . . .	184
Содержание эпоксидного кислорода, вес. % . . . . .	17—19
эпоксидных групп, % . . . . .	48—52
Гарантийный срок хранения со дня изготовления (в герметичной таре в обычном складском помещении), месяцы . . . . .	12

Растворимость ДДЦПД характеризуется следующими данными (в %):

В бензоле . . . . .	48,5
» ацетоне . . . . .	44,7
» четыреххлористом углероде . . . . .	18,6
» метаноле . . . . .	18,4
» воде . . . . .	1,4

ДДЦПД отверждается ангидридами двухосновных кислот в присутствии небольшого количества многоатомного спирта — глицерина. Оптимальные свойства достигаются при отверждении малеиновым ангидридом при 190—210°С. ДДЦПД с малеиновым

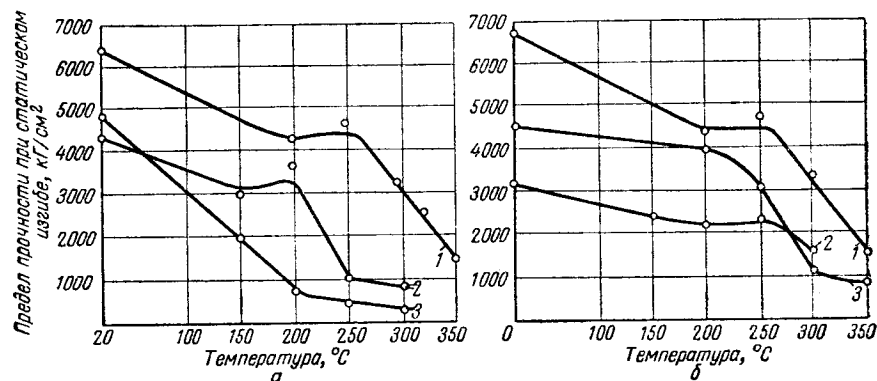


Рис. 10. Зависимость предела прочности при статическом изгибе стеклотекстолитов от температуры:

а — стеклотекстолит со связующим ЭДЦ (1), ЭДЦЭ-5/60 (2) и ЭД-5 (3) при отверждении малеиновым ангидридом;  
б — стеклотекстолит со связующим ЭДЦ в состоянии поставки (1); после термостабилизации при 200°С в течение 100 ч (2); после термостабилизации при 250°С в течение 100 ч (3).

ангидридом образует жидкие устойчивые эвтектические смеси (форконденсат ЭДЦ), сохраняющие свои технологические свойства в нормальных условиях в течение 10—12 суток. Отвержденный ЭДЦ образует теплостойкие отливки с деформационной теплостойкостью порядка 280—300°С; их недостатком является повышенная хрупкость.

ЭДЦ применяют в качестве связующего при изготовлении теплостойких стеклопластиков, сохраняющих до 70% первоначальной прочности при 200—250°С.

Для улучшения технологических свойств ЭДЦ и снижения хрупкости его совмещают со смолой ЭД-5 (компаунд ЭДЦЭ-5/60). Компаунд применяют для изготовления конструкционных стеклопластиков, кратковременно выдерживающих температуры порядка 250—300°С и длительно — температуру 200°С.

На рис. 10 показана зависимость предела прочности при статическом изгибе стеклотекстолитов на основе ЭДЦ и компаунда ЭДЦЭ-5/60 от температуры.

ЭДЦ и компаунд ЭДЦЭ-5/60 входят в состав теплостойких клеев. Прочность клеевых соединений на их основе незначительно изменяется при нагревании до 200°С. Клеевые швы выдерживают длительное (до 500 ч) воздействие температуры 200°С.

Ниже приведены основные показатели физико-механических и диэлектрических свойств компаунда ЭДЦЭ-5/60:

Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>	
при сжатии . . . . .	1600
» статическом изгибе	
при 20°С . . . . .	1100
» 150°С . . . . .	500
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> . . . . .	15
Твердость по Бринеллю, кг/мм <sup>2</sup> . . . . .	25
Теплостойкость по Вика, °С . . . . .	290
Деформационная теплостойкость при нагрузке 24 кг/см <sup>2</sup> , °С	260
Предел прочности клеевых соединений при сдвиге (алюминий Д-16), кг/см <sup>2</sup>	
при 20°С . . . . .	90—110
» 200°С . . . . .	84—105

На рис. 11 показана зависимость электроизоляционных свойств стеклотекстолита на основе ЭДЦ и компаунда ЭДЦЭ-5/60 от температуры (см. также таблицу).

#### Диэлектрические свойства компаунда ЭДЦЭ-5/60

Показатели	Исходные данные	После пребывания в течение 48 ч в атмосфере со 100%-ной относительной влажностью	После прогрева в течение 2 ч при 150°С*
Удельное электрическое сопротивление			
объемное, ом·см . . . . .	$1,1 \cdot 10^{16}$	$1 \cdot 10^{16}$	$4,0 \cdot 10^{13}$
поверхностное, ом . . . . .	$2,2 \cdot 10^{16}$	$1 \cdot 10^{16}$	$5 \cdot 10^{16}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^6$ гц . . . . .	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$
Диэлектрическая проницаемость при $10^6$ гц . . . . .	4,5	4,2	4,7

\* Измерения проводили при 150°С.



**Моноокись винилциклогексена (МВЦГ).** Моноэпоксидное соединение, содержащее одну эпоксидную группу и одну двойную связь. МВЦГ получают прямым эпоксированием винилциклогексена 20—25%-ным раствором надуксусной кислоты в этилацетате. МВЦГ представляет собой бесцветную жидкость вязкостью 1 *снз* при 20°С

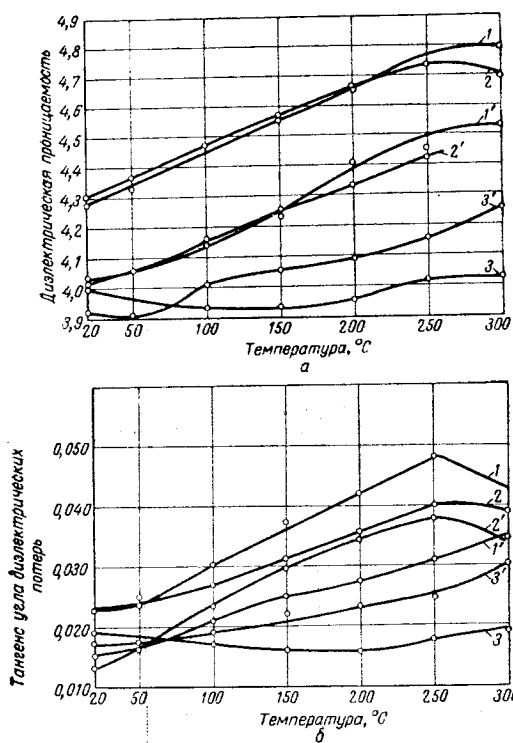


Рис. 11. Зависимость диэлектрической проницаемости (а) и тангенса угла диэлектрических потерь (б) стеклотекстолита на основе смолы ЭДЦ (1—3) и компаунда ЭДЦЭ-5/60 (1'—3') от температуры:

1 — в состоянии поставки; 2 — после термостатирования при 200°С в течение 100 ч.

и температурой кипения (при  $P = 8 - 9$  мм рт. ст.) 51—53°С. Содержание эпоксидного кислорода в продукте составляет 12,4—12,6%.

МВЦГ отверждают малеиновым ангидридом в присутствии инициаторов радикальной полимеризации (перекись бензоила, перекись дикумила) при 190—210°С. Малеиновый ангидрид образует с МВЦГ сополимер. Отвержденный продукт имеет деформационную теплостойкость выше 300°С. Введение 10 вес. ч. МВЦГ на 100 вес. ч. смолы ЭД-5 снижает вязкость смолы в 5 раз, при этом другие свойства смолы ЭД-5 не изменяются.

Физико-механические и диэлектрические свойства МВЦГ и композиции на ее основе представлены в таблице на стр. 79.

Физико-механические и диэлектрические свойства МВЦГ и композиций на ее основе \*

Показатели	Отвердитель		
	малеиновый ангидрид		полиэтилен-полиамин
	МВЦГ	МВЦГ (20 вес. ч.) и ЭД-5 (80 вес. ч.)	МВЦГ (7 вес. ч.) и ЭД-5 (93 вес. ч.)
Вязкость по вискозиметру Хепплера, <i>снз</i> . . . . .	1	150—200	400
Предел прочности при статическом изгибе, $\text{кг}/\text{см}^2$ . . . . .	1000—1300	1000—1150	1000—1200
Удельная ударная вязкость, $\text{кг} \cdot \text{см}/\text{см}^2$ . . . . .	6—7,5	10—16	10—15
Твердость по Бринеллю, $\text{кг}/\text{мм}^2$ . . . . .	25	20—23	20—25
Теплостойкость по Маргенсу, °С . . . . .	253	113	84
Деформационная теплостойкость, °С . . . . .	300	—	130
Удельное электрическое сопротивление объемное, $\text{ом} \cdot \text{см}$ . . . . .	$4,3 \cdot 10^{16}$	$1,7 \cdot 10^{16}$	$1 \cdot 10^{15}$
Удельное электрическое сопротивление поверхностное, $\text{ом}$ . . . . .	$2,7 \cdot 10^{16}$	$1,5 \cdot 10^{16}$	$1 \cdot 10^{15}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^3$ гц . . . . .	$7,2 \cdot 10^{-3}$	$2,1 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$
Диэлектрическая проницаемость при $10^3$ гц . . . . .	3,2	3,6	2,8

\* Отверждение проводили по следующему режиму. При отверждении МА: прогрев при 80°С — 1 ч; при 120°С — 1 ч; при 150°С — 10 ч. При отверждении ПЭПА: прогрев при комнатной температуре — 12 ч; при 80°С — 2 ч; при 100°С — 6 ч.

На основе МВЦГ синтезированы эпоксидно-кремнийорганические сополимеры, используемые в качестве изоляционных материалов, показатели диэлектрических свойств которых незначительно изменяются при температурах до 200°С.

МВЦГ в сочетании с другими эпоксидными смолами применяется в качестве теплостойкого связующего при изготовлении стеклопластиков и теплостойких клеев.

#### ЭПОКСИДНЫЕ СМОЛЫ НА ОСНОВЕ ОЛИГОМЕРОВ ДИВИНИЛА

Эпоксидные смолы на основе низкомолекулярных полимеров дивинила и его сополимеров со стиролом получают путем эпоксирования дивинилстирольных олигомеров надуксусной кислотой. Эти смолы содержат 6—9,5% эпоксидного кислорода и по свойствам приближаются к диановым смолам, но имеют меньшую плотность ( $1,01 \text{ г}/\text{см}^3$ ).

Полнэпоксидные олигомеры можно отверждать ангидридами. Свойства отвержденных маленновым ангидридом полиэпоксидных олигомеров представлены ниже:

Предел прочности при статическом изгибе, $кг/см^2$ . . . . .	900—950
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	9—11
Удельное электрическое сопротивление	
объемное, $ом \cdot см$ . . . . .	$1,3 \cdot 10^{16}$
поверхностное, $ом$ . . . . .	$2 \cdot 10^{15}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^7$ $гц$ . . . . .	0,0043
Диэлектрическая проницаемость . . . . .	3,5
Электрическая прочность, $кв/мм$ . . . . .	21,0
Теплостойкость по Мартенсу, $^{\circ}C$ . . . . .	80
Водопоглощение за 24 ч, % . . . . .	0,08—0,07

Отвержденные продукты характеризуются хорошей водостойкостью и стабильностью диэлектрических показателей при длительном воздействии влаги и повышенных температур.

Эпоксидные смолы на основе дивинила и его производных применяют как связующие для стеклопластиков, как заливочные материалы и для изготовления антикоррозионных покрытий.

#### ОТВЕРЖДЕНИЕ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ И КОМПОЗИЦИЙ НА ИХ ОСНОВЕ

При введении в ди- и полифункциональные эпоксидные соединения ряда веществ, называемых отвердителями, происходит их отверждение, т. е. переход в неплавкое нерастворимое состояние. Функциональные группы смол (эпоксидные и гидроксильные) вступают во взаимодействие с реакционноспособными группами отвердителей. В отличие от других типов синтетических смол эпоксидные смолы отверждаются без выделения побочных продуктов, поэтому изделия из них имеют минимальную усадку (0,3—2%) и могут быть получены путем свободной отливки в формы без применения дорогостоящего оборудования.

В качестве отвердителей применяют:

1. Продукты основного характера. К ним относятся различные ди- и полифункциональные алифатические и ароматические амины, низкомолекулярные полиамидные смолы и различные производные аминов. Отверждение начинается при умеренных температурах (18—20°С); для завершения процесса необходима термообработка при 60—120°С в течение 10—4 ч. Наиболее активны ди- и полифункциональные алифатические амины. Реакция отверждения в их присутствии сопровождается выделением тепла. Продукты, отвержденные алифатическими аминами, имеют теплостойкость до 120, а ароматическими — до 160°С.

2. Продукты кислого характера — ангидриды ди- и поликарбоновых кислот. Отверждение проводят в термокамерах при 120—200°С. Для снижения температуры и ускорения процес-

са отверждения применяют ускорители — различные третичные амины, тиоспирты и меркаптаны (в количестве 0,1—1%). Отвержденные продукты имеют теплостойкость в пределах 140—250°С, высокие показатели физико-механических и диэлектрических свойств; они масло-, бензо- и водостойки, обладают хорошей адгезией ко многим материалам.

В качестве отвердителей эпоксидных смол можно также применять смолы: феноло-формальдегидные (смола № 18), анилино-феноло-формальдегидные (смола № 211), резорцино-формальдегидные (смола ДМ-12). Феноло-формальдегидные смолы новолачного и резольного типа отверждают эпоксидные смолы при повышенных температурах.

#### Отверждение аминами

Необходимое количество аминного отвердителя рассчитывают по формуле:

$$x = \frac{э(M/n)}{43} K$$

где  $э$  — содержание эпоксидных групп в смоле, %;  $M$  — молекулярный вес амина;  $n$  — количество атомов водорода в первичных и вторичных аминных группах; 43 — молекулярный вес эпоксидной группы;  $K = 1,2—1,4$  — коэффициент, определенный экспериментально и зависящий от природы взятого амина.

В случае использования полиэтиленполиаминов (ПЭПА) расчет проводят по диэтилентриамину (ДЭТА), содержащему 5 атомов водорода в аминных группах. В этом случае  $M/n = \frac{103}{5} = 20,6$ . Характеристики применяемых в настоящее время в промышленности аминных отвердителей представлены в таблице на стр. 82.

Обычно амины вводят в количестве 8—16 вес. ч. на 100 вес. ч. смолы — в зависимости от типа взятого амина и молекулярного веса эпоксидной смолы. Перед отверждением эпоксидную смолу (или компаунд на ее основе) вакуумируют для удаления пузырьков воздуха при 25—30°С, а затем тщательно перемешивают с отвердителем.

В последнее время в качестве аминных отвердителей стали применять низкомолекулярные полиамиды, имеющие ряд преимуществ по сравнению с другими аминами: они совмещаются с эпоксидными смолами в широких пределах, увеличивают жизнеспособность композиции, нетоксичны, экзотермический эффект при отверждении низкомолекулярными полиамидами невелик. Кроме того, при применении отвердителей этого типа возможно получение отливок от твердых и жестких до мягких резиноподобных без введения пластификаторов (при различных количествах вводимого отвердителя). Полученные отливки имеют малую усадку, хорошо обрабатываются резанием.

**Свойства аминных отвердителей, применяемых в промышленности**

Отвердитель	Молекулярный вес	Температура плавления °С	Температура кипения °С	Содержание общего азота (в пересчете на сухое вещество), %	Температура совмещения °С	Количество отвердителя (в вес. ч. на 100 вес. ч. смолы и режим отверждения *)
Диэтилентриамин, ДЭТА	103	Жидкость	206,7	40,7 (первичных аминов 27,2; вторичных 12,8)	20-40	8-12 При 25°С - 5 суток » 80°С - 8-10 ч » 100°С - 4-6 ч
Полиэтиленполиамины, ПЭПА (ВТУ ГИПХ №П-10-57; СТУ 49-2529-62)	-	Жидкость		36	20-30	10-14 При 25°С - 5 суток » 80°С - 8-10 ч » 100°С - 4-6 ч
Гексаметилендиамин, ГМДА (СТУ 12-10242-63)	-	42	200	24	40-60	10-15 При 60°С - 10 ч » 80°С - 8 ч » 100°С - 6 ч » 120°С - 3 ч
Сложные амины на основе кубовых остатков ГМДА (содержание ГМДА 5-8%) (ТУ 6-01-92-66)		Жидкость		-	20-40	15-20 При 25°С - 5 суток » 80°С - 10-12 ч » 100°С - 4-6 ч » 120°С - 3 ч
m-Фенилендиамин, МФДА (ГОСТ 5826-51)	108	63-64	287/760 мм рт. ст.	-	60-90	10-14 При 80°С - 8 ч » 120°С - 2 ч
Дициандиамид, ДЦДА (ГОСТ 6988-54)	84	1с-204 2с-201	-	1с-65 2с-64	150-170	15-20 При 170°С - 40 мин
Триэтаноламин *, ТЭА (СТУ 12-10126-61)	149	Жидкость	170-225	-	40-80	15-20 При 80-100°С - 6-8 ч
Диметиланилин *, ДМА (ГОСТ 2168-60)		Жидкость	-	-	60	0,05-0,5% **
Низкомолекулярные полиамиды Л-18, Л-19, Л-20 (МРТУ 6-05-1123-68)		Жидкость	-	90-220 (аминное число)	20-40	20-80 При 60°С - 10-15 ч » 80°С - 8-10 ч » 120°С - 4-6 ч

\* Применяются также в качестве ускорителей при отверждении ангидридами двухосновных кислот.

\*\* Отверждение проводят по любому из режимов, указанных в таблице, после выдержки при комнатной температуре в течение не менее 8 ч.

**Свойства низкомолекулярных полиамидов \***

Показатели	Л-18	Л-19	Л-20	С-18	С-19	С-20	Т-19	ЛТ-13
Внешний вид	Прозрачная вязкая жидкость от желтого до темно-коричневого цвета			Прозрачная вязкая жидкость от желтого до бурого цвета			Прозрачная вязкая жидкость от желтого до коричневого цвета	Твердые зеркальные в изломе куски или плитки коричневого цвета без включений, обнаруживаемых невооруженным глазом
Аминное число, мг НСl/g	90-120	120-160	175-220	95-120	130-150	175-210	120-160	4-16
Число омыления, мг КОН/g	-	-	-	-	-	-	-	15-32
Вязкость по вискозиметру Хеннелера, при 20°С, спз	10 000-50 000	10 000-35 000	5 000-25 000	5 000-30 000	3 000-15 000	3 000-15 000	6 000-15 000	-
Условная вязкость по шариковому вискозиметру, сек	-	-	-	-	-	-	25-70	При 140°С расплав стабилен не менее 1 ч
Температура каплепадения по Уббелюде, °С	-	-	-	-	-	-	-	93-117
Срок хранения со дня изготовления, месяцы	6	6	6	6	6	6	6	6

\* Вводят в количестве 20-80 вес. ч. на 100 вес. ч. эпоксидной смолы.

Разработаны следующие марки низкомолекулярных полиамидов: Л-18, Л-19, Л-20 (МРТУ 6-05-1123—68); С-18, С-19, С-20 (ТУ № П-372—64); Т-19 (ТУ № П-521—67); ЛТ-13 (ТУ № П-452—65). Низкомолекулярные полиамиды представляют собой продукты конденсации различных фракций ПЭПА с димеризованными метиловыми эфирами жирных кислот льняного (Л), соевого (С), таллового (Т) масла и полимеризованных эфиров жирных кислот льняного масла и этиленгликоля (ЛТ). Свойства низкомолекулярных полиамидов приведены в таблице на стр. 83.

#### Отверждение ангидридами ди- и поликарбоновых кислот

Расчет нужного для отверждения количества ангидрида проводят по формуле:

$$x = \frac{\varepsilon M}{43} K$$

где  $\varepsilon$  — содержание эпоксидных групп в смоле, %;  $M$  — молекулярный вес ангидрида; 43 — молекулярный вес эпоксидной группы;  $K = 0,85 - 1,20$  — коэффициент, зависящий от типа взятого отвердителя (определенный экспериментально).

При взаимодействии эпоксидных групп с карбоксильными группами двухосновных карбоновых кислот не происходит выделения воды и образования побочных продуктов. Процесс протекает при температуре выше  $100^\circ\text{C}$  значительно медленнее, чем при введении аминов. Наиболее широкое промышленное применение нашли следующие кислотные отвердители: малеиновый, фталевый, метилтетрагидрофталевый, тетрагидрофталевый, хлорэндиковый, эндиковый ангидриды и их смеси. Свойства кислотных отвердителей приведены в таблице на стр. 85.

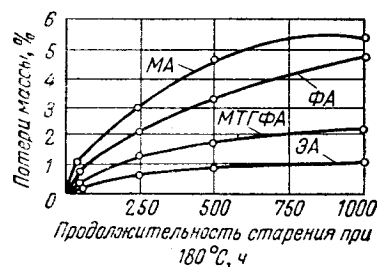


Рис. 12. Термостабильность смолы ЭД-6, отвержденной различными кислотными отвердителями.

На рис. 12 приведены данные о термостабильности смолы ЭД-6, отвержденной различными кислотными ангидридами. Эндиковый ангидрид повышает термостабильность заливочных компаундов, хлорэндиковый придает негорючесть отвержденным смолам.

Для ускорения реакции отверждения рекомендуется вводить ускорители — диметиланилин (ДМА) — 0,05—0,5 вес. ч. и триэтанолламин (ТЭА) — 0,1—1 вес. ч. на 100 вес. ч. смолы, а также тноколы и тиоспирты. В этом случае коэффициент  $K$  в приведенной выше формуле равен 1.

Перед применением смолу (или компаунд на ее основе) подогревают до температуры, на  $10-15^\circ\text{C}$  превышающей температуру

температуры выше  $100^\circ\text{C}$  значительно медленнее, чем при введении аминов. Наиболее широкое промышленное применение нашли следующие кислотные отвердители: малеиновый, фталевый, метилтетрагидрофталевый, тетрагидрофталевый, хлорэндиковый, эндиковый ангидриды и их смеси. Свойства кислотных отвердителей приведены в таблице на стр. 85.

На рис. 12 приведены данные о термостабильности смолы ЭД-6, отвержденной различными кислотными ангидридами. Эндиковый ангидрид повышает термостабильность заливочных компаундов, хлорэндиковый придает негорючесть отвержденным смолам.

Для ускорения реакции отверждения рекомендуется вводить ускорители — диметиланилин (ДМА) — 0,05—0,5 вес. ч. и триэтанолламин (ТЭА) — 0,1—1 вес. ч. на 100 вес. ч. смолы, а также тноколы и тиоспирты. В этом случае коэффициент  $K$  в приведенной выше формуле равен 1.

Перед применением смолу (или компаунд на ее основе) подогревают до температуры, на  $10-15^\circ\text{C}$  превышающей температуру

#### Свойства кислотных отвердителей, применяемых в промышленности

Отвердитель	Молекулярный вес	Температура плавления, $^\circ\text{C}$	Температура, $^\circ\text{C}$			Количество отвердителя на 100 вес. ч. смолы *
			смола при введении отвердителя	отвердителя	отверждения	
Малеиновый ангидрид, МА (ГОСТ 5854—51)	98	52—53	55—60	60—63	120—150	$(0,85 \div 1) \cdot 2,28\varepsilon$
Фталевый ангидрид, ФА ** (ГОСТ 7119—59) . . . . .	148	130	135—140	140—145	120—150	3,45\varepsilon
Метилтетрагидрофталевый ангидрид, МТГФА (МРТУ 6-09-279—63) . . . . .	166	60—64	60—70	75—80	120—150	$(0,85 \div 1) \cdot 3,86\varepsilon$
Тетрагидрофталевый ангидрид, ТГФА (ВТУ № П-263—61) . . . . .	152	98—101	100—105	105—110	120—150	$(0,85 \div 1) \cdot 3,54\varepsilon$
Хлорэндиковый ангидрид, ХЭТ (ТУ БУ·Х-28—62)	371	238	240—245	245—250	180	3,5\varepsilon
Эндиковый ангидрид ЭА	150	163	165—170	175—180	180	3,5\varepsilon
Пиromеллитовый диангидрид ПДА *** . . . . .	224	286	290—295	295—300	180—200	5,2\varepsilon

\* Рассчитано по формуле, приведенной на стр. 84.

\*\* ФА в некоторых случаях применяют в виде эвтектической смеси, содержащей 95 вес. ч. ФА и 5 вес. ч. МА ( $t_{\text{пл}} = 100^\circ\text{C}$ ).

\*\*\* ПДА применяют в виде эвтектической смеси с ФА или МА.

плавления отвердителя, и в разогретую массу вводят расчетное количество ангидрида и ускорителя. В некоторых случаях вводят наполнитель и массу затем тщательно перемешивают. Для удаления пузырьков воздуха рекомендуется массу вакуумировать при 20 мм рт. ст. в течение 15—30 мин. После этого заливают массу в подогретые формы, предварительно смазанные разделительным составом. Режимы отверждения малеиновым, метилтетрагидрофта-левым и тетрагидрофта-левым ангидридами приведены ниже:

МА	МТГФА	ТГФА
При 80—100° С — 2 ч » 120° С — 2 ч » 140—150° С — 10—14 ч	При 80° С — 2 ч » 120° С — 3 ч » 140—150° С — 15 ч При 80° С — 2 ч » 120° С — 2 ч » 140° С — 2 ч » 160° С — 6 ч	При 120° С — 3 ч » 140° С — 15 ч При 120° С — 2 ч » 130° С — 2 ч » 160° С — 6 ч

Для повышения теплостойкости рекомендуется дополнительная термообработка при 180° С в течение 2 ч. При отверждении в толстом слое температуру поднимают постепенно. Жизнеспособность заливочной массы без ускорителя составляет: для МА при 80° С — 6—12 ч; для МТГФА при 80° С — 6—18 ч; для ТГФА при 110° С — 6 ч.

В настоящее время начали применять следующие отвердители. **Продукт 40 АГ (ТУ № П-435 — 65) и 40 АФ (опытный).** Эти продукты представляют собой растворы ГМДА (40 АГ) и *m*-фенилендиамин (40 АФ) в продукте А-40. Их применяют для отверждения эпоксидных смол при комнатной температуре и 100° С. Продукты должны удовлетворять следующим требованиям:

	40 АГ	40 АФ
Внешний вид . . . . .	Подвижная жидкость от темно-бурого до черного цвета	
Аминное число (в пересчете на азот), %, не менее . . .	16	14
Гарантийный срок хранения, месяцы . . . . .	6	6

При изготовлении изделий радиотехнической промышленности в качестве отвердителя используют кислые эфиры адипиновой (отвердитель АГ) и себаценовой (отвердитель СГ) кислот и некоторые другие.

**Аддукт Т-4 (ТУ № П-532 — 67).** Продукт взаимодействия гексаметилендиамин с эпоксидной смолой ТЭГ-1. Применяется в качестве отвердителя холодного и горячего отверждения эпоксидных

смол и компаундов на их основе. Должен удовлетворять следующим требованиям:

Внешний вид . . . . .	Вязкая жидкость от коричневого до темно-коричневого цвета
Аминное число, мг HCl/g . . .	300—370
Вязкость при 30° С, сПз . . .	7 000—15 000
Гарантийный срок хранения со дня изготовления (в герметичной упаковке), месяцы	1

**Аддукт ПЭА-3 (ТУ № П-404—65).** Продукт взаимодействия гексаметилендиамин и *m*-фенилендиамин с алифатической эпоксидной смолой. Применение ПЭА-3 значительно снижает экзотермический эффект отверждения. К аддукту ПЭА-3 предъявляются следующие требования:

Внешний вид . . . . .	Вязкая жидкость от темно-коричневого до черного цвета
Аминное число, мг HCl/g . . .	195—255
Вязкость при 30° С, сПз . . .	2000—3500
Гарантийный срок хранения со дня изготовления, месяцы	3

**Триэтаноламинотитанат ТЭАТ-1 (МРТУ 6-09-74 — 62).** Продукт переэтерификации тетрабутоксититана триэтаноламином. Должен удовлетворять следующим требованиям:

Внешний вид . . . . .	Прозрачная густовязкая жидкость от коричневого до бурого цвета
Содержание титана (в пересчете на двуокись титана), % . . . . .	20—23
Содержание буюксильных групп, %, не более . . . . .	8—10
Условная вязкость, сПз . . . . .	50—60

ТЭАТ-1 применяют при изготовлении клеевых и клеесварных соединений и как отвердитель для связующих при получении стеклопластиков.

**Продукт № 254 (ТУ № П-176—60).** Жидкий отвердитель, который одновременно может служить и пластификатором. Композиции, содержащие этот отвердитель, сохраняют жизнеспособность в течение 24 ч при комнатной температуре. Должен удовлетворять следующим требованиям:

Внешний вид . . . . .	Вязкая прозрачная жидкость от темно-коричневого до темно-вишневого цвета
Содержание двуокиси титана, % . . . . .	13—16
Вязкость по вискозиметру Хепплера при 22±0,1° С, сПз	60—110

**Отвердитель УП-575 (ВТУ № 181-5—66).** Продукт конденсации гексаметилендиамина с циклогексаноном. Представляет собой жидкость от светло- до темно-коричневого цвета с показателем преломления в пределах 1,49—1,51. Применяют при изготовлении компаундов, отверждающихся при температуре выше 20°С. Увеличивает жизнеспособность композиций.

**Отвердитель УП-583 (ВТУ № 182-5—66).** Продукт конденсации диэтилентриамина с фенолом и формальдегидом. Жидкость от светло- до темно-коричневого цвета с показателем преломления — 1,56—1,57. Применяют аналогично отвердителю УП-575.

Сравнение физико-механических и диэлектрических свойств смолы ЭД-5, отвержденной некоторыми из описанных выше отвердителей, приведено ниже.

Физико-механические и диэлектрические свойства смолы ЭД-5, отвержденной отвердителями различных типов

Показатели	Отвердители					
	ПЭПА	40 АФ	40 АГ	№ 254	ТЭАТ-1	МА
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>						
при статическом изгибе . . . . .	800—1100	1055	1000	1500	—	1000—1200
при сжатии . . . . .	1100—1360	1300	1200	—	1300—1600	1300
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup>	5—25	16	12—18	18—25	15	12—14
Твердость по Бриггеллю, кг/мм <sup>2</sup> . . . . .	18—25	18,4	18—20	18	24	23
Теплостойкость по Мартенсу, °С . . . . .	70	110	30—35	120*	130*	125
Водопоглощение, % . . . . .	0,02	0,07	0,05	0,05	0,03	0,01
Удельное электрическое сопротивление						
объемное, ом·см . . . . .	—	$7,0 \cdot 10^{15}$	$2 \cdot 10^{15}$	$1,5 \cdot 10^{14}$	$2,0 \cdot 10^{15}$	$1 \cdot 10^{15}$
поверхностное, ом . . . . .	—	$2,5 \cdot 10^{16}$	$2 \cdot 10^{15}$	$3,0 \cdot 10^{15}$	$5,0 \cdot 10^{14}$	$1 \cdot 10^{15}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10° гц . . . . .	—	0,023	0,030	0,029	0,02	0,015
Диэлектрическая проницаемость при 10° гц . . . . .	—	8,0	3,7	4,0	4,0	3,5

\* Теплостойкость по Вика.

**Отвердители на основе бутилакрилата и диэтилентриамина (ДТБ-1, ДТБ-2) и бутилакрилата и гексаметилендиамина (ГМБ-1, ГМБ-2).** Амминоэфирные отвердители вводят в диановые смолы для увеличения их жизнеспособности, понижения экзотермического эффекта и хрупкости композиций, получаемых на их основе.

**Отвердитель ММФ.** Аддукт полиэфиракрилата МГФ-9 с м-фенилендиамином. Вводится в количестве 35—50 вес. ч. на 100 вес. ч. смолы ЭД-5. Отверждение проводят при 60—120°С. Полученные композиции отличаются большой жизнеспособностью и низким экзотермическим эффектом. Отвердитель ММФ применяют для отверждения заливочных композиций при изготовлении крупногабаритных изделий, работающих при 50—120°С.

**Отвердитель АФ-2.** Продукт на основе фенола, этилендиамина и формалина. Представляет собой вязкую жидкость красно-коричневого цвета, нерастворимую в воде. При 20°С отверждение в его присутствии проходит за 15—20 мин. Может применяться в условиях повышенной влажности.

**Отвердитель И-5М.** Продукт конденсации метиловых эфиров жирных кислот с ПЭПА. На 100 вес. ч. смолы ЭД-5 вводят 65—70 вес. ч. отвердителя И-5М.

**Отвердитель УП-581.** Эвтектическая смесь эндикового ангидрида (93 вес. ч.) и аддукта малинового ангидрида с антраценом (7 вес. ч.). Режим отверждения: 5 ч при 80°С, 6 ч при 140°С и 6 ч при 180°С.

### ЭПОКСИДНЫЕ КОМПАУНДЫ

Компаунды представляют собой продукты модификации эпоксидных смол другими химическими соединениями. При введении различных модифицирующих веществ изменяются технологические свойства смол: снижается их вязкость, изменяются жизнеспособность и экзотермический эффект реакции отверждения. Кроме того, в ряде случаев изменяются физико-механические и диэлектрические свойства эпоксидных композиций.

Для получения компаундов используют различные моно- и полиэпоксидные смолы, реакционноспособные полиэфирные олигомеры (полиэфиракрилатные МГФ-9, ТГМ-3 и полиэфирмалеиновые ПН-1, ПН-69), реакционноспособные низковязкие каучуки (тиоколы, карбоксилированные каучуки), мономерные соединения (стирол, бутилакрилат и др.), полимерные соединения (феноло- и мочевино-формальдегидные, фурфурольные и полиамидные), кремнийорганические мономерные и полимерные соединения, фосфорорганические соединения, хлорированные продукты (совол), пластификаторы и многие другие.

Эффективная модификация, приводящая к получению материала с измененной структурой и стабильными свойствами, достигается при использовании продуктов, реагирующих со смолой или отвердителем в процессе совмещения или отверждения с образующим привитых сополимеров.

Компаунды, получающиеся при совмещении диановых смол ЭД-5 и ЭД-6 с эпоксисодержащими смолами, с алифатическими

смолами (АЭС), с эпоксианлиновой смолой ЭА, с полиэпоксианлиновыми смолами ЭН-6 и ЭН-5, циклическими смолами ДДЦПД и МВЦГ и другие описаны выше.

### Эпоксидно-полиэфирные компаунды

Эпоксидно-полиэфирные компаунды получают при совмещении диановых смол ЭД-5 и ЭД-6 с реакционноспособными полиэфир-акрилатными и полиэфирмаленатными олигомерами. Эти компаунды обладают невысокой вязкостью и большой жизнеспособностью.

Отвержденные компаунды характеризуются большей эластичностью по сравнению со смолами ЭД-5 и ЭД-6, лучшей морозостойкостью, хорошей механической прочностью и влагостойкостью (рис. 13); их теплостойкость ниже, чем у немодифицированных смол и снижается с увеличением содержания полиэфира в компаунде.

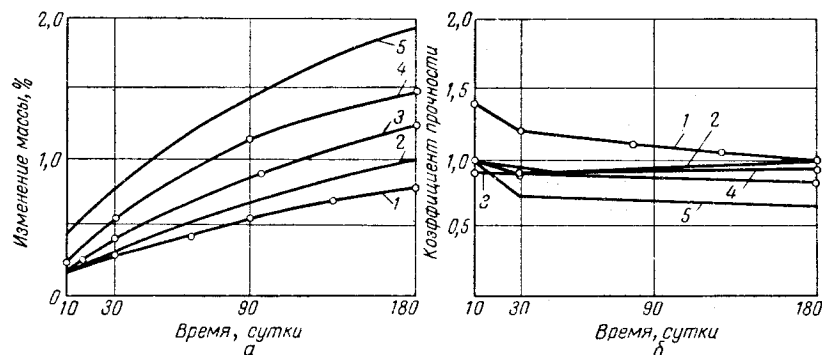


Рис. 13. Изменение массы (а) и прочности (б) эпоксидных компаундов после пребывания в воде:

1 — ЭД-6, отвержденная МА; 2 — К-153; 3 — К-115; 4 — К-139; 5 — К-156.

Эпоксидно-полиэфирные компаунды отверждают главным образом аминами — ПЭПА, ГМДА, МФДА, ТЭА, ТЭАТ-1, сложными аминами (на основе кубовых остатков при получении ГМДА) и др. Возможно отверждение и ангидридами двухосновных карбоновых кислот. В этом случае рекомендуется дополнительно вводить 0,5—0,2% перекиси бензонла (ПБ). Эпоксидно-полиэфирные компаунды применяют с наполнителем и без него.

Как правило, промышленность производит компаунды без наполнителя; наполнитель вводят на месте потребления по специальной инструкции.

**Компаунды К-115 (СТУ 30-14148—63) и К-201 (СТУ 30-14147—63).** Получают при модификации смолы ЭД-5 полиэфиром МГФ-9. Должны удовлетворять следующим требованиям:

	К-115	К-201
Внешний вид . . . . .	Прозрачная жидкость от светло-желтого до коричневого цвета	Жидкость от светло-желтого до светло-коричневого цвета
Вязкость по вискозиметру Хепилера при 40°C, <i>спз</i> , не более по ВЗ-1 (сопло 5,4 мм) при 20°C, <i>мин</i> , не более . . .	1500	1000
Содержание летучих при 100±5°C, %, не более . . .	5	2,5
Жизнеспособность при 20±5°C, <i>мин</i> , не менее . . . . .	2,5	3
	120	120

Компаунд К-115 применяют с наполнителем и без него. Тип и количество вводимого наполнителя определяются потребителем при разработке изделия.

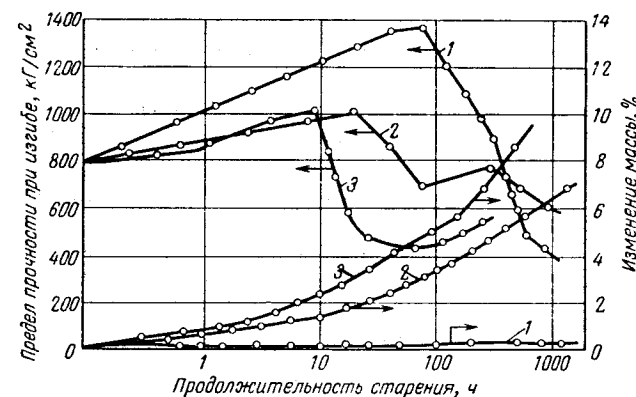


Рис. 14. Изменение массы и предела прочности при изгибе компаунда К-115 в процессе старения при различных температурах:

1 — 100° С; 2 — 150° С; 3 — 200° С

Отверждение компаунда проводят при комнатной температуре в течение 24 ч, чаще всего ПЭПА (15 вес. ч. на 100 вес. ч. компаунда). Для достижения оптимальных стабильных свойств изделия следует подвергать дополнительной термообработке по одному из описанных ниже режимов (в ч):

1. При 60° С . . . . .	10—12	3. При 80° С . . . . .	2
2. При 80° С . . . . .	8—10	» 100° С . . . . .	6
		4. При 120° С . . . . .	3

В качестве отвердителей применяют также ГМДА (16 вес. ч.), МФДА (14—16 вес. ч.), сложные амины (20—25 вес. ч.), низкомолекулярные полиамиды Л-19 и Л-20 (40—100 вес. ч.). Отверждение

проводят при тех же режимах. При отверждении МФДА рекомендуется дополнительная термообработка готового изделия при 140°С в течение 2 ч.

Компаунд К-115 широко применяется в качестве электроизоляционного конструкционного материала, для пропитки, заливки, герметизации и склейки различных радиодеталей, при изготовлении инструментальной оснастки, для заделки дефектов литья, раковин и т. д., в качестве водо-химическистойкого покрытия, для изготовления кабельной арматуры, соединительных и концевых муфт, проходных высоковольтных изоляторов и в качестве конструкционного клея для склеивания асбестоцемента, металлов и других материалов (например, клей ЭПЦ-1).

Компаунд К-201 отверждают ПЭПА (15 вес. ч.), сложными аминами (20—22 вес. ч.) и другими отвердителями при режимах, аналогичных режимам отверждения для К-115.

Компаунд К-201 обладает меньшей теплостойкостью, чем К-115. Его применяют для изготовления высоконаполненных изделий (200—300% наполнителя), в качестве клея и для других целей. Свойства компаундов К-115 и К-201 приведены на стр. 94 (см. также рис. 14).

**Компаунды К-168 (МРТУ 6-05-1023—66) и К-293 (СТУ 30-14130—63).** Получают при модификации смолы ЭД-6 полиэфиром МГФ-9 (К-168) и МГФ-9 и ДБФ (К-293). Неотвержденные компаунды должны удовлетворять следующим требованиям:

	К-168	К-293
Кислотное число, мг КОН/г, не более . . . . .	2	2
Жизнеспособность при 20°С, мин, не менее . . . . .	20*	30**

\* При отверждении ПЭПА.

\*\* При отверждении ГМДА.

В качестве отвердителей К-168 и К-293 применяют ГМДА, ПЭПА и др. Режим отверждения аналогичен указанному для К-115.

Компаунды применяют для заливки и пропитки различных электротехнических деталей, для герметизации электросхем, в качестве клея для склеивания нагревательных батарей (вместо сварки) и других целей. К-168 используют с наполнителем и без него. Некоторые свойства компаундов приведены на стр. 94.

**Компаунд К-54/6 (ВТУ № П-285—62).** Смола ЭД-5, модифицированная полиэфирной смолой ПН-1.

Компаунд должен удовлетворять следующим требованиям:

Вязкость по ВЗ-1 (сопло 5,4 мм) при 20°С, мин, не более	15
Жизнеспособность (при отверждении 10 вес. ч. ПЭПА) при 25—30°С, мин, не менее . . . . .	60
Скорость отверждения ПЭПА при 140°С (10 вес. ч.), сек	25—60

Для отверждения компаунда применяют ПЭПА (10—12 вес. ч.), ТЭАТ-1 (15—17 вес. ч.), МА (30—35 вес. ч. + 0,5% перекиси бен-

зола). Режим отверждения при использовании ПЭПА и ГМДА аналогичен применяемому для компаунда К-115.

Компаунд К-54/6 применяют для изготовления инструментальной оснастки, для заделки дефектов литья, в качестве связующего для конструкционных стеклопластиков, в качестве клея для приклеивания различных деталей к изделиям, изготовленным из стеклопластика на основе полиэфирных смол, полистирола, полиметилметакрилата и для других целей. Некоторые свойства компаунда К-54/6 приведены на стр. 94.

Помимо компаундов, выпускаемых промышленностью, разработан ряд компаундов, которые готовит потребитель на месте по технологическим инструкциям. К ним относятся следующие.

**Компаунд ЭЖ-5 (К-160).** Представляет собой смолу ЭД-5, пластифицированную 20 вес. ч. ДБФ. Вязкость компаунда по вискозиметру Хепплера при 40°С составляет 1000—15 000 *спз*, по ВЗ-1 (сопло 5,4 мм) при 20°С — 4—5 *мин*.

Компаунд отверждают ПЭПА (8—10 вес. ч.), сложными аминами (15—20 вес. ч.), ТЭАТ-1 (20 вес. ч.), ангидридами двухосновных кислот. Компаунд ЭЖ-5 применяют для изготовления инструментальной оснастки (штампов, моделей) с использованием в качестве наполнителя железного порошка (200—250 вес. ч.), маршалита, кварца вибропомола. Компаунд применяют также в качестве клея, для заливки и герметизации различных изделий и для других целей. Свойства компаунда ЭЖ-5 приведены на стр. 94.

**Компаунд К-176 (ТУ № П-555—67).** Смола ЭД-5, пластифицированная диоктилфталатом (20 вес. ч. на 100 вес. ч. смолы). Компаунд должен удовлетворять следующим требованиям:

Внешний вид . . . . .	Жидкость от светло-желтого до светло-коричневого цвета
Вязкость по вискозиметру Хепплера при 40°С, <i>спз</i> . . . . .	600—800
по ВЗ-1 (сопло 5,4 мм), <i>мин</i> , не более . . . . .	4
Содержание летучих при 100±5°С, %, не более	3

Компаунд отверждают ПЭПА (8—10 вес. ч.), сложными аминами (16—18 вес. ч.), отвердителями 40 АГ, 40 АФ, ангидридами кислот и др. Деформационная теплостойкость компаунда К-176, отвержденного ПЭПА, составляет 130°С. Он обладает хорошими литьевыми свойствами и рекомендуется для изготовления кабельной арматуры (соединительные и концевые муфты, изоляторы наружной и внутренней установок), для инструментальной оснастки, в качестве клея для склеивания металлов, как водостойкое антикоррозионное покрытие и для других целей. Свойства компаунда К-176 приведены на стр. 94.



## Свойства отвержденных компаундов

Показатели	К-115	К-201	К-546	ЭЖ-5	К-176	К-168	К-293
Предел прочности, $кг/см^2$							
при сжатии . . . . .	1100—1400	900	1100	1700	1200	900	800
» статическом изгибе . . . . .	900—1300	700	1400	1100	700	1000	800
» сдвиге							
сталь С-20	150	—	120	140	170	120	100
дюраль Д-16	120	—	100	120	140	100	90
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$	10—13	15	14	8—10	11	10	8—10
Твердость по Бригеллю, $кг/мм^2$ . . . . .	20—22	16—18	18—22	20—24	20—22	18	16—18
Деформационная теплостойкость, °С . . . . .	90	70	95	110	130	85	70
Теплостойкость по Мартенсу, °С . . . . .	65	45	65	70	80	55	50
Водопоглощение (за 24 ч), % . . . . .	0,04	0,1	0,06	0,035	0,04	0,08	0,08
Степень набухания в ацетоне (за 24 ч), % . . . . .	0,4	1,2	0,5	2,1	<0,1	0,5	0,5
Удельное электрическое сопротивление							
объемное, $ом \cdot см$	$\frac{1 \cdot 10^{15}}{1 \cdot 10^9}$	$\frac{2 \cdot 10^{14}}{1 \cdot 10^8}$	$\frac{1 \cdot 10^{15}}{1 \cdot 10^9}$	$\frac{1 \cdot 10^{15}}{1 \cdot 10^{10}}$	$\frac{1,3 \cdot 10^{15}}{1 \cdot 10^{12}}$	$\frac{2 \cdot 10^{14}}{1 \cdot 10^9}$	$\frac{2 \cdot 10^{14}}{1 \cdot 10^9}$
поверхностное, $ом$ . . . . .	$\frac{5 \cdot 10^{14}}{1 \cdot 10^{10}}$	$\frac{2 \cdot 10^{14}}{1 \cdot 10^9}$	$\frac{5 \cdot 10^{14}}{1 \cdot 10^{10}}$	—	$\frac{6 \cdot 10^{15}}{1 \cdot 10^{13}}$	$\frac{5 \cdot 10^{14}}{1 \cdot 10^{10}}$	$\frac{5 \cdot 10^{14}}{1 \cdot 10^{10}}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^3 гц$ . . . . .	$\frac{2 \cdot 10^{-2}}{1 \cdot 10^{-1}}$	$\frac{3 \cdot 10^{-2}}{3 \cdot 10^{-1}}$	$\frac{3 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 10^{-1}}$	—	$\frac{2 \cdot 10^{-2}}{5 \cdot 10^{-2}}$	$\frac{3 \cdot 10^{-2}}{1 \cdot 10^{-1}}$	$\frac{3 \cdot 10^{-2}}{1 \cdot 10^{-1}}$
Диэлектрическая проницаемость при $10^3 гц$ . . . . .	4	4,5	4	4	3,5	4	4
Электрическая прочность, $кв/мм$ . . . . .	25	20	25	25	—	20	20

Примечания: 1. Отверждение проводили ПЭПА при последующей термообработке в течение 8 ч при 80°С.  
2. В числителе даны показатели после испытания при 20°С, а в знаменателе — после испытания при 100°С.

Разработан компаунд марки **К-110** на основе эпоксидной смолы ЭД-6 и полнаэфира ТГМ-3. Его отверждают эдиковым ангидридом (35—40 вес. ч.) с добавкой перекиси бензонла (0,1 вес. ч.). Компаунд применяют для пропитки стеклослюдинитовых лент в изделиях, работающих при 130°С.

**Компаунд УП-584 (ВТУ № 118-5—66)**. Продукт совмещения эпоксидных смол марок ЭД-5 и ЭА с соволом. Представляет собой вязкую жидкость коричневого цвета с вязкостью при 20°С 150—200 сек (по вискозиметру ВЗ-4) и жизнеспособностью 2—3 ч при 20°С. Для отверждения компаунда применяют модифицированные амины УП-575 и УП-584. Компаунд можно отверждать при 20 и 50°С при соответствующем изменении соотношения отвердителей:

	Состав, вес. ч.		
	При 5°С	При 20°С	При 150°С
Смола ЭД-5 . . . . .	100	100	100
Смола ЭА . . . . .	50	50	50
Совол . . . . .	50	50	50
Кварц вибропомола (КП-2; КП-3) . . . . .	100	100	100—200
Отвердитель УП-575 . . . . .	18,5	26	72
Отвердитель УП-583 . . . . .	26	18,5	—

Отверждение проводят по режиму:

	Выдержка ч
При комнатной температуре . . . . .	24
» 80°С . . . . .	4
» 100°С . . . . .	4

Отвержденный компаунд обладает следующими свойствами:

Предел прочности, $кг/см^2$	
при статическом изгибе . . . . .	650—845
» сжатии . . . . .	800—1484
Усадка при отверждении, % . . . . .	1,15—1,20
Удельное объемное электрическое сопротивление, $ом \cdot см$ . . . . .	$3 \cdot 10^{15}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^3 гц$ . . . . .	0,009

Компаунд обладает пониженной горючестью. Рекомендуется для изготовления кабельной арматуры и других электроизоляционных изделий.

Широкое применение нашли компаунды с индексом «Д» (диановые) и «ЭЗК» (эпоксидные заливочные), состав и свойства которых приводятся в отраслевых РТМ. Они готовятся потребителем по инструкции непосредственно перед применением.

Компаунды «Д», отвержденные аминами (например, Д-8, Д-9 и др.) предназначены для заливки и обволакивания низковольтных электроэлементов тораидальных трансформаторов, блоков узлов, работающих в интервале температур от —60 до +80°С, для применения в качестве клея.

Свойства некоторых компаундов типа «Д»

Марки компаундов	Состав вес. ч.	Предел прочности кг/см <sup>2</sup>		Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup>	Темло- стойкость по Мартенсу °С	Тангенс угла диэлектрических потерь $\times 10^3$ при 10 <sup>6</sup> гц	Диэлектри- ческая про- ницаемость при 10 <sup>6</sup> гц
		при нагибе	при сжатии				
Д-1, пропиточный	ЭД-6-100 МА-2,28 <sup>э</sup>	1200	1150	10-25	105-115	20	4,0
Д-2, заливающий	ЭД-6-100 МА-2,28 <sup>э</sup> Пылевидный кварц — 220д	1400	1900	7-18	104-108	12	4,3
Д-3, пропиточный	ЭД-6-100 МА-2,28 <sup>э</sup>	1250	1060	9-21	60-76	19	4,1
Д-4, заливающий	Полиэфир № 1 или № 220-5-25 ЭД-6-100 МА-2,28 <sup>э</sup>	1200	1520	6-12	88-92	10	4,2
Д-17, пропиточный	Пылевидный кварц — 250д ЭД-6-100 ТЭА-10	—	—	—	62-73	27	4,3
Д-19, заливающий	ДБФ-10-15 Э-37 или ЭД-6-100 Полиэфир № 1 или № 220-5-25	950	2000	—	114-121	12	4,4
Д-88, пропиточный	ЭД-6-100 МА-2,28 <sup>э</sup> МГФ-9-15-20 Пылевидный кварц — 1,6 д	1648	1470	14	70-78	17	3,7

Примечание. э — содержание эпоксидных групп; д — количество компаунда (в вес. ч.) без наполнителя.

Компаунды «Д», отвержденные ангидридами кислот, предназначаются для пропитки намоточных изделий (обмотка трансформаторов, дросселей электромашины), изготовления литой изоляции, высоковольтных проходных и опорных изоляторов и т. д. Состав и свойства компаундов «Д» приведены на стр. 96.

Компаунды ЭЗК-11 и ЭЗК-12 применяют для заделки зазоров между обмотками трансформаторов и магнитопроводами (ЭЗК-11) и изолирования бумажных и металобумажных конденсаторов, сопротивлений и других деталей (ЭЗК-12).

Ниже приведены их свойства и состав:

	Состав	
	ЭЗК-11	ЭЗК-12
Смола ЭД-6 . . . . .	100	—
Смола ЭД-5 . . . . .	—	100
ГМДА . . . . .	12	10
Касторовое масло . . . . .	18	—
Бутилметакрилат . . . . .	12	—
Кварц КП-3 . . . . .	150	—
Тальк . . . . .	150	—
Стирол . . . . .	—	10
Двуокись титана . . . . .	—	100
Свойства		
Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .	—	1,5
Удельное объемное электрическое сопротивление, ом·см		
при 20° С . . . . .	1 · 10 <sup>14</sup>	1 · 10 <sup>14</sup>
» 80° С . . . . .	1 · 10 <sup>13</sup>	—
» 100° С . . . . .	—	1 · 10 <sup>9</sup>
Тангенс угла диэлектрических по- терь при 10 <sup>6</sup> гц		
при 20° С . . . . .	0,001	0,019
» 80° С . . . . .	0,03	—
» 100° С . . . . .	—	0,05
Диэлектрическая проницаемость при 10 <sup>6</sup> гц		
при 20° С . . . . .	4,1	9
» 80° С . . . . .	4,6	—
» 100° С . . . . .	—	12,3
Режим отверждения . . . . .	1 ч при 80° С; 2 ч при 100° С; 3 ч при 140° С	24 ч при 20° С; не менее 8 ч при 60-80° С

#### Эпоксидно-тиокольные компаунды

Эпоксидно-тиокольные компаунды обладают повышенной эластичностью, хорошей морозостойкостью; их механические свойства изменяются весьма незначительно с изменением температуры.

Эпоксидно-тиокольные компаунды отверждают аминами и ангидридами двухосновных кислот, причем тиокол ускоряет

отверждение ангидридами, которое может происходить при умеренных температурах порядка 20—60° С.

**Компаунд К-153 (СТУ 30-14161—64).** Представляет собой смолу ЭД-5, модифицированную тиоколом и полиэфиром МГФ-9. Должен удовлетворять следующим требованиям:

Внешний вид . . . . .	Однородная жидкость от светло-бурого до темно-бурого цвета, не содержащая сгустков
Вязкость по ВЗ-1 (сопло 5,4 мм) при 20° С, мин	10—20
Жизнеспособность*, мин, не менее . . . . .	60
Гарантийный срок хранения со дня изготовления, месяцы . . . . .	6

\* При отверждении ГМДА.

К-153 отверждают ПЭПА (12 вес. ч.), ГМДА (12 вес. ч.), сложными аминами (18 вес. ч.), малеиновым ангидридом (30—35 вес. ч.), низкомолекулярными полиамидными смолами. Рекомендуется один из следующих режимов отверждения:

	Выдержка, ч
1. При 18—20° С, не менее . . . . .	8
» 80° С . . . . .	6—8
2. При 18—20° С, не менее . . . . .	8
» 75—80° С . . . . .	2
» 100° С . . . . .	6
3. При 18—20° С, не менее . . . . .	8
» 120° С . . . . .	3

В некоторых случаях отверждение проводят при комнатной температуре (не ниже 20° С) в течение 3 суток; при этом прочностные характеристики отвержденного компаунда оказываются ниже.

**Прочность клеевых соединений на основе отвержденного компаунда К-153\* в зависимости от типа отвердителя и режима отверждения**

Показатели	Отвердитель		
	сложные амины	40 АГ	40 АФ
Отверждение при 100° С в течение 4 ч			
Предел прочности при сдвиге, кг/см <sup>2</sup>			
при 20° С . . . . .	205	200	140
» 60° С . . . . .	176	150	140
» 100° С . . . . .	40	13	80
Прочность при неравномерном отрыве, кг/см			
при 20° С . . . . .	25	32	15
» 60° С . . . . .	23	30	23
» 100° С . . . . .	10	8	15

\* Наполнитель — цемент марки 500 (100 вес. ч.).

Продолжение

Показатели	Отвердитель		
	сложные амины	40 АГ	40 АФ
Отверждение при 20° С в течение 72 ч			
Предел прочности при сдвиге, кг/см <sup>2</sup>			
при 20° С . . . . .	140	160	135
» 60° С . . . . .	50	152	150
» 100° С . . . . .	15	14	14
Прочность при неравномерном отрыве, кг/см			
при 20° С . . . . .	12	10	—
» 60° С . . . . .	14	28	—
» 100° С . . . . .	5	5	—

На стр. 98—99 показано изменение адгезионных свойств компаунда К-153 при введении различных отвердителей и изменении режима отверждения.

Отвержденный сложными аминами (выдержка при 80° С — 1 ч, при 100° С — 6 ч) компаунд К-153 имеет следующие свойства:

Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>	
при статическом изгибе . . . . .	800—1000
» растяжении . . . . .	400—500
» сжатии . . . . .	1000—1200
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> . . . . .	8—10
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	3—5
Твердость по Бринеллю, кг/мм <sup>2</sup> . . . . .	18—20
Теплостойкость по Мартенсу, °С . . . . .	65
Деформационная теплостойкость, °С . . . . .	90
Водопоглощение, %	
за 24 ч . . . . .	0,08
» 30 суток . . . . .	0,3
Увеличение массы после пребывания в ацетоне в течение 24 ч, % . . . . .	2
Удельное электрическое сопротивление	
объемное, ом·см . . . . .	1·10 <sup>14</sup>
поверхностное, ом . . . . .	1·10 <sup>14</sup>
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 <sup>3</sup> гц . . . . .	3·10 <sup>-2</sup>
Диэлектрическая проницаемость при 10 <sup>6</sup> гц . . . . .	4
Электрическая прочность (при толщине образца 2 мм), кВ/мм . . . . .	20

Компаунд К-153 применяют для склеивания различных материалов, для пропитки, заливки, герметизации различной аппаратуры, как связующее для стеклопластиков, как водостойкое антикоррозионное покрытие. Применяется без наполнителя и с наполнителями (кварцевая мука, цемент, тальк, стеклоткань и др.).

**Компаунды К-126 (ТУ № П-451—65) и К-129 (ТУ № П-367—64).** Резиноподобные продукты совмещения смолы ЭД-5 с тиоколами

(марки 1 и НВБ-2) и полиэфиром МГФ-9. Должны удовлетворять следующим требованиям:

	К-126	К-129
Внешний вид . . . . .	Вязкая жидкость от темно-коричневого до черного цвета	
Вязкость по ВЗ-1 (сопло 5,4 мм) при $20 \pm 1^\circ \text{C}$ , мин, не более . . . . .	15	15
Твердость по Шору после 5 суток пребывания на воздухе при $20 \pm 2^\circ \text{C}$ , не ниже . . . . .	40	45
Жизнеспособность при $20 \pm 2^\circ \text{C}$ , мин, не менее . . . . .	60	60

Жизнеспособность компаундов без отвердителя ограничена до 5—10 суток. Поэтому компаунды готовит потребитель из исходных компонентов в соответствии с инструкцией (№ 612 для К-126 и № 351 для К-129).

Отверждение компаундов производят ПЭПА (5,5—6 вес. ч. на 100 вес. ч. смолы) по следующему режиму: выдержка в течение 5 суток при температуре не ниже  $18^\circ \text{C}$  или выдержка при температуре не ниже  $18^\circ \text{C}$  в течение 6 ч с последующей термообработкой при  $80^\circ \text{C}$  в течение 6 ч. Возможно отверждение продуктами 40 АГ (8 вес. ч. на 100 вес. ч. смолы), МА и МТГФА по такому же режиму.

Компаунды К-126 и К-129 применяют для герметизации и заливки различной аппаратуры, для герметизации сальников, работающих под давлением. Температура эксплуатации от  $-50$  до  $+85^\circ \text{C}$ . Компаунд К-129 выдерживает кратковременное (до 150 ч) воздействие температуры  $100^\circ \text{C}$ .

Свойства отвержденного компаунда К-126 представлены ниже:

	пЭПА	МА
Плотность, $\text{г/см}^3$ . . . . .	1,21—1,25	—
Предел прочности при растяжении, $\text{кг/см}^2$ . . . . .	30—50	40—55
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	60—80	40—60
Твердость по Шору . . . . .	40—55	30—40
Температура хрупкости, $^\circ \text{C}$ . . . . .	—33	—20
Предел прочности клеевого шва (дюраль Д-16) при сдвиге, $\text{кг/см}^2$ . . . . .	30—40	30—40
Потеря массы после нагревания при $100^\circ \text{C}$ в течение 200 ч, % . . . . .	3	3
Водопоглощение, %		
за 24 ч . . . . .	0,2	0,15
» 30 суток . . . . .	1,3	—
Бензостойкость, %		
за 24 ч . . . . .	0,008	0,02
» 30 суток . . . . .	0,02	—
Маслостойкость (трансформаторное масло), %		
за 24 ч . . . . .	0,05	0,5
» 30 суток . . . . .	0,1	—
Удельное электрическое сопротивление		
объемное, $\text{ом} \cdot \text{см}$ . . . . .	$1 \cdot 10^{12}$	—
поверхностное, $\text{ом}$ . . . . .	$1 \cdot 10^{12}$	—

	ПЭПА	МА
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^6 \text{ гц}$ . . . . .	$2 \cdot 10^{-2}$	—
Диэлектрическая проницаемость при $10^6 \text{ гц}$ . . . . .	6,0	—
Электрическая прочность (при толщине 2 мм), $\text{кВ/мм}$ . . . . .	12	—

Компаунды ЭЗК, Д-12а, Д-127, Д-129, Д-130, Д-134, Д-135, ЭЗК-5, ЭЗК-8, Д-38, Д-38а. Эпоксидно-тиокольные компаунды. Состав и свойства некоторых из них приведены ниже.

Состав и свойства эпоксидно-тиокольных компаундов

Состав (в вес. ч.) и свойства	ЭЗК-5	ЭЗК-8	Д-38	Д-38а
Состав				
Смола ЭД-6 . . . . .	100	100	100	100
Жидкий тиокол с вязкостью 620 $\text{снз}$ . . . . .	—	—	20	—
»  »  255 $\text{снз}$ . . . . .	30	50	—	30
Пылевидный кварц . . . . .	150—200	—	1,0—1,2 д *	1,0—1,2 д
Слюдяная мука . . . . .	—	75	—	—
МА . . . . .	2э **	0,84 э	2,28 э	1,2 э
Диметиланилин . . . . .	0,1	0,1	0,1	0,1
Свойства				
Предел прочности, $\text{кг/см}^2$ при статическом изгибе . . . . .	700	650	1140	1000
» сжатия . . . . .	—	—	1650	1300
Удельная ударная вязкость, $\text{кг} \cdot \text{см/см}^2$ . . . . .	—	14	11	18
Теплостойкость по Мартенсу, $^\circ \text{C}$ . . . . .	70	—	65—75	65—40
Удельное объемное электрическое сопротивление, $\text{ом} \cdot \text{см}$ . . . . .	$1 \cdot 10^{14}$	$1 \cdot 10^{14}$	$1 \cdot 10^{14}$	$1 \cdot 10^{14}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^6 \text{ гц}$ . . . . .	0,014	0,017	0,017	0,030
Диэлектрическая проницаемость при $10^6 \text{ гц}$ . . . . .	5,5	6,4	4,5	4,6

\* д — количество компаунда без наполнителя, вес. ч.

\*\* э — эпоксидное число смолы.

Компаунды ЭЗК предназначены для изолирования низковольтных электроэлементов, блоков сопротивления, линий задержек, импульсных трансформаторов на ферритовых сердечниках и других деталей, не выдерживающих нагревания выше  $70$ — $80^\circ \text{C}$  или сильного сжатия при отверждении.

Отверждение компаундов проводили по следующему режиму:

	Выдержка, ч
При $50^\circ \text{C}$ . . . . .	2
» $60^\circ \text{C}$ . . . . .	24
» $70^\circ \text{C}$ , не менее . . . . .	8
» $80^\circ \text{C}$ , не менее . . . . .	10

### Эпоксидно-каучуковые эластичные компаунды

Эти компаунды получают при совмещении эпоксидных смол ЭД-5 или ЭД-6 с карбоксилированным низкомолекулярным каучуком. Эластичность сополимера растет при увеличении содержания каучука. Разработаны компаунды, содержащие бутадиен-нитрильные карбоксилированные каучуки марок СКН-10-5, СКН-18-1; СКН-26-1, бутадиеновый каучук СКД в количестве от 20 до 200 вес. ч. на 100 вес. ч. смолы. Для снижения вязкости в компаунд вводят полиэфир МГФ-9. Эпоксидно-каучуковые компаунды отверждают аминами (ДЭТА, ПЭПА), низкомолекулярными полиамидами (Л-19, Л-20, Л-18, С-18, С-20).

**Компаунды К-139 (ТУ № П-313 — 62), К-147 и К-134.** Изготавливаются по инструкции № 963 и отверждаются по одному из следующих режимов:

1. При 20° С, не менее . . . . . 48 ч
2. При 20° С, не менее . . . . . 6 ч
  - » 80° С . . . . . 2 ч
  - » 100° С . . . . . 6 ч
3. При 20° С, не менее . . . . . 6 ч
  - » 60—80° С . . . . . 10—8 ч

Срок хранения компаунда К-139 без отвердителя — 6 месяцев с момента изготовления. Компаунды К-147 и К-134 можно хранить без отвердителя в течение 10 суток при температуре не выше 22° С.

### Свойства эпоксидных компаундов

Показатели	К-139	К-147	К-134
Вязкость по ВЗ-1 (сопло 5,4 мм) при 20° С, мин . . . . .	15—30	—	—
Жизнеспособность, мин . . . . .	120	120	120
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>			
при статическом изгибе . . . . .	500—600	200—300	—
» растяжении . . . . .	400—600	200—300	50—70
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	4—8	8—12	30—40
Твердость			
по Бринеллю, кг/мм <sup>2</sup> . . . . .	16—18	8	—
» Шору . . . . .	—	—	70
Температура стеклования, °С . . . . .	75	—	—
Температура хрупкости, °С . . . . .	—	—5	—20
Прочность клеевого шва при сдвиге, кг/см <sup>2</sup> (дюраль Д-16) . . . . .	200	150	80
Удельное электрическое сопротивление			
объемное, ом·см . . . . .	1·10 <sup>13</sup>	1·10 <sup>13</sup>	1·10 <sup>13</sup>
поверхностное, ом . . . . .	1·10 <sup>14</sup>	1·10 <sup>12</sup>	1·10 <sup>11</sup>
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 <sup>5</sup> гц . . . . .	4·10 <sup>-2</sup>	7·10 <sup>-2</sup>	8·10 <sup>-2</sup>
Диэлектрическая проницаемость при 10 <sup>5</sup> гц . . . . .	4,5	5,0	5,5

### Изменение свойств эпоксидных компаундов при тепловом старении

Марка компаунда	Предел прочности при статическом изгибе, кг/см <sup>2</sup>												Марка компаунда	
	После старения													
	при 100° С				при 150° С				при 200° С					
исходные данные	100 ч	800 ч	1500 ч	3000 ч	100 ч	200 ч	800 ч	1500 ч	3000 ч	1 ч	10 ч	100 ч	400 ч	Потеря массы, %
	100 ч	800 ч	1500 ч	3000 ч	100 ч	200 ч	800 ч	1500 ч	3000 ч	1 ч	10 ч	100 ч	400 ч	
К-156	1090	680	483	—	1200	800	1200	670	430	1100	910	590	550	после старения
	810	487	386	—	500	640	600	640	560	920	1000	450	600	
	1050	370	269	—	700	480	330	350	430	910	930	470	330	
	980	800	630	500	870	685	807	1007	480	960	830	660	550	
	830	770	470	426	1030	950	1000	1050	590	780	840	520	510	
	550	1100	950	996	1100	1300	1100	930	1040	280	430	730	520	
К-115	0,29	0,28	0,31	0,35	0,91	1,15	1,77	2,18	2,7	0,37	0,83	1,4	2,67	Потеря массы, %
	0,33	0,34	0,37	0,49	3,1	3,92	5,88	6,86	8,01	0,89	2,31	4,95	7,64	
	0,71	1,1	1,29	1,66	4,91	6,09	8,77	10,05	11,5	0,93	2,73	6,58	11,6	
	0,18	0,3	0,33	0,45	3,1	3,78	5,38	6,07	6,79	1,01	3,0	7,11	9,31	
	0,38	0,51	0,56	0,73	3,88	4,84	6,47	6,96	7,76	0,62	2,03	5,14	7,96	
	0,4	0,18	0,19	0,21	0,77	0,87	1,31	1,65	2,17	0,32	0,68	1,54	2,33	
К-160	0,29	0,28	0,31	0,35	0,91	1,15	1,77	2,18	2,7	0,37	0,83	1,4	2,67	Потеря массы, %
	0,33	0,34	0,37	0,49	3,1	3,92	5,88	6,86	8,01	0,89	2,31	4,95	7,64	
	0,71	1,1	1,29	1,66	4,91	6,09	8,77	10,05	11,5	0,93	2,73	6,58	11,6	
	0,18	0,3	0,33	0,45	3,1	3,78	5,38	6,07	6,79	1,01	3,0	7,11	9,31	
	0,38	0,51	0,56	0,73	3,88	4,84	6,47	6,96	7,76	0,62	2,03	5,14	7,96	
	0,4	0,18	0,19	0,21	0,77	0,87	1,31	1,65	2,17	0,32	0,68	1,54	2,33	
К-153	0,29	0,28	0,31	0,35	0,91	1,15	1,77	2,18	2,7	0,37	0,83	1,4	2,67	Потеря массы, %
	0,33	0,34	0,37	0,49	3,1	3,92	5,88	6,86	8,01	0,89	2,31	4,95	7,64	
	0,71	1,1	1,29	1,66	4,91	6,09	8,77	10,05	11,5	0,93	2,73	6,58	11,6	
	0,18	0,3	0,33	0,45	3,1	3,78	5,38	6,07	6,79	1,01	3,0	7,11	9,31	
	0,38	0,51	0,56	0,73	3,88	4,84	6,47	6,96	7,76	0,62	2,03	5,14	7,96	
	0,4	0,18	0,19	0,21	0,77	0,87	1,31	1,65	2,17	0,32	0,68	1,54	2,33	
ЭД-6 + МА	0,29	0,28	0,31	0,35	0,91	1,15	1,77	2,18	2,7	0,37	0,83	1,4	2,67	Потеря массы, %
	0,33	0,34	0,37	0,49	3,1	3,92	5,88	6,86	8,01	0,89	2,31	4,95	7,64	
	0,71	1,1	1,29	1,66	4,91	6,09	8,77	10,05	11,5	0,93	2,73	6,58	11,6	
	0,18	0,3	0,33	0,45	3,1	3,78	5,38	6,07	6,79	1,01	3,0	7,11	9,31	
	0,38	0,51	0,56	0,73	3,88	4,84	6,47	6,96	7,76	0,62	2,03	5,14	7,96	
	0,4	0,18	0,19	0,21	0,77	0,87	1,31	1,65	2,17	0,32	0,68	1,54	2,33	

Физико-механические и диэлектрические свойства компаундов представлены на стр. 102. Зависимость свойств некоторых эпоксидных компаундов от температуры приведена в таблице на стр. 103.

Эпоксидно-каучуковые компаунды отличаются повышенной эластичностью, их адгезионные свойства с увеличением содержания каучука ухудшаются незначительно; клеевые швы с применением таких компаундов (особенно К-147 и К-134) имеют незначительные внутренние напряжения.

Компаунды рекомендуются для первичной пропитки и обволакивания трансформаторов, дросселей, радиосхем и других изделий, где необходима эластичная изоляция, компаунды могут применяться в интервале температур от  $-60$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ . На основе К-139 готовят токопроводящий клей К-12. Компаунд К-139 рекомендуется для приклейки неполярных и малополярных резин к металлу.

Клей на основе К-139 применяют для герметизации полов в помещениях с повышенной влажностью (банно-прачечные цехи, санитарные узлы). Клей на основе компаундов К-147 и К-134 применяют при изготовлении трехслойных панелей с алюминиевой обшивкой и средним слоем из пенопласта, для склеивания пеностекла с железобетоном и асбоцементом и для других целей.

**Компаунды ПЭК-18, ПЭК-20 и ПЭКЛ-19 (МРТУ 6-07-7003—63).** Получаются на основе смолы ЭД-5, карбоксилатного каучука СКН-10-5 (СКН-10-1А), полиэфира МГФ-9 и отвердителей — низкомолекулярных полиамидов С-18, С-20 и Л-19. Компаунды изготавливаются потребителем по инструкции 4РП-Р-14-14—65.

Компаунды ПЭК-18, ПЭК-20, ПЭКЛ-19 рекомендуются для пропитки и заливки различной радиоаппаратуры с хрупкой арматурой, для поверхностной герметизации соединений металл — металл, металл — пенопласт, металл — полиэтилен (специально обработанный) и др. Компаунды могут применяться в изделиях, работающих в интервале температур от  $-60$  до  $+120^{\circ}\text{C}$ .

Компаунды не вызывают коррозии поверхности цветных металлов и серебряных поверхностей при длительном контакте.

Неотвержденные компаунды должны удовлетворять следующим требованиям:

	ПЭК-18	ПЭК-20	ПЭКЛ-19
Внешний вид . . . . .	Однородная масса от светло-до темно-коричневого цвета		
Плотность, $г/см^3$ . . . . .	$1,1 \pm 0,05$	$1,05 \pm 0,05$	—
Вязкость при $20^{\circ}\text{C}$ , $спз$ . . . . .	1300	1500	—
Жизнеспособность после введения отвердителя, ч . . . . .	4	6	6

**Компаунд Д-140.** Представляет собой продукт на основе смолы ЭД-6 и карбоксилатного каучука СКД-5 (отвердитель — полиамид

Д-19). Он обладает следующими свойствами:

Плотность, $г/см^3$ . . . . .	1,05
Вязкость (начальная) по воронке НИЛК при $60^{\circ}\text{C}$ (сопло 7 мм), мин . . . . .	15
Жизнеспособность при $60^{\circ}\text{C}$ , мин . . . . .	20
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	30
Усадка при отверждении, % . . . . .	0,8
Водопоглощение, %	
за 48 ч . . . . .	0,21
» 10 суток . . . . .	0,49
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^3$ $гц$ . . . . .	0,014
Диэлектрическая проницаемость при $10^3$ $гц$ . . . . .	4

Компаунд отверждается при выдержке в течение 6 ч при  $20^{\circ}\text{C}$ , 2 ч — при  $60^{\circ}\text{C}$  и 10 ч — при  $100^{\circ}\text{C}$ . Применяется как обволакивающий влагозащитный материал для изоляции трансформаторов и дросселей, работающих в интервале температур от  $-60$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ .

**Компаунд УП-592 (ВТУ № 5-224—67).** Продукт на основе смолы УП-563, отверждается аминами и ангидридами. Для повышения механической прочности в композиции на его основе вводят смолу ЭД-5 или ЭД-181. Применяется в изделиях, работающих при температурах от  $-60$  до  $+140^{\circ}\text{C}$ .

#### Эпоксидно-кремнийорганические компаунды

Эти компаунды представляют собой продукты совмещения смол ЭД-5, ЭД-6 и ЭДП с кремнийорганическими смолами. Эпоксидно-кремнийорганические сополимеры (ЭКС) — это вязкие жидкости от желтого до коричневого цвета с содержанием кремния 5—6%. Их отверждают аминами, низкомолекулярными полиамидами Л-19 и Л-20, ангидридами двухосновных кислот. ЭКС обладают хорошей адгезией к различным материалам (их адгезионные свойства сохраняются при температуре порядка  $200$ — $300^{\circ}\text{C}$ ) и хорошей водостойкостью.

**Смола ТФЭ-9 (ТУ № П-536—67).** Продукт модификации диановых смол ЭД-5 и ЭД-6 тетрафурилсиликатом. Неотвержденная смола должна удовлетворять следующим требованиям:

Внешний вид . . . . .	Вязкая жидкость темно-коричневого цвета
Содержание, %	
сухого остатка, не менее . . . . .	90
эпоксидных групп . . . . .	14—16
кремния, не менее . . . . .	1,4
Условная вязкость по вискозиметру ВХ-4*, сек, не более . . . . .	120
Время гелеобразования при $250^{\circ}\text{C}$ , мин, не менее . . . . .	6

\* Вискозиметр ВХ-4 представляет собой видоизмененный вискозиметр ВЗ-4 с диаметром сопла  $4 \pm 0,013$  мм.

## Свойства отвержденной \* смолы ТФЭ-9

Показатели	Условия испытаний					
	20° С	100° С	200° С		300° С	
			0 ч	1000 ч	0 ч	5 ч
Предел прочности при сдвиге, $кг/см^2$						
сталь 20 . . . . .	150	135	135	45	40	40
дюраль Д-16 . . . . .	90	110	120	60	85	75
латунь . . . . .	55	65	65	15	50	—
Удельное объемное электрическое сопротивление, $ом \cdot см$ . . . . .	$1 \cdot 10^{14}$	—	$1 \cdot 10^{11}$	—	—	—
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^3 гц$ . . . . .	$4 \cdot 10^{-3}$	—	$4 \cdot 10^{-2}$	—	—	—
Диэлектрическая проницаемость при $10^6 гц$ . . . . .	4—5	—	—	—	—	—

\* Отвердитель МА (30 вес. ч.).

Смола ТФЭ-9 используется в качестве теплостойкого клея, работающего длительное время при 200—250° С, применяющегося для склеивания стали, дуралюмина и прессматериалов на основе кремнийорганических смол.

**Смола Т-111 (ТУ № П-549—67).** Эпоксидная смола ЭД-6, модифицированная полиорганосилоксаном, должна удовлетворять следующим требованиям:

Внешний вид . . . . .	Вязкая жидкость темно-коричневого цвета
Содержание, %	
эпоксидных групп . . . . .	12—14
сухого остатка . . . . .	95—98
кремния . . . . .	1,5—2,2

Смола Т-111 применяется для склеивания металлов (сталь различных марок, медь, алюминий) и их сплавов между собой и с неметаллическими материалами, для заделки зазоров на деталях в изделиях с температурой эксплуатации от —60 до +400° С. Смола Т-111 — основная составная часть клея К-400, используемого для склейки феррита.

**Смола МФХИ-6 (ТУ № П-265—61).** Продукт модификации диановых смол ЭД-5 и ЭД-6 силоксаном. Неотвержденная смола обладает следующими свойствами:

Внешний вид . . . . .	Вязкая жидкость коричневого цвета
Содержание, %	
сухого остатка . . . . .	89—94
эпоксидных групп . . . . .	11—14
хлорного железа, не более . . . . .	0,02
Вязкость по ВЗ-4 при 80° С, сек, не более	150

Смола отверждается МА (9 вес. ч.) и ФА (18 вес. ч.) по следующему режиму: МА и ФА расплавляют при 140° С, интенсивно перемешивают и затем охлаждают до 100° С. Смолу нагревают до  $85 \pm 5^\circ С$ , вливают в нее смесь отвердителей, перемешивают, вакуумируют при остаточном давлении 10 мм рт. ст. в течение 15—20 мин, заливают в формы и затем отверждают при следующем режиме (в ч):

При 100° С — 1	При 160° С — 1
» 120° С — 3	» 180° С — 1
» 140° С — 1	

Показатели физико-механических и диэлектрических свойств отвержденной смолы МФХИ-6 приведены ниже:

Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ , не менее . . . . .	4,5
Удельное объемное электрическое сопротивление, $ом \cdot см$ , не менее	
при 20° С . . . . .	$1 \cdot 10^{14}$
» 180° С . . . . .	$1 \cdot 10^{10}$
Диэлектрическая проницаемость при $10^3 гц$ , не более	
при 20° С . . . . .	4,2
» 180° С . . . . .	6
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^3 гц$ , не более	
при 20° С . . . . .	0,006
» 180° С . . . . .	0,04
Электрическая прочность, $кв/мм$ , не менее	
при 20° С . . . . .	20
» 180° С . . . . .	16

Смолу МФХИ-6 применяют для изготовления заливочного состава, употребляемого для заливки катушек низковольтных и высоковольтных трансформаторов и дросселей, работающих при температурах от —60 до +180° С.

**Смола Т-10 (ТУ № П-533—67).** Продукт модификации смолы ЭД-6 полисилоксаном. Неотвержденная смола обладает следующими свойствами:

Внешний вид . . . . .	Вязкая прозрачная жидкость светло-коричневого цвета
Содержание, %	
сухого остатка, не менее . . . . .	97
эпоксидных групп . . . . .	12—14,5
Условная вязкость по ВХ-4 при 90° С, сек . . . . .	80—200

Смолу Т-10 отверждают метилтетрагидрофталевым ангидридом, количество которого рассчитывают по формуле:

$$A = 3,86 \varepsilon$$

где А — количество МТГФА, г;  $\varepsilon$  — количество эпоксидных групп в смоле.

Отверждение проводят при 140° С в течение 10 ч. Для достижения оптимальных свойств рекомендуется дополнительный прогрев при 180—200° С в течение 2 ч (ускоритель ТЭАТ-1, 1 вес. %).

Свойства отвержденной смолы Т-10 приведены ниже:

Удельная ударная вязкость, $\text{кг} \cdot \text{см} \cdot \text{см}^{-2}$ . . . . .	10
Удельное объемное электрическое сопротивление, $\text{ом} \cdot \text{см}$	
при 20° С . . . . .	$1 \cdot 10^{14}$
» 200° С . . . . .	$1 \cdot 10^{10}$
Диэлектрическая проницаемость при $10^3$ гц, не более	
при 20° С . . . . .	3,8
» 200° С . . . . .	5,0
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^3$ гц, не более	
при 20° С . . . . .	0,08
» 200° С . . . . .	0,06
Электрическая прочность, $\text{кв}/\text{мм}$ , не менее	
при 20° С . . . . .	18
» 200° С . . . . .	15

Смолу Т-10 применяют для изготовления заливочных составов для изделий, работающих в интервале температур от  $-60$  до  $+220^\circ \text{С}$ .

#### Эпоксидно-фурановые компаунды

При совмещении фурфуролацетонного мономера ФА и эпоксидной смолы ЭД-6 получают смолы марки 41-ФАЭД. Отвержденные продукты устойчивы к действию бензола, растворов едкого натра и ортофосфорной кислоты любой концентрации, 1%-ных растворов серной и соляной кислот, кипящих этилового спирта, керосина, трансформаторного масла, щелочей и различных растворителей. Потеря массы при кипячении в течение 24 ч не превышает 0,08%. Показатели свойств отвержденных эпоксидно-фурановых смол приведены ниже:

Показатель	41-ФАЭД-10	41-ФАЭД-11	41-ФАЭД-8	41-ФАЭД-13
Плотность, $\text{г}/\text{см}^3$ . . . . .	1,127—1,131	1,133—1,140	1,140—1,142	1,147—1,150
Содержание, %				
эпоксидных групп . . . . .	1,68	3,58	5,5	9,4
гидроксильных групп . . . . .	2,4	0,0	7,1	9,8
Вязкость по вискозиметру Форда — Энглера (сопло № 2), $\text{мин}$ . . . . .	1,08—2,06	2,22—4,02	9,36—11,45	43,0—54,45
Скорость отверждения с ГМДА при 120° С, $\text{сек}$	190—197	138—141	104—114	Не более 80

Смолы 41-ФАЭД в основном применяют в качестве связующих при производстве заливочных и клеевых композиций, при производстве пресскомпозиций, как лаковые и антикоррозионные покрытия.

#### Наполнители для эпоксидных компаундов

Свойства эпоксидных композиций можно изменять, вводя в них различные наполнители. При введении наполнителей изменяются механические, адгезионные, теплофизические и диэлектрические свойства, водостойкость, усадка, износостойкость отвержденных композиций.

При использовании наполненных компаундов уменьшается удельный расход смолы, и, следовательно, снижается стоимость изделия. Отверждение наполненных компаундов протекает с меньшим разогревом.

Сравнительные свойства компаунда К-115, отвержденного ПЭПА, наполненного и ненаполненного, приведены ниже:

	Без наполнителя	100 вес. ч. кварца марки КП-3
Плотность, $\text{г}/\text{см}^3$ . . . . .	1,2	1,6—1,65
Предел прочности, $\text{кг}/\text{см}^2$		
при сжатии . . . . .	1100—1400	1500—1800
» растяжении . . . . .	750	500
Относительное удлинение при разрыве, %	3,0	1,8
Удельная ударная вязкость, $\text{кг} \cdot \text{см}/\text{см}^2$ . . . . .	10—14	8—10
Коэффициент теплопроводности, $\text{кал}/(\text{см} \cdot \text{сек} \cdot \text{град})$ . . . . .	$2 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Коэффициент термического линейного расширения при 100° С, $\text{град}^{-1}$ . . . . .	$60 \cdot 10^{-6}$	$40—35 \cdot 10^{-6}$
Усадка при отверждении, % . . . . .	0,8—1	0,3—0,5

Особенно важно применение наполненных компаундов при изготовлении армированных изделий, подвергающихся циклическим температурным воздействиям. Вследствие большой разницы в коэффициентах линейного расширения ( $\alpha$ ) эпоксидной смолы или компаунда ( $\alpha = 60 \cdot 10^{-6}—70 \cdot 10^{-6}$ ) и материала арматуры — металла ( $\alpha = 11 \cdot 10^{-6}—28 \cdot 10^{-6}$ ) возникают большие напряжения в компаунде. Это приводит к растрескиванию при замораживании вследствие увеличения хрупкости компаунда при снижении температуры. При введении наполнителя коэффициент линейного расширения компаунда снижается, приближаясь к значению коэффициента расширения арматуры.

Зависимость коэффициента термического линейного расширения компаунда К-153 от количества введенного наполнителя (кварц вибропома КП-3) приведена на рис. 15.

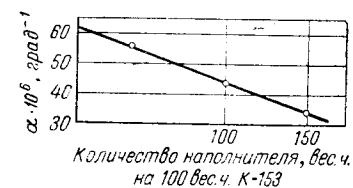


Рис. 15. Зависимость коэффициента термического линейного расширения ( $\alpha$ ) компаунда К-153 от количества кварца вибропома КП-3.



В зависимости от назначения компаунда, конструкции изделия и условий эксплуатации выбирается соответствующий наполнитель и определяется его количество. Во всех случаях отвердитель рассчитывается на 100 вес. ч. смолы (наполнитель в расчет не принимается).

В качестве наполнителей применяют следующие:

### 1. Порошки

а) минеральные: кварц вибропомола марок КП-2, КП-3, плавный кварц вибропомола, тальк, цемент, слюдяная мука, графит, асбцемент, формовочные пески, фарфоровая, мраморная мука, силикагель, пигменты, виброизмельченный кокс;

б) металлические: окислы и гидроксиды металлов, соли металлов, металлы;

в) органические: древесная мука, порошкообразная целлюлоза, корковая мука, резиновая мука, дисперсный фторопласт, полиэтилен, поливинилхлорид и др.

2. Волокнистые наполнители: рубленая металлическая проволока, асбестовое волокно, рубленое стекловолокно и др.

3. Тканые материалы: стеклоткань, стекломаты, ткани из синтетических волокон.

Высокодисперсные порошкообразные наполнители вводят в состав заливочных и клеевых компаундов, антикоррозионных покрытий, конструкционных изделий.

Для обеспечения тиксотропных свойств в состав компаундов вводят тиксотропные наполнители — силикагель (белая сажа); токопроводящие свойства обеспечиваются введением коллоидного полированного серебра, графита; улучшение теплопроводности достигается введением алюминиевого порошка и т. д.

При изготовлении крупногабаритных толстостенных изделий внутренние части наполняют либо пескомассой, состоящей из 90 вес. ч. формовочного песка, древесных опилок и 10 вес. ч. компаунда, либо деревянными или гипсовыми брусочками. Наружные рабочие части заливают компаундом. Для упрочнения рабочих частей штампа применяют рубленые металлические волокна, металлическую сетку. Пропиткой стеклоткани эпоксидными связующими получают высокопрочные стеклопластики и изделия из них.

При выборе наполнителя следует учитывать, какой механической обработке будет подвергаться изделие. Изделия из компаундов, наполненных тальком, слюдяной мукой, металлическими порошками, органическими волокнистыми наполнителями, легко поддаются всем видам механической обработки.

Абразивные свойства приобретают компаунды, наполненные кварцем вибропомола, маршалитом, фарфоровой мукой. Токарная обработка, строганье и фрезеровка таких компаундов затруднительна. Для их обработки необходимо применять резцы из специальной стали, которые приходится часто менять и затачивать.

Примерные рецептуры наполненных компаундов

Марка компаунда	Количество наполнителя на 100 вес. ч. компаунда								Назначение компаунда
	кварц КП-2, КП-3	цемент марки 400-600	тальк	асбцемент	железный порошок	белая сажа	диоксид титана	коллоидное серебро	
К-115, К-156	100—150	100—200	40—60	до 200	—	6—10	20—60	—	Электроизоляционные детали, клей, антикоррозионные покрытия
К-153	100—150	100	40—60	—	—	—	—	—	Клей для склеивания металлов и других материалов; электроизоляционная, влагостойкая заливочная масса
К-139	100	200	—	—	—	—	700	—	Клей для склеивания резины, резины с металлом и другими материалами, герметизирующая мастика, токопроводящий клей
К-147, К-134	—	200	10	—	—	—	—	—	Клей для склеивания строительных конструкций
К-201	—	—	—	200—300	—	—	—	—	Клей для склеивания асбестоцементных конструкций
К-54/6	100	—	—	—	200	—	—	—	Для изготовления инструментальной оснастки, заделки дефектов литых и других изделий
ЭЖ-5	150	—	—	—	200	—	—	—	То же

Перед введением в компаунд наполнитель должен быть тщательно очищен от механических загрязнений. При изготовлении изделий электронизоляционного назначения с хорошими диэлектрическими свойствами рекомендуется проводить магнитную очистку наполнителя. В случае загрязнения наполнителя маслами его следует обезжирить, просушить в течение 2—3 ч при 140—150°С для минеральных и металлических и при 100—105°С — для органических наполнителей. Сушить следует в тонком слое (1—2 см), периодически перемешивая. В отдельных случаях при повышенных требованиях к диэлектрическим свойствам наполнитель прокатывают при температуре 800°С и выше.

Наполнитель вводят в компаунд, подогретый до 60—70°С. Во время перемешивания для удаления воздуха, адсорбированного наполнителем, компаунд рекомендуется вакуумировать при остаточном давлении 10 мм рт. ст. в течение 30—45 мин.

Заводы-изготовители выпускают ненаполненные компаунды. Наполнитель вводится потребителем по специальной технологической инструкции. Наполненные компаунды применяют в течение 8—12 ч после изготовления, чтобы избежать оседания наполнителя. При необходимости расфасовки и транспортировки наполненного компаунда масса его с наполнителем не должна превышать 5 кг.

Рекомендуемые количества наполнителя для некоторых компаундов приведены на стр. 111. Ниже дан перечень ГОСТ и МРТУ для наиболее распространенных наполнителей:

1. Кварц молотый пылевидный марки КП-2 и КП-3 — ГОСТ 9077—59.
2. Тальк молотый — ГОСТ 879—52; литопон — ГОСТ 907—53.
3. Двуокись титана пигментная — ГОСТ 9808—65.
4. Слюда молотая для резиновой промышленности — ГОСТ 855—63; слюда щипаная — ГОСТ 3028—68.
5. Портланд цемент белый — ГОСТ 965—66; портланд цемент — ГОСТ 10178—62.
6. Сажа белая марки У-333 — ВТУ УХ-Л-1-115—59.
7. Железо карбонильное (для радиоэлектроники) — СТУ 12-10210—62.
8. Пудра алюминиевая — ГОСТ 5494—50; ГОСТ 10096—62.
9. Графит марки П — ГОСТ 8295—57; ГОСТ 5420—50; ГОСТ 5279—61.
10. Железный порошок марки АСМ — ТУ № 3648—53.

#### ПЕРЕРАБОТКА ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ И КОМПАУНДОВ

В отличие от многих видов пластических масс, которые подвергаются переработке на специализированных химических заводах, эпоксидные смолы перерабатываются в изделия на заводах-потребителях — машиностроительных, электротехнических и других. Предпочтительнее пользоваться компаундами, выпускаемыми серийно на химических заводах. Эти компаунды поступают с паспортами о соответствии их требованиям технических условий на данную марку. На заводах по специальным технологическим инструкциям смешивают смолы или компаунды с наполнителями и

перед применением вводят отвердитель. Иногда завод-потребитель готовит компаунды, т. е. смешивает смолы с тем или иным модификатором или пластификатором, в строгом соответствии с рецептурой и технологией, предусмотренной инструкцией на данную рецептуру.

Эпоксидные смолы в результате реакции с отвердителем превращаются в твердые, неплавкие полимеры без выделения побочных продуктов, вследствие чего для их отверждения не требуется применения сложного оборудования — прессов, литьевых машин.

Типовой аппаратуры для переработки эпоксидных смол не существует. Процессы смешения компаунда с наполнителем и отвердителем, вакуумирования, дозирования, разлива в формы и термообработка могут быть механизированы и производиться в закрытой аппаратуре на поточных линиях.

Эпоксидные смолы и компаунды применяются для пропитки, заливки, герметизации, склеивания, для изготовления технологической оснастки и многих других целей. В зависимости от назначения и конструкции изделий подбираются соответствующая технология и оборудование.

**Пропитка и заливка изделий.** Для получения монолитного заливочного слоя без пор и раковин компаунд рекомендуется предварительно вакуумировать, заливку производить под вакуумом, либо впрыскивание массы и пропитку арматуры проводить под небольшим давлением. Заполнение формы можно произвести тщательно откакумированным компаундом и при атмосферном давлении. Электроизоляционное влагозащитное покрытие может быть нанесено методом вихревого напыления твердых порошкообразных эпоксидных смол. Изготовление изделий цилиндрической формы, покрытие внутренней и внешней поверхностей труб может осуществляться методом центробежного литья.

Способ изготовления определяется конструкцией изделия, рецептурой и свойствами примененного компаунда (вязкость, жизнеспособность).

Формы для заливки и изготовления изделий могут быть разовые и многократного действия. Формы делают из жести, стали, алюминия, дерева, гипса, фторопласта, полиэтилена, капрона, винилпласта. Формы из материалов, имеющих адгезию к эпоксидным смолам, следует покрывать разделительным слоем, чтобы предотвратить прилипание. Формы из термопластичных материалов (фторопласта и др.) не обрабатывают разделительным слоем. Такие формы следует заключать в металлическую обложку во избежание деформации при термообработке.

Ниже перечислены рекомендуемые рецептуры разделительных составов:

1) 5—10%-ный раствор кремнийорганического каучука СКТ в толуоле;

- 2) 5—10%-ный раствор полиизобутилена в бензине;
- 3) 10—15%-ный раствор полиэтилена в уайт-спирите или другом растворителе;
- 4) кремнийорганический вазелин марки КВ-3;
- 5) кремнийорганические лаки К-47, К-44 и др.;
- 6) эмульсия мыла в керосине;
- 7) модельная смазка П-3 (2%-ный раствор в бензине);
- 8) воск.

Разделительный состав обычно наносят на поверхность формы ровным слоем кистью или краскораспылительным аппаратом при комнатной температуре и сушат до исчезновения липкости. Раствор полиэтилена разогревают и наносят на поверхность формы, предварительно нагретой до 110—120°С, после чего выдерживают при той же температуре в течение 1—2 ч. Кремнийорганические лаки наносят при комнатной температуре, а затем формы прогревают при 180—200°С в течение 1—2 ч.

**Склеивание эпоксидными клеями.** Эпоксидные компаунды находят широкое применение как клеи и антикоррозионные покрытия.

Склеиваемые поверхности должны быть хорошо подогнаны, очищены от механических загрязнений, окалины, ржавчины, зашпорохованы наждачной бумагой; металлические поверхности следует дробе- или пескоструить, после чего поверхности необходимо обезжирить ацетоном или бензином. В некоторых случаях применяют химическую обработку поверхности.

Клей наносят тонким слоем, склеивание производят под давлением 0,1—2 кг/см<sup>2</sup>. При использовании клеев, содержащих растворитель, детали после нанесения клея выдерживают на воздухе до удаления растворителя; клей в этом случае наносят дважды.

Склеенные детали подвергаются термообработке в соответствии с технологической инструкцией на данную марку компаунда-клея. Расход клея 200—250 г/м<sup>2</sup>. В состав клея, как правило, входят мелкодисперсные наполнители.

Эпоксидные клеи применяются как конструкционные, для клеесварных соединений, для герметизации соединительных швов, контровки резьбовых соединений и многих других целей. В качестве клеев могут быть использованы почти все марки компаундов.

Надежность работы изделий, узлов и конструкций, изготовленных с применением эпоксидных материалов, зависит от многих факторов, из которых решающими являются использованная рецептура и режим отверждения.

Необходимое количество отвердителя и оптимальный режим приводятся в технических условиях на соответствующий компаунд. Качество компаунда можно проверить, проведя испытания по пунктам, указанным в технических условиях.

Однако при изготовлении изделий не всегда удается осуществить режим переработки, указанный в ТУ. В этом случае необходимо подобрать режим, оптимальный для данного изделия.

Контроль за правильностью принятого режима может быть осуществлен следующим образом: из компаунда отливают образцы размером 10 × 15 × 120 мм. Один образец подвергают термообработке по режиму, указанному в ТУ, остальные — по принятому режиму. Готовые образцы разрезают пополам по длине, взвешивают на аналитических весах и погружают при комнатной температуре на 24 ч в 100 см<sup>3</sup> ацетона, после чего образцы вынимают, протирают фильтровальной бумагой и после выдержки на воздухе в течение 10—20 мин повторно взвешивают. Степень набухания образца ( $q$ ) рассчитывают по следующей формуле:

$$q = \frac{m - m_0}{m_0} \cdot 100\%$$

где  $m$  — масса образца после пребывания в ацетоне, г;  $m_0$  — первоначальная масса образца, г.

Режим, при котором изменение массы будет минимальным, может быть принят. Увеличение массы у образцов, не подвергнутых термообработке, всегда выше, показатели прочности склеивания — ниже, чем у образцов, прошедших термообработку.

В приведенной ниже таблице показано изменение массы некоторых марок компаундов после пребывания в ацетоне.

**Стойкость эпоксидных смол и компаундов к ацетону в зависимости от режима термообработки**

Марка материала	Увеличение массы после выдержки в ацетоне при комнатной температуре в течение 24 ч, %						
	Режим термообработки						
	20° С 48 ч	20° С 30 су- ток	60° С 10 ч	80° С 6—8 ч	100° С 8—10 ч	120° С 3 ч	140° С 10 ч
ЭД-5 (отвердитель ПЭПА)	20	15—17	0,86	0,11	0,01	0,01	—
К-115	8	5	2	0,8—0,5	0,6—0,4	0,4	—
К-153 (отвердитель СА)	10,5	6—7	2,5—2	2—1,5	2—1	1,5—1	—
К-156	8,5	5	0,2	0,2	0,15	0,1	—
К-139	15	8	2	2,5—2	2—1,5	2—1,0	—
К-160	—	—	—	—	2,5—3,5	2—3	—
К-168	10	7	2	1—0,8	0,8—0,6	0,4	—
К-293	15	8	3	1,2—0,8	0,8—0,4	0,4	—
ЭД-5 (отвердитель МА)	—	—	—	—	—	—	1—0,6
ЭД-5 (отвердитель 254)	—	—	—	—	—	1,2—0,8	—
ЭД-5 (отвердитель СА)	—	—	—	0,6	0,4	—	—
ЭД-5 (отвердитель 40АГ)	—	—	—	0,4	0,1	—	—
ЭД-5 (отвердитель 40АФ)	—	—	—	—	—	—	0,2

### ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭПОКСИДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Благодаря сочетанию в эпоксидных смолах и компаундах на их основе исключительных технологических свойств (способность отверждаться без давления, с незначительной усадкой, при невысоких температурах) с хорошими физико-механическими и диэлектрическими свойствами, устойчивостью к атмосферным воздействиям и многим агрессивным средам эти материалы являются универсальными.

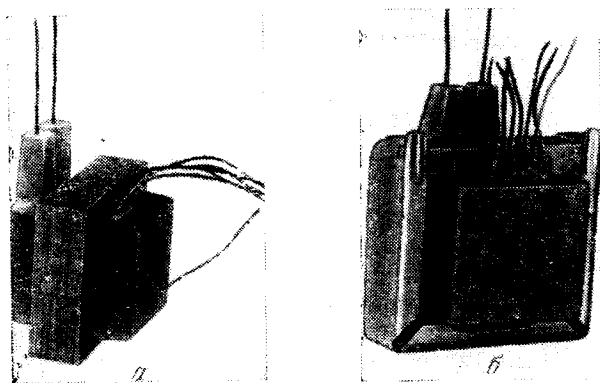


Рис. 16. Аподный трансформатор:  
а — без изоляционного слоя; б — залитый эпоксидным компаундом.

Эпоксидные смолы и компаунды применяются для влагозащиты и герметизации различной электроаппаратуры (рис. 16, 17), в качестве конструкционных клеев для склеивания металлов, керамики, стекла, резины и других материалов, как конструкционный материал в машиностроении, как связующее для стеклотекстолитов, в строительной технике, в качестве покрытий. С применением эпоксидных смол разработан ряд новых конструкций. Их внедрение дало возможность заменить цветные металлы (свинец), легированные стали, резко сократить производственный цикл, уменьшить габариты и вес изделий, повысить надежность конструкций и уменьшить трудоемкость процесса изготовления изделий.

1. Эпоксидные компаунды типа ЭЖ-5, К-54/6, К-156, К-153, К-115 находят широкое применение в машиностроении для изготовления различной инструментальной оснастки, вытяжных и формовочных штампов (рис. 18), деталей автомобильных кузовов, деталей самолетов мелкосерийного производства, контрольных приспособлений, литейных моделей, копиров и другой оснастки. Их применяют для восстановления изношенных деталей, заделки раз-

личных дефектов литья, раковин, для ремонта сельскохозяйственной техники, в транспортном машиностроении, в судостроении и других отраслях промышленности.

2. Компаунды К-168, К-293, К-201, К-115, К-153, К-156, К-126, Д-1, Д-40, Д-114, Д-88, Д-17, ЭЗК и другие широко применяются в радиоэлектронной, электротехнической, авиационной, судостроительной и добывающей промышленности.

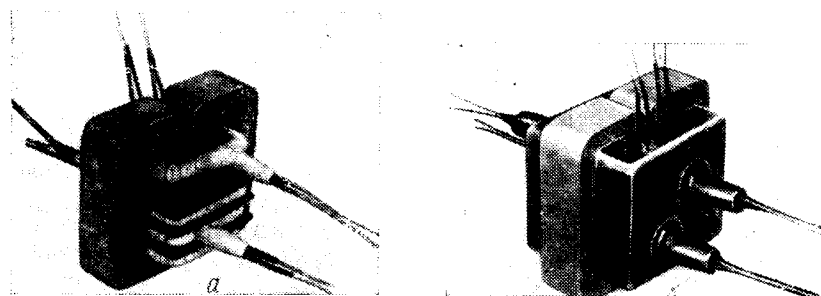


Рис. 17. Дроссель:  
а — негерметизированный; б — герметизированный компаундом.

3. Широко используется в качестве высокопрочного конструкционного клея эпоксидно-тиокольный компаунд К-153. Благодаря высокой когезионной прочности клеевой пленки и некоторому снижению внутренних напряжений за счет пластификации его тиокольным эластомером, этот клей обладает высоким коэффициентом запаса.

Эпоксидно-каучуковый компаунд К-139 применяют для склеивания неполярных и малополярных резин между собой и с металлом, в качестве органической основы токопроводящего клея «контактола» К-12.

4. Эпоксидно-полиэфирный компаунд ЭПЦ и эпоксидно-каучуковый К-139, К-147, К-134 применяются в строительстве для склеивания крупногабаритных асбоцементных конструкций, трехслойных панелей, пеностекла с асбоцементными панелями, для герметизации санитарных узлов, для изготовления полов, для наружной окраски зданий.

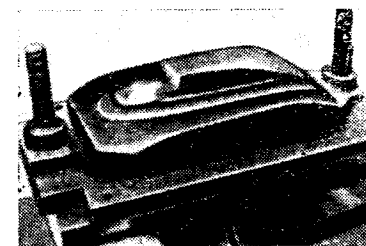


Рис. 18. Пуансон и прижим вытяжного штампа, изготовленные из эпоксидных смол.

5. Эпоксидные компаунды К-156 (КДА, ЭДТ-10), К-54/6, К-153, ЭДЦ, ЭДЦЭ 5/60, эпоксидно-фенольные и другие применяют в качестве связующих при изготовлении конструкционных теплостойких стеклопластиков и изделий из них.

6. Путем заливки эпоксидных смол в формы можно создавать скульптурные фигуры и архитектурные детали для украшения жилых помещений, домов культуры, площадей, парков и пр.

7. Из теплостойких эпоксидных композиций (ЭЦ, ЭДЦЭ 5/60, К-105) делают формы для литья изделий из термопластичных материалов.

8. Эпоксидные смолы ЭД-6, ЭД-П, отвержденные малеиновым ангидридом, являются оптически активными материалами и применяются для моделирования и исследования нагруженного состояния различных конструкций и сооружений.

9. Из эпоксидных смол ЭД-6, ЭД-П и Э-41 получают газонаполненные материалы — пеноэпоксиды. Пеноэпоксиды применяются для теплоизоляции, в качестве изоляции низковольтных элементов радиотехнических и электронных устройств\*.

#### Стеклопластики на основе эпоксидных связующих

Высокие показатели физико-механических и диэлектрических свойств, хорошая адгезия отвержденных эпоксидных смол, хорошая смачивающая способность, малая усадка при отверждении, возможность варьировать свойства путем модификации — все это позволяет получать с применением эпоксидных смол в качестве связующих высокопрочные конструкционные и электроизоляционные стеклопластики и крупногабаритные намоточные изделия.

Стеклопластики могут быть изготовлены по так называемому «мокрому способу» — с применением связующих, не содержащих растворителей, и по «сухому способу» — с использованием лаковых связующих, содержащих растворитель.

1. Мокрый способ формования осуществляется с применением смол ЭД-5, ЭД-6, ЭА, ЭДЦ, модифицированных активными разбавителями (компаунды К-156, К-153, ЭДЦЭ 5/60) и др. В этом случае связующее наносится на ткань непосредственно перед прессованием. Стеклопластики могут быть изготовлены контактным, вакуумным и компрессионным формованием.

В зависимости от примененных отвердителей и требований к изделию отверждение может производиться при температуре 20—220°С.

2. Сухой способ изготовления стеклопластиков осуществляется с применением связующих, содержащих растворитель. К эпоксид-

\* Подробнее о пеноэпоксиде см. гл. «Вспененные пластмассы».

ной смоле с отвердителем (малеиновый ангидрид, триэтаноламинотитанат, *m*-фенилендиамин, дициандиамид) для доведения до нужной вязкости добавляют растворитель (ацетон, спирто-ацетоновую смесь, толуол) в количестве 15—25%.

Чаще всего для изготовления стеклопластиков по сухому способу применяют лаки на основе совмещенных смол: лак ЭДФ, ЭДП-2 и др. В этом случае отверждение может происходить при взаимодействии эпоксидных смол (ЭД-5, ЭД-6, ЭД-Л, ЭЦ, ЭН-6, ЭА, ЭТФ) с фенольными, анилиновыми, резорциновыми, карбамидными, фурфурольными, метилолполиамидными и другими смолами.

Реакция между функциональными группами этих смол, приводящая к отверждению, протекает, как правило, при 140—200°С. Для ускорения процесса отверждения иногда применяют ускорители (диметиланилин, уротропин, дициандиамид).

Эпоксидные смолы совмещаются с 40—60%-ными растворами перечисленных смол, образуя устойчивые спирто-ацетоновые, толуольные и ацетоновые растворы — 25—60%-ные лаки. Лаки сохраняют свои свойства в течение 1—6 месяцев.

Соотношения смол, в пересчете на сухие вещества, широко варьируются. Чаще всего применяют отношения 50:50 и 70:30 (эпоксидной смолы к совмещаемой смоле).

Эпоксидные лаки применяют главным образом как связующие для получения конструкционных теплостойких электроизоляционных стеклопластиков по так называемому сухому способу, как антикоррозионные покрытия. Свойства некоторых лаков приведены ниже.

**Лак ЭДФ (ВТУ № П-148—59).** Спирто-ацетоновый раствор смолы ЭД-6, совмещенный с резольной феноло-формальдегидной смолой (бакелитовый лак марки А и Б). Применяется для производства стеклопластиков. Смола должна удовлетворять следующим требованиям:

Содержание сухого остатка, % . . . . .	50—70
Вязкость по вискозиметру Форда—Энглера (сопло № 2), сек . . . . .	2—4,5
Скорость отверждения, мин	
при 150°С . . . . .	2—7
» 170°С . . . . .	1,5—2,5

**Лак ПЭМ-2 (ВТУ № П-170—59).** Спирто-ацетоновый раствор привитого сополимера на основе метилолполиамидной и эпоксидной смол. Применяется как связующее для получения слонстых пластиков и волокнистых материалов на основе стеклянного, капронового, асбестового волокон и других наполнителей и как клей для склеивания стали, алюминия и других материалов. К смоле

ПЭМ-2 предъявляются следующие требования:

Внешний вид . . . . .	Прозрачный или полупрозрачный раствор, не содержащий посторонних включений и нерастворившихся частиц смолы, от светло-коричневого до темно-коричневого цвета
Содержание сухого остатка, % . . . . .	28±2
Скорость отверждения при 160° С, сек, не более . . . . .	60
Гарантийный срок хранения со дня изготовления (в герметичной таре в закрытом складском помещении при 18—25° С), месяцы . . . . .	2

**Лак ЭДП-2 (ВТУ № П-226—61).** Спирто-ацетоновый раствор блоксополимера на основе эпоксидной, полиамидной и диметилрезорциновой смол. Применяется для производства стеклопластиков. Должен удовлетворять следующим требованиям:

Содержание сухого остатка, % . . . . .	30—55
Вязкость по ВЗ-1 (сопло 5,4 мм), сек . . . . .	Не более 45
Скорость отверждения при 150° С, мин . . . . .	2—5

**Лак № 512 (ВТУ № П-209—60).** Спирто-ацетоновый раствор смолы ЭД-5 с неволачной диметилрезорциновой смолой ДМ-12. Применяется главным образом для изготовления стеклопластиков. Должен удовлетворять следующим требованиям:

Содержание сухого остатка, % . . . . .	45—60
Вязкость по ВЗ-1 (сопло 5,4 мм), сек . . . . .	2—4
Скорость отверждения при 150° С, мин . . . . .	2—5

**Эпоксирезольный лак ЭР-1-130 (ТУ № ИЛ-9Л-130).** Спирто-толуольный раствор смолы ЭД-6, бакелитового лака марки А и дициандиамида. Должен удовлетворять следующим требованиям:

Содержание сухого остатка, % . . . . .	48
Вязкость по ВЗ-4 при 20° С, сек, не более . . . . .	20
Скорость отверждения при 160° С, сек . . . . .	100—150

С применением лака ЭР-1-130 и бесщелочной стеклоткани разработан прессматериал СТЭФ-1-130.

Процесс изготовления стеклопластиков по сухому способу состоит из нескольких стадий:

1. Пропитка стеклоткани (в пропиточной машине).
2. Сушка стеклоткани.
3. Прессование изделий.

Изделия по этому способу прессуют обычно при давлении 10—100 кг/см<sup>2</sup>. Температура прессования зависит от рецептуры связующего. Прочность стеклопластиков возрастает при термообработке.

Стеклопластики с повышенной теплостойкостью, рекомендуемые для работы при 200—250° С, получают при применении в качестве связующих смол ЭТФ, ЭДЦ, ЭЦ, ЭН-6.

#### Свойства стеклопластиков на основе совмещенных смол

Связующее	Характеристика связующего	Свойства стеклопластика		
		плотность г/см <sup>3</sup>	предел прочности при растяжении кг/см <sup>2</sup>	предел прочности при изгибе кг/см <sup>2</sup>
Эпоксидно-фенольный лак ЭДФ	Спирто-ацетоновый раствор 40—50%-ный	1,75	3000—4000	3500—4500
Эпоксидно-резорциновый лак 512	Ацетоновый раствор 50%-ный	1,8	4000—5000	4000—5000
Эпоксидно-резорцино-полиамидный лак ЭДП-2	Спирто-ацетоновый раствор 30—35%-ный	1,75	3500—4000	3500—4000
Полиамидно-эпоксидный лак ПЭМ-2	Спирто-ацетоновый раствор 25—30%-ный	1,75	3000—3500	3500—4000

Примечания: 1) Наполнитель — стеклоткань АСТТ (6) 16/13.  
2) Содержание смолы 30±2%.  
3) Режим прессования:

Температура, °С . . . . .	150±5
Давление, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	50
Продолжительность выдержки, мин . . . . .	15
Температура термообработки, °С . . . . .	180—200

Стеклопластики электроизоляционного назначения выпускают на основе эпоксидно-фенольного связующего и стеклошпона (СВАМ-3Ф-1Ф, СВАМ-3Ф-2Ф, СШЭФ, СШ-ЭН, СТЭФ) и эпоксидно-кремнийорганического связующего СКТ-41/ЭП.

Электроизоляционные стеклопластики предназначены для изготовления печатных плат, электроизоляции электромашин. Некоторые свойства электроизоляционных стеклопластиков (марок СТЭФ и СКТ-41/ЭП) приведены ниже:

	СТЭФ	СКТ-41/ЭП
Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,6	1,6
Предел прочности при растяжении, кг/см <sup>2</sup>		
по основе . . . . .	3000	1800
» утку . . . . .	1500	1200
Удельная ударная вязкость перпендикулярно слоям, кг·см/см <sup>2</sup> . . . . .	150	75
Удельное объемное электрическое сопротивление, ом·см, не менее		
при 20° С . . . . .	1·10 <sup>13</sup>	1·10 <sup>13</sup>
» 180° С . . . . .	—	1·10 <sup>10</sup>
после выдержки в течение 24 ч при 20+5° С и влажности 95±3% . . . . .	1·10 <sup>13</sup>	1·10 <sup>11</sup>

Ниже приведены показатели прочностных свойств стеклопластиков на эпоксидных связующих, полученных «мокрым» способом:

Связующее	Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>	
	при изгибе	при растяжении
К-54-6 . . . . .	4500	4000
К-156 . . . . .	6000	5500
К-153 . . . . .	5000—6000	4500—5500

Примечание. Прессование проводили при давлении 10 кг/см<sup>2</sup>.

Данные о прочности стеклопластиков с теплостойкими связующими приведены ниже:

Связующее	Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>		
	при изгибе		при растяжении
	при 20° С	при 250° С после 100 ч прогрева	
Смола ЭН-6 . . . . .	6500	3700	5200
Смола ЭТФ . . . . .	6300	4000	—
Смола ЭДЦ . . . . .	6000	4200	5500
Лак ЭДФ* . . . . .	5500	800	—
Компаунд К-54/6* . . . . .	5800	1200	4000

\* Приведены для сравнения.

Зависимость свойств стеклопластиков от условий переработки представлена ниже:

#### Зависимость свойств стеклопластиков от условий переработки

Марка связующего	Условия формования	Плотность г/см <sup>3</sup>	Предел прочности при изгибе кг/см <sup>2</sup>	Предел прочности при растяжении кг/см <sup>2</sup>
Эпоксидно-полиэфирное связующее К-54/6 (отвердитель ПЭПА) . . . . .	Контактное	1,4	3200	2400
	Вакуумное	1,55	4000	3500
	Компресссионное (P = 110 кг/см <sup>2</sup> )	1,75	4500	4500

Примечания: 1) Пропитка мокрым способом, стеклоткань АСТТ (б) 16/3. 2) Термообработка во всех случаях при 100° С в течение 6 ч.

#### ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ С ЭПОКСИДНЫМИ СМОЛАМИ И КОМПАУНДАМИ

Эпоксидные смолы способны вызывать заболевания кожи (дерматит, экзема) при непосредственном соприкосновении со смолой или ее отвердителями, а также при действии их паров. Предельно допустимая концентрация паров эпоксидной смолы устанавливается такая, чтобы содержание эпихлоргидрина в воздухе рабочего помещения составляло не более 0,001 мг/л. Пыль, возникающая при механической обработке изделий из эпоксидных смол, способна вызывать раздражение слизистой оболочки глаз, кожи лица и рук. Отвержденные эпоксидные смолы и изделия из них не токсичны.

При работе с эпоксидными смолами и компаундами необходимо соблюдать следующие меры предосторожности:

1. Все работы с эпоксидными смолами и компаундами следует проводить в хорошо вентилируемых помещениях, оборудованных приточно-вытяжной вентиляцией. Работы по разогреву смолы и компаундов, расплавление отвердителей, смешение с отвердителем следует производить в вытяжных шкафах.

2. Работа должна производиться в халатах, во избежание попадания смолы на кожу рук — в резиновых или поливинилхлоридных перчатках. Для тонкого манипулирования можно ограничиться мягкими кожаными наперстками или полуперчатками. Рекомендуется применять защитные пасты, мази, кремы (типа мази Селисского, ХИОТ-6, паста миколан и ИЭР-1, биологические или невидимые перчатки, силиконовый крем и др.). В случае попадания смолы, компаунда, отвердителя или их смеси на кожу загрязненное место следует немедленно очистить сухим ватным тампоном, после чего обработать горячей водой с мылом.

3. Рабочее место следует покрыть плотной бумагой или пленкой, небольшие порции компаунда с отвердителем замешивать в картонных стаканчиках. После окончания работы загрязненную бумагу, стаканчики следует выбрасывать в металлические баки с крышками. В конце дня баки должны очищаться.

4. В рабочем помещении не рекомендуется хранить большие количества смолы, компаундов и отвердителей. Хранение их должно производиться в плотно закрывающейся таре под тягой.

5. Все работы по заливке, склейке, пропитке, механической обработке отвержденных изделий следует производить под тягой или на рабочих местах, оборудованных местной вытяжной вентиляцией.

6. Термообработка изделий и сушка пропитанных тканей должны производиться в плотно закрывающихся шкафах, расположенных под тягой или подсоединенных к вентиляционной системе.

7. По окончании работы руки и лицо следует вымыть теплой водой с мылом, затем смазать их мягкой жирной мазью на основе ланолина. Работа со смолами требует большой аккуратности, частого мытья рук и лица. После работы с большими количествами эпоксидных смол рекомендуется принимать горячий душ.

8. В рабочих помещениях запрещается курить и принимать пищу.

Для защиты кожи лица применяют силиконовый крем (его наносят на тщательно очищенную кожу). Для защиты кожных покровов от воздействия смол, компаундов и входящих в их состав компонентов рекомендуются указанные ниже защитные пасты:

I. Казеин	— 100 вес. ч.	II. Казеин	— 300 г
Аммиак (25 %-ный раствор)	— 600 вес. ч.	Аммиак (25 %-ный раствор)	— 10 г
Мыло	— 100 вес. ч.	Глицерин	— 300 г
Вазелин	— 50 вес. ч.	Спирт этиловый (90 %-ный)	— 850 г
Вода	— 500 вес. ч.	Вода	— 850 г
III. Паста проф. Селиского, вес. ч.:		IV. Паста типа „невидимые перчатки“, вес. ч.:	
Желатина техн.	— 1,9	Метилцеллюлоза	— 4
Тальк	— 21,1	Глицерин	— 11,7
Крахмал	— 14,1	Каолин	— 7,8
Глицерин	— 14,1	Тальк молотый	— 7,8
Растительное масло	— 9,4	Вода	— 68,7
Бензойная или борная кислота	— 1,9		
Вода	— 37,5		

Приготовленную пасту наносят на кожу рук (по локоть), выдерживают несколько минут до высыхания, после чего на коже образуется защитная пленка. После окончания работ ее смывают водой.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев А. Ф. Синтетические полимеры и пластические массы на их основе, Изд. «Химия», 1964.
2. Пакен А. М., Эпоксидные соединения и эпоксидные смолы, Изд. «Химия», 1962.
3. Черняк К. И., Эпоксидные компаунды и их применение, Госхимиздат, 1965.
4. Гвирц Э. М. и др., Диановые смолы, ЛНТП, 1965.
5. Омельченко С. И., Эпоксидные смолы, Госиздат, УССР, 1962.
6. Сб. «Неметаллические материалы», Машгиз, 1962.
7. Скрылова Л. В., Ленинградская промышленность, № 2 (1958).
8. Бляхман Е. М., Скрылова Л. В., Позамантир А. Г., Розентулер Ш. М., Эпоксидные смолы на основе многоатомных спиртов и их применение, ЛДНТП, 1965.
9. Сб. «Новое в области синтеза, отверждения и исследования эпоксидных смол», ЛДНТП, 1967.
10. Хрусталева Е. Н., Голубенко М. А., Пласт. массы, № 10, 8 (1965).
11. Остер-Волков Н. Н. и др., Пласт. массы, № 9, 52 (1963).

12. Парабузина И. Л., Соколов Н. Н., Пласт. массы, № 2, 69—71 (1963).
13. Николаев А. Ф., Пласт. массы, № 4, 76—79 (1965).
14. Акутин М. С., Дерковская И. Л., Пуховицкая А. Н., Пласт. массы, № 1, 17 (1964).
15. Ахметет Л. С. и др., Пласт. массы, № 3, 37 (1963).
16. Власова К. Н., Доброхотова М. Л., Акутин М. С., Емельянова Л. И., Пласт. массы, № 2, 17 (1961).
17. Валгин В. Д. и др., Пласт. массы № 4, 26 (1967).
18. Стеклопластики, перев. с англ., Издательство, 1961.
19. Власова К. Н., Доброхотова М. И., Акутин М. С., Пласт. массы № 7, 57 (1965).
20. Киселева Б. А., Грибова А. М., Пласт. массы, № 5, 15 (1962).
21. Дубицкас В. Ю., Склеивание узлов эпоксидными и другими компаундами; Богуславская Ф. М., Изготовление и результаты эксплуатации пластмассовых штампов из упрочненных композиций; Пилипенко Д. А., Применение эпоксидных смол для изготовления прессформ для литья под давлением термопластов, Производство и переработка пластмасс, № 2, 43, 45; 52 (1967).
22. Фришберг Н. С., Применение эпоксидных смол, ЦБТИ НИИ электропромышленности, № 2, 1958.
23. Камнев В. В., Пласт. массы, № 3, 39 (1961).
24. Черняк К. И., сб. «Неметаллические материалы в судовой и радиотехнической аппаратуре», Судпромгиз, 1963.
25. Сб. «Изготовление строительных конструкций на основе пластмасс», под ред. Ковальчука Л. М. и Фрейдина А. С., Стройиздат, 1966.
26. Гуртовин И. Г., Применение эпоксидных смол для технологической оснастки, «За технический прогресс», № 1, ЦБТИ СНХ, Горький, 1959.
27. Дубасов А. А., Оснастка из пластмасс в машиностроении, Профтехиздат, 1961.
28. Расширение возможностей применения пластмасс в конструкциях машин, Машгиз, 1959.
29. Барштейн Р. С., Пласт. массы, № 6, 34 (1961).
30. Бельдягин Г. И., Применение пластмасс в ремонтном деле, Изд. «Машиностроение», 1967.
31. Харпер, Заливка электронного оборудования синтетическими смолами, Изд. «Энергия», 1964.
32. Щеголевская К. А., Соколов С. И., Пласт. массы, № 8, 30 (1961).
33. Антонов С. Н., Гурман И. М. и др., Пласт. массы, № 4, 38 (1966).
34. Кардашов Д. А. и др. Эпоксидные смолы и техника безопасности при работе с ними, Изд. «Машиностроение», 1964.
35. Нейман И. М. и др., Средства индивидуальной защиты на производстве, Профтехиздат, 1954, стр. 196.
36. Полонский З. Б., Защитные пасты для предохранения кожного покрова от воздействия некоторых веществ в производственных условиях, Профтехиздат, 1950.
37. Санитарные правила при работе с эпоксидными смолами, Минздрав СССР, 1960, стр. 348.
38. Кардашов Д. А., Синтетические клеи, Изд. «Химия», 1968.
39. Молотков Р. В., Баталин О. Е., Ханукова Э. С., Рабкина А. Э., Жидкие малотоксичные отвердители для отверждения эпоксидных смол, ЛДНТП, 1965.
40. Молотков Р. В., Пласт. массы, № 11 (1960).
41. Сорокин М. Ф., Ангарская Э. Я., Лелюшко К. Я., Лакокрасочные материалы и их применение, № 2, 1963.
42. Суворовская Н. А., Тюрин Б. Ф., Зюзин Ю. Д., Назарова Ю. Т., Лакокрасочные материалы и их применение, № 5 (1962).



43. Новые эпоксидные и лаковые эпоксидно-диановые смолы, ЛДНТП, 1966.
44. Состояние и перспективы производства и применения эпоксидных смол и материалов на их основе. Части 1 и 2. ЛДНТП, 1969.
45. Молотков Р. В., Левицкая О. М. и др., Прессовочные литевые материалы, изготовление и переработка, МДНТП им. Дзержинского, стр. 30, 1968.
46. Митрошичев Н. В., Техническая информация. НИИТЭХИМ, № 1, 1967.
47. Голубенкова Л. И. и др., Пласт. массы, № 1 (1967).
48. Будяк Н. Ф., Зильберштейн Ф. С., Пласт. массы, № 5 (1969).
49. Савельева А. Д., Жарков В. В., Пласт. массы, № 6 (1969).
50. Николаев А. Ф., Тризно М. С. и др., Пласт. массы, № 8 (1969).
51. Хозан В. Г., Воскресенский и др., Пласт. массы, № 6 (1959).
52. Пахомов В. И., Баженова и др., Пласт. массы, № 5 (1969).
53. Бахарева В. Е., Конторовская И. А., Петровская А. В., Эпоксидные стеклопластики в судовом машиностроении, ЛДНТП, 1968.
54. Холодовская Р. С., Гостева О. К. и др., Пласт. массы, № 1 (1962).
55. Акутин М. С., Горбунов В. Н., Нагибина А. Г., Пласт. массы, № 10 (1960).
56. Акутин М. С., Гурман И. М., Дерковская И. Л. и др., Производство и переработка пластмасс, синтетических смол и стеклянных волокон, НИИТЭХИМ, № 9 (1967).

## КРЕМНИЙ ОРГАНИЧЕСКИЕ ПЛАСТМАССЫ

**К**ремнийорганические пластмассы представляют собой композиции на основе термореактивных кремнийорганических олигомеров (смол) и различных наполнителей: порошкообразных, волокнистых, тканевых и т. д. Исключение составляют литые смолы, которые могут не содержать наполнителя, пенопласты, в которых наполнителем является газ, и, наконец, появившиеся в последнее время пленочные материалы, сохраняющие в конечной стадии переработки растворимость (аналогично термопластичным полимерам), хотя и неплавкие вплоть до температуры разложения. Наиболее важными классами кремнийорганических пластмасс являются прессматериалы и стеклотекстолиты.

Благодаря высокой термостойкости кремнийорганических полимеров, кремнийорганические пластмассы отличаются высокой деформационной теплостойкостью и устойчивостью к термической и термоокислительной деструкции и способны длительно (сотни и тысячи часов) работать при 300—400°С и кратковременно выдерживать воздействие значительно более высоких температур. Они хорошо работают также при низких температурах (—60°С и ниже), обладают удовлетворительной водостойкостью, устойчивы к действию многих растворителей, различных химических агентов, топлив и масел. Кремнийорганические пластмассы имеют хорошие диэлектрические свойства в широком температурном интервале и при высокой влажности (в том числе в условиях тропического климата). Дугостойкость некоторых марок кремнийорганических пластмасс совершенно уникальна. Их механические показатели несколько ниже средних для термореактивных пластмасс.

Кремнийорганические пластмассы могут перерабатываться обычными методами, применяемыми для термореактивных пластмасс, на стандартном оборудовании и с оснасткой обычного типа. Для них, однако, характерны несколько более длительные циклы прессования, чем для быстропрессующихся термореактивных пластмасс; кроме того, в ряде случаев необходима дополнительная термообработка после распрессовки изделия. Это обстоятельство, так же как и относительно высокая цена кремнийорганических пластмасс, делает их неконкурентноспособными в тех случаях, когда их можно заменить более дешевыми и быстроперераба-

тивасмыми органическими пластмассами — фенопластами, материалами на основе диаллифталата и др. Однако в ряде случаев они незаменимы.

Терморезистивные кремнийорганические смолы, применяемые в качестве связующих в кремнийорганических пластмассах, получают обычно гидролитической поликонденсацией органохлорсиланов  $R_nSiCl_{4-n}$ , где R — органический радикал, например, метил, фенил и т. п., а  $n = 1$  или 2.

Наибольшее распространение в качестве связующих для пластмасс получили кремнийорганические смолы на основе метил- и фенилхлорсиланов. Метилсилоксановые смолы с соотношением R/Si, близким к 1, дают быстроотверждающиеся пластмассы с очень высокой дугостойкостью. Смолы с более высоким соотношением R/Si и содержащие преимущественно фенильные радикалы более пригодны для слоистых пластиков, где требование высокой скорости отверждения менее существенно, но желательны большая эластичность связующего и стабильность показателей. Введение наряду с метильными и фенильными некоторого количества винильных радикалов приводит к получению смол, способных отверждаться за счет раскрытия двойных связей, например под действием перекисных инициаторов. По технологическим свойствам такие смолы несколько напоминают ненасыщенные полиэфирные смолы, но превосходят их по термостойкости.

В качестве связующих иногда применяют модифицированные кремнийорганические смолы. Они превосходят чисто кремнийорганические смолы по технологическим, механическим и адгезионным свойствам и обходятся дешевле, но уступают им по термостойкости. Общий метод получения модифицированных кремнийорганических смол состоит в совместной конденсации низкомолекулярных кремнийорганических смол, содержащих большое количество силанольных и эфирных групп, с органическими смолами, содержащими спиртовые или фенольные гидроксилы. В результате реакций этерификации и переэтерификации образуется однородный продукт — модифицированная смола.

Кислоты и щелочи ускоряют переход кремнийорганических смол в неплавкое и нерастворимое состояние. Однако применение свободных кислот и щелочей в качестве катализаторов отверждения в пластических массах по ряду причин нежелательно.

В литературе рекомендован ряд веществ в качестве катализаторов отверждения. К числу их относятся органические соли щелочных металлов, свинца, железа, кобальта, органотитанаты, амины, соединения бора, циркония, оловоорганические соединения, полиалюмоорганосилоксаны и т. д.

Для кремнийорганических пластмасс применяют те же наполнители, что и для других терморезистивных пластмасс: порошкообразные, волокнистые и тканевые. Поскольку, однако, основным

преимуществом кремнийорганических пластмасс является высокая термостойкость, целесообразно применять в них наполнители, не уступающие по термостойкости кремнийорганическому связующему. Поэтому в кремнийорганических пластмассах используются в качестве наполнителей кварцевую муку, маршалит, двуокись титана, тальк и другие минеральные порошкообразные наполнители, асбест, стеклянное, кремнеземное и кварцевое волокна и ткани на основе этих неорганических волокон.

Для придания кремнийорганическим пластмассам пужного цвета применяют минеральные пигменты. Красные, коричневые и черные тона получают с пигментами на основе окислов железа, желтые и оранжевые — с соединениями свинца и кадмия, зеленые — с окисью хрома и т. д. В качестве внутренней смазки в состав кремнийорганических прессматериалов вводят небольшое количество стеарата кальция или цинка.

Прессматериалы с порошкообразным минеральным наполнителем готовят суховальцевым методом. Этот метод экономичен, так как не связан с потерей растворителей, прост по аппаратурному оформлению, дает однородный по составу материал с хорошо воспроизводимыми свойствами, легко может быть осуществлен как непрерывный процесс. При работе по этому методу компоненты пресскомпозиции — смолу, наполнитель, катализатор, пигмент и смазку предварительно смешивают и затем вальцуют на горячих фрикционных вальцах. Температуру валков выбирают таким образом, чтобы материал доходил до готовности за 10—15 мин; разность температур «холодного» и «горячего» валка составляет 10—15° С. В ходе вальцевания образующийся лист материала многократно подрезают с краев и переворачивают на середину валков. Готовый материал легко сходит с валков и по охлаждению дробится и размалывается.

Суховальцевый метод мало пригоден для получения материалов с волокнистым наполнителем, в особенности с такими хрупкими волокнами, как стеклянное и кремнеземное. В этом случае более целесообразно использовать лаковый метод. Лак, представляющий собой 40—50%-ный раствор смолы в органическом растворителе, загружают в смеситель типа Вернера и при включенном приводе подают волокнистый наполнитель с таким расчетом, чтобы в смесителе не собиралось большого количества непропитанных волокон. По окончании загрузки продолжают перемешивание в течение 10—15 мин, равномерно подавая при этом специальным приспособлением все порошкообразные компоненты, нерастворимые в растворителе. По окончании пропитки материал выгружают, при необходимости раздирают на приспособлении типа «волчок» и сушат на конвейерной или какой-нибудь другой сушилке до получения материала с заданными текучестью и содержанием летучих.

Стеклоподобное или кремнеземное волокно подвергается наименьшему разрушению при пропитке по непрерывному методу. При этом волокно, сматываемое с многих бобин или шпудлей, объединяют в жгут или ленту и пропускают через пропиточную ванну с кремнийорганическим лаком, в котором суспендированы порошкообразные компоненты. Во избежание оседания лак в ванне непрерывно перемешивают. Пропитанное волокно пропускают через сушилку и нарезают на отрезки заданной длины. При нарезке на длину 20—30 мм обеспечивается максимальная механическая прочность отпрессованных изделий. При необходимости изготовления небольших, но сложных по форме изделий с металлической арматурой методом литьевого прессования применяют парезку на меньшую длину, например 6—10 и даже 3—5 мм. Жгут или лента после сушки могут также наматываться на бобины без нарезки, например для последующей переработки в трубы и другие изделия методом намотки.

Стеклоподобную, кремнеземную или асбестовую ткань пропитывают и подсушивают на стандартных пропиточных машинах и сматывают в рулоны. При размотке рулона ткань нарезают на нужную длину, укладывают в пакеты и прессуют на этажных прессах, получая слоистые пластики.

Переработка кремнийорганических пластмасс аналогична переработке других терморезистивных пластмасс, хотя и имеет некоторые специфические особенности. Получение кремнийорганических прессматериалов осуществляется обычно при температурах от 120—130 до 180—200°С, а в некоторых случаях даже до 250°С. Давление при прессовании в зависимости от сложности изделия и его формы, а также от типа прессматериала может колебаться в пределах от 200—300 до 500—700 кг/см<sup>2</sup>, выдержка обычно составляет 1—2 мин на 1 мм толщины изделия, хотя во многих случаях рекомендуется делать выдержку не менее 10—15 мин даже для тонкостенных изделий. Иногда рекомендуется делать 2—4 «подпрессовки». Очень хорошие результаты дает предварительный подогрев прессматериала в термостате, снабженном терморегулятором и вентилятором для циркуляции воздуха, например в течение 10 мин при 110°С. Распрессовка производится, как правило, при температуре прессования; лишь при изготовлении относительно крупных и массивных изделий иногда рекомендуется перед распрессовкой охладить прессформу на 50—100°С.

В большинстве случаев изделия после прессования подвергают дополнительной термообработке — нагреванию в термостате. В процессе термообработки происходит, во-первых, более глубокое отверждение кремнийорганических смол и, в частности, снижается содержание остаточных силанольных гидроксидов; во-вторых, вода, остатки растворителя и другие летучие продукты диффундируют из внутренних слоев изделия и удаляются. Во многих случаях

можно было бы обойтись и без термообработки, учитывая, что при эксплуатации изделия в условиях высоких температур такая термообработка все равно произойдет. Все же проводить специальную операцию термообработки целесообразно для получения изделий более стандартного качества и выявления скрытых дефектов, тем более, что этот процесс прост сам по себе и не требует сложного оборудования. В зависимости от типа прессматериала и изделия термообработка может проводиться по разным режимам, например 6 ч при 160°С или при ступенчатом подъеме температуры от 80 до 250°С в течение 48 ч с выдержкой на отдельных ступенях 2—6 ч.

#### КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИЕ ПРЕССМАТЕРИАЛЫ

Кремнийорганические прессматериалы представляют собой композиции на основе кремнийорганических терморезистивных связующих и порошкообразных или волокнистых неорганических наполнителей. Изделия из кремнийорганических прессматериалов получают прямым или литьевым прессованием. Основное назначение — детали электро- и радиотехнического назначения, работающие в широком температурном интервале (от —60 до +300—400°С длительно, до 2000—3000°С и выше — кратковременно). Кремнийорганические прессматериалы некоторых марок обладают исключительно высокой дугостойкостью. Большим преимуществом кремнийорганических прессматериалов перед другими терморезистивными полимерами является то, что даже при температурах, способных вызывать пиролиз связующего, они сохраняют еще относительно высокие показатели электроизоляционных свойств.

Поскольку многие свойства кремнийорганических прессматериалов в значительной степени определяются типом примененного наполнителя, мы рассмотрим их в дальнейшем по следующим группам: асбонаполненные кремнийорганические пластмассы, стеклонанполненные кремнийорганические пластмассы и кремнийорганические пластмассы, не содержащие длиноволокнистого наполнителя.

#### Асбонаполненные кремнийорганические пластмассы

Асбонаполненные кремнийорганические пластмассы выпускаются следующих марок: К-41-5\* (МФХ-41), КМК-218, КМК-218Л, К-71\*, МФК-20, КПЖ-9.

Прессматериал КМК-218 обладает наибольшей дугостойкостью из всех известных пластмасс (см. таблицу) и успешно применяется в ряде изделий, работающих в условиях мощных дуговых и искровых электрических разрядов.

\* Марки К-41-5 и К-71 в настоящее время используются в очень небольших объемах главным образом из-за худших технологических свойств по сравнению с другими марками.

Физико-механические и диэлектрические свойства асбонаполненных кремнийорганических пластмасс

Показатели	КМК-218	КМК-218Л	КПЖ-9	К-41-5	К-71	МФК-20
Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,8—2,0	1,8—2,0	1,8—2,0	1,8—2,0	1,8—2,0	1,7—1,9
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	100—150	100—150	150—180	150—180	—	—
при растяжении . . . . .	1100—1400	1100—1400	1100—1400	1100—1400	—	1200
» сжатия . . . . .	300—500	300—500	400—700	400—700	250—200	400—700
» изгибе . . . . .	—	94300	92000	—	—	—
Модуль упругости, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	—	0,15	0,37	—	—	—
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	4,5—7,0	8—10	15—30	18—25	4,5—6,0	5—7
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> . . . . .	25—28	25	25—30	20	20	20—25
Твердость по Бринеллю, кг/мм <sup>2</sup> . . . . .	300	300	300	300	250	150
Теплостойкость по Маргенсу, °С . . . . .	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,1—0,2
Водопоглощение, % . . . . .	10 <sup>9</sup> —10 <sup>10</sup>	10 <sup>9</sup> —10 <sup>11</sup>	10 <sup>9</sup> —10 <sup>10</sup>	10 <sup>9</sup> —10 <sup>11</sup>	10 <sup>9</sup> —10 <sup>11</sup>	10 <sup>10</sup> —10 <sup>11</sup>
Удельное электрическое сопротивление	10 <sup>9</sup> —10 <sup>11</sup>	10 <sup>8</sup> —10 <sup>11</sup>	10 <sup>9</sup> —10 <sup>11</sup>	10 <sup>9</sup> —10 <sup>11</sup>	10 <sup>9</sup> —10 <sup>11</sup>	10 <sup>10</sup> —10 <sup>11</sup>
объемное, ом·см . . . . .	—	—	—	—	—	—
поверхностное, ом . . . . .	0,2—0,3	0,2—0,3	0,2—0,3	0,2—0,3	0,2—0,3	—
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 <sup>6</sup> гц . . . . .	5—7	5—7	5—7	5—7	5—7	—
Диэлектрическая проницаемость . . . . .	5—6	5—7	5—7	5—7	5—7	—
Электрическая прочность, кв/мм . . . . .	300—350	300—350	350—400	250—300	250—300	3,5
Верхний предел рабочих температур, °С . . . . .	—	—	—	—	—	200

Дугостойкость асбонаполненных кремнийорганических пластмасс

Показатели	КМК-218	К-41-5	МФК-20	К-71
Дугостойкость по нормам МЭН-618—46 (при 10 ма), сек . . . . .	300	180	180	180
Стойкость к сильноточным поверхностным разрядам по методике МАКНИИ, циклы . . . . .	22	1	14	—
Стойкость к мощной дуге по методике МАКНИИ, циклы . . . . .	10	1	3	—

Материал КМК-218Л отличается от КМК-218 тем, что получается не суховальцовым методом, а лаковым. В связи с этим он имеет несколько меньшую дугостойкость, но лучшие технологические и механические свойства.

В качестве связующего в прессматериале МФК-20 использованы мочевино-меламино-формальдегидная смола, модифицированная кремнийорганической смолой, в связи с чем этот прессматериал обладает меньшей тепло- и дугостойкостью, но стоит дешевле.

Для марки КПЖ-9 в качестве наполнителя используется длиноволокнистый высококачественный асбест, который применяют в наиболее ответственных изделиях.

Основные показатели асбонаполненных кремнийорганических прессматериалов приведены в таблице на стр. 132.

Кроме перечисленных выше областей применения асбонаполненных кремнийорганических пластмасс они используются для изоляции коллекторов машин постоянного тока, различных электроизоляционных деталей, подвергающихся в процессе эксплуатации постоянному воздействию температур до 300—350, а кратковременно — до 600—700°С и выше и т. д. Некоторые технологические свойства и режимы переработки асбонаполненных кремнийорганических пластмасс приведены ниже.

Технологические свойства и режимы переработки асбонаполненных кремнийорганических пластмасс

Показатели	КМК-218	КМК-218Л	КПЖ-9	К-41-5	К-71	МФК-20
Свойства						
Формуемость						
прессуемость . . . . .	Удовлетворительная	Хорошая	Хорошая	Хорошая	Удовлетворительная	Хорошая
текучность по Рашингу, мм . . . . .	90—120	90—150	90—150	100—150	90—150	80—140
Степень сжатия . . . . .	3—5	3—5	3—5	3—5	3—5	3—5
Таблетуемость . . . . .	—	Хорошая	Хорошая	Хорошая	Хорошая	Хорошая

## Продукция

Показатели	КМК-218	КМК-218Л	КПЖ-9	К-115	К-71	МКК-21
<b>Режим переработки</b>						
<b>Предварительный подогрев</b>						
температура, °С	—	105—115	105—115	—	—	—
продолжительность, мин	—	5—10	5—10	—	—	—
<b>Прессование</b>						
температура, °С	150±5	150±5	150±5	110—180	160—170	150—170
давление, кг/см <sup>2</sup>	300—400	300—500	300—500	300—500	300—500	300—500
продолжительность выдержки, мин/мм	1—1,5	1—1,5	1—1,5	1,5—2	1,5—2	1—1,5
<b>Термообработка</b>						
температура, °С	160	160	160	200	200	160
продолжительность, ч	5	5	5	20	20	6
<b>Усадка после прессования, %</b>	0,5—1,0	0,5—1,0	0,5—1,0	0,5—1,0	0,5—1,0	0,5—1,0
<b>Содержание летучих, %</b>	2—2,5	2—3,5	2—3,5	2—3,5	2—3,5	2—3,5

**Прессматериал КМК-218 (ТУ 35-ХП-371—61).** Представляет собой композицию на основе кремнийорганической смолы с минеральными наполнителями (асбест и молотый кварц). Выпускается двух марок: КМК-218 (суховальцевой) — предназначается для изготовления горячим прессованием деталей, отличающихся высокой дугостойкостью; КМК-218Л (лаковый) — предназначается для изготовления горячим прессованием деталей электронизоляционного назначения, работающих при высоких температурах:

	КМК-218	КМК-218Л
Внешний вид	Пластинки серого цвета	Куски неопределенной формы
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,8—2,0	1,7—2,0
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup>	≥ 4,5	≥ 6
Предел прочности при статическом изгибе, кг/см <sup>2</sup>	≥ 300	≥ 300
Содержание летучих, %	≤ 2	2—4
Усадка, %	0,3—0,9	0,3—0,7
Теплостойкость по Мартенсу, °С	≥ 250	≥ 250
Текущность по Рашигу, мм	≥ 70	≥ 90

	КМК-218	КМК-218Л
<b>Удельное электрическое сопротивление</b>		
объемное, ом·см	≥ 1·10 <sup>10</sup>	≥ 1·10 <sup>10</sup>
поверхностное, ом	≥ 1·10 <sup>10</sup>	≥ 1·10 <sup>10</sup>
<b>Удельное внутреннее электрическое сопротивление после пребывания в воде в течение 24 ч, ом</b>	≥ 1·10 <sup>7</sup>	≥ 1·10 <sup>7</sup>
<b>Электрическая прочность, кв/мм</b>	≥ 5	≥ 3
<b>Тангенс угла диэлектрических потерь при 10<sup>5</sup> гц</b>	≤ 0,3	≤ 0,3
<b>Диэлектрическая проницаемость при 10<sup>5</sup> гц</b>	4,5—6,0	4,5—7,0
<b>Дугостойкость при 60 ма, сек</b>	≥ 180	≥ 180

**Прессматериал КПЖ-9 (МРТУ 6-05-1053—67).** Представляет собой композицию из асбеста, кремнийорганической смолы и добавок. Предназначен для изготовления деталей электронизоляционного назначения, работающих при повышенных температурах. Основные требования, предъявляемые к прессматериалу по МРТУ, приведены ниже:

Внешний вид	Куски желтого цвета с ясно выраженной волокнистой структурой
Внешний вид отпрессованного образца	Имеет гладкую поверхность желтого цвета с видимой волокнистой структурой
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,7—2,0
Предел прочности при статическом изгибе, кг/см <sup>2</sup>	≥ 400
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup>	≥ 15
Усадка, %	≤ 0,8
Теплостойкость по Мартенсу, °С	≥ 250
Текущность по Рашигу, мм	≥ 70
<b>Удельное электрическое сопротивление</b>	
объемное, ом·см	≥ 1·10 <sup>10</sup>
поверхностное, ом	≥ 1·10 <sup>10</sup>
<b>Тангенс угла диэлектрических потерь при 10<sup>5</sup> гц</b>	≤ 0,3
<b>Диэлектрическая проницаемость при 10<sup>5</sup> гц</b>	4,5—7,0
<b>Электрическая прочность, кв/мм</b>	≥ 2,5

**Стеклонаполненные кремнийорганические прессматериалы**

Асбест как наполнитель обеспечивает достаточно высокую термостойкость кремнийорганических прессматериалов. С целью улучшения механических и диэлектрических свойств используют в качестве наполнителей также стеклянное, кремнеземное и кварцевое волокна.

Кремнеземное и кварцевое волокна благодаря очень высокой температуре плавления и высокой вязкости расплава повышают эрозионную устойчивость прессматериалов при высоких температурах.

турах и больших скоростях обдува. Поскольку все эти волокна в принципе могут иметь неограниченную длину, для приготовления на их основе прессматериалов применим наряду с обычным методом замески заранее нарезанного волокна в мешателе также непрерывный метод пропитки неразрезанного волокна в пропиточной ванне с последующей нарезкой на нужную длину после сушки.

Прессматериалы, полученные пропиткой непрерывного стекловолокна, обладают рядом преимуществ по сравнению с нарезанным волокном: они имеют более высокую механическую прочность (так как волокно в процессе пропитки не перетирается), в процессе сушки не слипаются и не комкуются и поэтому легче дозируются при переработке, могут перерабатываться литьевым прессованием и дают изделия более однородные по составу.

Кремнийорганические прессматериалы с высокими показателями физико-механических и диэлектрических свойств выпускаются на основе резаного стекловолокна (КМС-9) и кремнеземного волокна (ПК-9, РПП-170), а также на основе непрерывного стекловолокна (СВК-1КФ) и СВК-1МФ) и кремнеземного волокна (СВК-2КФ и СВК-2МФ).

Из названных прессматериалов могут быть изготовлены разнообразные изделия электро- и радиотехнического назначения, например корпуса микровыключателей, каркасы катушек, изоляторы штепсельных разъемов, каркасы проволочных сопротивлений и т. п.

**Прессматериал МАР-I (ТУ № П-360—66).** Представляет собой композицию из кремнийорганической смолы, кремнеземной нити и алюминиевой пудры. Применяется для прессования радиотехнических деталей. Основные свойства материала приведены ниже:

Внешний вид . . . . .	Куски серого цвета неопределенной формы
Плотность, $г/см^3$ . . . . .	1,65—1,75
Предел прочности при статическом изгибе, $кг/см^2$ . . . . .	$\geq 200$
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	$\geq 4$
Теплостойкость по Мартенсу, $^{\circ}C$ . . . . .	$\geq 300$
Текучесть по Рашигу, $мм$ . . . . .	$\geq 70$
Водопоглощение, % . . . . .	$\leq 0,45$
Содержание летучих, % . . . . .	2—4
Удельное электрическое сопротивление	
объемное, $ом \cdot см$ . . . . .	$\geq 10^8$
поверхностное, $ом$ . . . . .	$\geq 10^8$
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^5$ $гц$ . . . . .	$\leq 0,02$
Диэлектрическая проницаемость при $10^5$ $гц$ . . . . .	18—21

Прессование образцов осуществляется при 135—145 $^{\circ}C$  и давлении 300—350  $кг/см^2$ ; продолжительность выдержки 15 мин для

дисков и 20 мин для брусков, продолжительность термообработки 5 ч при 130—140 $^{\circ}C$ .

**Прессматериал ТП-110 (ТУ № П-361—66).** Представляет собой композицию из кремнийорганической смолы, кремнеземной нити и добавок. Выпускается двух марок: ТП-110р и ТП-110рМ. Применяется для изготовления прямым прессованием деталей радиотехнического назначения. Основные свойства материала приведены ниже:

	ТП-110р	ТП-110рМ
Внешний вид . . . . .	Куски неопределенной формы серо-зеленого или желто-зеленого цвета	
Плотность, $г/см^3$ . . . . .	1,6—1,75	1,65—1,75
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	$\geq 25$	$\geq 15$
Предел прочности при статическом изгибе, $кг/см^2$ . . . . .	$\geq 500$	$\geq 400$
Теплостойкость по Мартенсу, $^{\circ}C$ . . . . .	$\geq 300$	$\geq 300$
Текучесть по Рашигу, $мм$ . . . . .	$\geq 70$	$\geq 70$
Водопоглощение, % . . . . .	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$
Содержание летучих, % . . . . .	2—3	2—4
Удельное электрическое сопротивление		
объемное, $ом \cdot см$ . . . . .	$\geq 1 \cdot 10^{14}$	$\geq 1 \cdot 10^{14}$
поверхностное, $ом$ . . . . .	$\geq 1 \cdot 10^{14}$	$\geq 1 \cdot 10^{14}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^5$ $гц$ . . . . .	$\leq 0,02$	$\leq 0,038$
Диэлектрическая проницаемость при $10^5$ $гц$ . . . . .	$\leq 5$	$\leq 5$
Электрическая прочность, $кв/мм$ . . . . .	$\geq 3$	$\geq 3$
Усадка, % . . . . .	0,3—0,5	0,3—0,5

Образцы прессуют при 145—155 $^{\circ}C$  и давлении 300—500  $кг/см^2$ . Продолжительность выдержки 10 мин для дисков и 15 мин для брусков. Термообработка проводится в течение 10 ч при 135—145 $^{\circ}C$ .

**Прессматериал КМС-9 (МРТУ 6-05-1052—67).** Волокнистый прессматериал белого или светло-серого цвета. Предназначен для изготовления методом горячего прессования изделий, работающих при повышенных температурах. Основные свойства материала приведены ниже:

Предел прочности при статическом изгибе, $кг/см^2$ . . . . .	400
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	$\geq 17$
Теплостойкость по Мартенсу, $^{\circ}C$ . . . . .	$\geq 250$
Текучесть по Рашигу, $мм$ . . . . .	$\geq 70$
Удельное объемное электрическое сопротивление, $ом \cdot см$ . . . . .	$\geq 1 \cdot 10^{13}$
после выдержки в течение 48 ч при 98%-ной относительной влажности . . . . .	$\geq 1 \cdot 10^{12}$
Удельное поверхностное электрическое сопротивление, $ом$ . . . . .	$\geq 1 \cdot 10^{13}$
после выдержки в течение 48 ч при 98%-ной относительной влажности . . . . .	$\geq 1 \cdot 10^{12}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^6$ $гц$ . . . . .	$\leq 0,01$
после выдержки в течение 48 ч при 98%-ной относительной влажности . . . . .	$\leq 0,02$
Диэлектрическая проницаемость при $10^6$ $гц$ . . . . .	$4,7 \pm 0,6$
Электрическая прочность, $кв/мм$ . . . . .	$\geq 4$

**Кремнийорганические прессматериалы, не содержащие  
волоконных наполнителей**

**Прессматериалы КФ-9 (ВТУ П-275—62) и КФ-10 (ТУ П-07—64)** не содержат волоконных наполнителей, поэтому они обладают очень высокой текучестью и легко перерабатываются в изделия сложной формы с тонкими стенками. Следует отметить, что вследствие невысокой механической прочности кремнийорганических смол такие прессматериалы обладают значительно меньшей механической прочностью, чем асбо- или стеклонанполненные. Кроме того, такие материалы имеют большую усадку при прессовании.

Из материалов КФ-9 и КФ-10 изготовляют каркасы катушек, корпуса миниатюрных приборов, различные малогабаритные электроизоляционные детали, работающие в интервале температур от —60 до 250°С. Основные требования, предъявляемые к прессматериалам по ТУ, приведены ниже:

	КФ-9	КФ-10
Плотность, $г/см^3$ . . . . .	1,5—1,7	1,8—2
Предел прочности при изгибе, $кг/см^2$ . . . . .	200	200
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	6	7
Удельное электрическое сопротивление		
объемное, $ом \cdot см$ . . . . .	$10^{16}$	$10^{14}$
поверхностное, $ом$ . . . . .	$10^{16}$	$10^{14}$
Диэлектрическая проницаемость . . . . .	3—3,5	5
Тангенс угла диэлектрических потерь . . . . .	0,004	0,005
Электрическая прочность, $кв/мм$ . . . . .	12	13
Усадка при прессовании, % . . . . .	2,5—3	1,2

**КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИЕ СТЕКЛОТЕКСТОЛИТЫ**

Кремнийорганические стеклотекстолиты способны длительно (2000 ч) работать при 300°С, а кратковременно (5—30 мин) — при 600—700°С без изменения свойств. Они имеют удовлетворительные механические и хорошие диэлектрические свойства, относительно мало изменяющиеся в широком температурном интервале.

Изделия относительно простой формы, например прокладки, плиты, части каркасов катушек, пазовые клинья, лобовую и лазовую изоляцию и т. д., получают из листового материала или труб штамповкой, распиловкой, фрезерованием, сверлением и т. п. Более сложные изделия могут быть получены прессованием раскременной пропитанной стеклоткани.

Стеклотекстолиты на основе модифицированных кремнийорганических связующих, например эпоксидно- и фенольно-кремнийорганических, обладают значительно более высокой механической прочностью по сравнению с чисто кремнийорганическими и способны длительно работать при температурах 200—250°С; крат-

ковременно они способны выдерживать значительно более высокие температуры.

**Лак МФ-50-М (ТУ № П-564—68).** Представляет собой раствор смолы МФ-50-М в бутилацетате. Предназначен для изготовления теплостойких стеклотекстолитов и прессматериалов. Лак должен удовлетворять следующим требованиям:

Внешний вид . . . . .	Вязкая жидкость от светло-желтого до светло-коричневого цвета без механических включений
Содержание сухого остатка, % . . . . .	$\geq 50$
Время гелеобразования при 200°С, <i>мин</i> . . . . .	2—20
Вязкость по ВЗ-4 при 20°С, <i>сек</i> . . . . .	$\geq 12$

**Стеклотекстолит СМФ-50-М (ТУ № П-554—67).** Представляет собой листовой слоистый материал. Применяется в качестве электроизоляционного материала для деталей, работающих в интервале температур от —60 до +300°С в течение не менее 1000 ч; пригоден для эксплуатации в тропических условиях. Изготавливается в виде листов размером 300 × 300 мм и более. Толщина листов 0,35—2,5 мм (по требованию потребителя до 50 мм). Стеклотекстолит должен удовлетворять следующим требованиям:

Внешний вид . . . . .	Листовой материал белого цвета
Плотность, $г/см^3$ . . . . .	1,8—2,0
Предел прочности при статическом изгибе, $кг/см^2$ . . . . .	$\geq 2000$
Удельное объемное электрическое сопротивление, $ом \cdot см$	
при 20°С . . . . .	$2 \cdot 10^{13}$
» 200°С . . . . .	$1 \cdot 10^{12}$
после выдержки в течение 48 ч при 92—98%-ной относительной влажности и 40°С . . . . .	$2 \cdot 10^{12}$
Удельное поверхностное электрическое сопротивление, $ом$	
при 20°С . . . . .	$2 \cdot 10^{11}$
» 200°С . . . . .	$1 \cdot 10^{13}$
после выдержки в течение 48 ч при 92—98%-ной относительной влажности и 40°С . . . . .	$2 \cdot 10^{12}$
Электрическая прочность перпендикулярно слоям при 50 <i>гц</i> , $кв/мм$ . . . . .	$\geq 5$
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 <sup>3</sup> <i>гц</i> . . . . .	$\leq 0,005$
Диэлектрическая проницаемость при 10 <sup>6</sup> <i>гц</i> . . . . .	$\leq 5$

При механической обработке (распиловка, сверление, штамповка, обточка) материал не имеет трещин и сколов.

**Лак К-41 (МРТУ 6-М-863—62).** Представляет собой раствор метилфениленоксаноэвой смолы в толуоле. Предназначен для изготовления слоистых пластинок и нагревостойких пластмасс электроизоляционного назначения. Применяется с отвердителем 2 (продукт взаимодействия каприлата цинка с полиэтиленполиаминном) в количестве 0,007—0,008%. В качестве отвердителя можно использовать также триэтаноламин и сиккатив 63. Основные свойства лака приведены ниже:

Цвет . . . . .	Светло-желтый
Вязкость 48%-ного лака по ВЗ-4, сек . . . . .	14—25
Сухой остаток, % . . . . .	48—56
Время гелеобразования при 200° С, мин . . . . .	3—15
Продолжительность сушки при 100° С, мин . . . . .	≤ 25
Продолжительность отверждения пленки при 200° С, ч . . . . .	≤ 2
Содержание водорода в 48%-ном лаке, % . . . . .	≤ 0,0025

**Стеклотекстолит СТК-41.** Представляет собой листовой слоистый материал, обладает высокой нагрево- и грибовстойкостью и хорошими диэлектрическими свойствами. Применяется для изоляции электромашин. Выпускается толщиной 0,5—30 мм, размер листа 70 × 90 см. Стеклотекстолит должен удовлетворять следующим требованиям:

Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,6—1,8
Стойкость к нагреву (кратковременно), °С . . . . .	260
Теплостойкость по Мартенсу, °С . . . . .	225
Удельное объемное электрическое сопротивление, ом · см . . . . .	
при 20° С . . . . .	≥ 10 <sup>12</sup>
» 180° С . . . . .	≥ 10 <sup>11</sup>
после выдержки в течение 24 ч при 95±3%-ной относительной влажности . . . . .	≥ 10 <sup>11</sup>
Средняя электрическая прочность (при расстоянии между электродами 10 мм), кв/мм . . . . .	
параллельно слоям . . . . .	10
перпендикулярно слоям . . . . .	12
Тангенс угла диэлектрических потерь при 50 гц и 180° С . . . . .	≤ 0,01

**Стеклотекстолит СТЭК-45 (ТУ НИИПМ П-642—69).** Представляет собой материал на основе эпоксидно-кремнийорганической смолы. Благодаря относительно высокой механической прочности применяется в качестве конструкционного материала. Изделия из стеклотекстолита СТЭК-45 могут быть получены прессованием, на-

моткой, вакуумной пропиткой. Показатели основных свойств СТЭК-45 приведены ниже:

Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,7—1,8
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	
при растяжении . . . . .	4000—4200
при сжатии . . . . .	
при 20° С . . . . .	3700
» 200° С . . . . .	2500
» 250° С . . . . .	2500
» 300° С . . . . .	1200
при статическом изгибе . . . . .	
при 150° С . . . . .	5000—5500
» 200° С . . . . .	4700—5000
» 250° С . . . . .	3200—3500
» 300° С . . . . .	2200—2500
Модуль упругости при статическом изгибе, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	2,5 · 10 <sup>5</sup>
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	1,4—1,6
Удельная ударная вязкость, кг · см/см <sup>2</sup> . . . . .	200—2500
Твердость по Бригеллю, кг/мм <sup>2</sup> . . . . .	40—50
Диэлектрическая проницаемость при 10 <sup>6</sup> гц . . . . .	4,5
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 <sup>6</sup> гц . . . . .	0,02

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Андрианов К. А., Полимеры с неорганическими главными цепями молекул, Изд. АН СССР, 1962.
2. Миле Р. Н., Льюис Д. М., Силиконы, Изд. «Химия», 1964.
3. Бажант В. П. и др., Силиконы, Госхимиздат, 1960.
4. Производство и переработка пластмасс, синтетических смол и стеклянных волокон, Информационный бюллетень НИИТЭХим, № 1, 1965.



## ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТ

Полиэтилентерефталат (ПЭТФ) представляет собой сложный полиэфир, получаемый реакцией переэтерификации диметилтерефталата этиленгликолем в присутствии катализаторов и последующей поликонденсацией полученного диэтилолтерефталата. В качестве катализаторов используют ацетаты марганца, цинка, кобальта, кальция, трехокись сурьмы и другие соединения.

В СССР полиэтилентерефталат выпускается под названием смола лавсан и используется в качестве сырья для изготовления волокон и пленок. Смола лавсан, используемая для получения пленок (МРТУ 6-06-146—68), должна удовлетворять следующим требованиям:

Внешний вид . . . . .	Гранулы размером 4×4×2,5 мм от прозрачного до белого цвета
Удельная вязкость 0,5%-ного раствора в трикрезоле, не менее . . . . .	0,30
Температура плавления, °С, не ниже . . . . .	250
Содержание двуоксида титана, % . . . . .	0—0,15
Зольность, % . . . . .	0,06—0,2

Полиэтилентерефталат нерастворим в обычных органических растворителях, поэтому полиэтилентерефталатные пленки получают только из расплава с последующей вытяжкой и термической обработкой. Процесс получения ориентированных пленок включает следующие стадии:

1) плавление полимера и формование пленки путем продавливания расплава через фильеру (с определенным зазором губок) с быстрым охлаждением получаемой пленки-заготовки;

2) нагрев аморфной пленки до 80°С и равномерное вытягивание ее по двум взаимно перпендикулярным направлениям;

3) термообработку пленки при температуре до 200°С.

Аморфная пленка из ПЭТФ может быть получена как в виде плоской ленты, так и в виде рукава. Расплав ПЭТФ можно получать несколькими способами:

плавлением смолы в специальном плавильнике (головке);

плавлением смолы в экструзионной машине;  
использованием поликонденсата непосредственно из реактора при синтезе смолы.

## ПЛЕНКИ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

**Аморфная пленка ПЭТФ (СТУ 36-13-151—65).** Неориентированная пленка. Применяется в качестве изоляционной прокладки. Выпускается шириной  $210 \pm 10$  мм при толщине 120—800 мк.

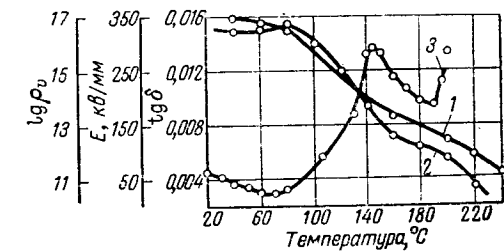


Рис. 1. Влияние температуры на диэлектрические свойства ПЭТФ:

1 — удельное объемное электрическое сопротивление; 2 — электрическая прочность; 3 — тангенс угла диэлектрических потерь.

Предел прочности пленки при растяжении составляет 450 кг/см<sup>2</sup>, относительное удлинение при разрыве — до 900%.

**Электронизолирующая ПЭТФ пленка (МРТУ 6-11-30—65).** Применяется в качестве изоляционных лент в трансформаторах и дросселях насыщения, работающих при температурах от —150 до +155°С. Основные требования, которым должна удовлетворять пленка, приведены на стр. 144.

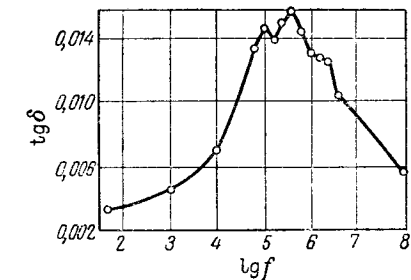


Рис. 2. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь пленки ПЭТФ от частоты (f).

**Конденсаторная ПЭТФ пленка (МРТУ 6-05-1099—67).** Применяется в качестве диэлектриков для конденсаторов, работающих в диапазоне температур от —65 до +155°С (см. стр. 144).

**Электротехническая ПЭТФ пленка (СТУ 36-13-155—65).** Применяется в основном для пазовой изоляции низковольтных электрических машин (см. стр. 144).

Пленка для металлизации (МРТУ 6-05-1108—68). Металлизация осуществляется в вакууме.

Технические требования к пленкам на основе полиэтилентерфталата

Показатели	Электро- изоляция	Конден- саторная	Электро- техниче- ская	Пленка для металлизации
Ширина, мм . . . . .	10—1200	10—240	500±10	До 1200
Толщина, мк . . . . .	8—25	4—20	50±5	5—20
Усадка по длине и ширине при 155°С за 10 мин, %, не более . . . . .	5	5	—	3
Усадка после прогрева при 150°С в течение 24 ч, % . . . . .	—	—	5	—
Предел прочности при растяжении, кг/см <sup>2</sup> , не менее . . . . .	1200	1300	1500	1300—1500
после прогрева при 150°С в течение 7 суток . . . . .	—	—	1000	—
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее . . . . .	50	50	60	50
после прогрева при 150°С в течение 7 суток . . . . .	—	—	50	—
Удельное объемное электрическое сопротивление, ом·см				
при 20°С . . . . .	1·10 <sup>16</sup>	—	1·10 <sup>15</sup>	—
» 120°С . . . . .	—	—	1·10 <sup>13</sup>	—
» 150°С . . . . .	1·10 <sup>12</sup>	5·10 <sup>12</sup>	—	—
после пребывания в течение 48 ч в атмосфере с относительной влажностью 95±3% . . . . .	—	—	1·10 <sup>14</sup>	—
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 <sup>3</sup> гц и 20°С, не более . . . . .	0,008	0,008	—	—
Электрическая прочность, кв/мм				
при 20±5°С, не менее . . . . .	140	140	140	—
» 120°С . . . . .	—	—	100	—
» 130—150°С . . . . .	50	—	—	—
после пребывания в течение 48 ч в атмосфере с относительной влажностью 95±3% . . . . .	—	—	120	—

Полиэтилентерфталатные пленки — плотные, прозрачные и гибкие, с глянцевой поверхностью. Ниже приводятся показатели некоторых свойств ориентированных пленок.

Физико-механические свойства

Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,38
Предел прочности при растяжении, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	1 000—1 800
Сопротивление многократному изгибу, число циклов . . . . .	> 20 000
Модуль упругости при растяжении, кг/мм <sup>2</sup> . . . . .	290—380
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее . . . . .	50
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> . . . . .	70—90

Электрические свойства

Удельное электрическое сопротивление	
объемное, ом·см . . . . .	1·10 <sup>16</sup> —1·10 <sup>19</sup>
поверхностное, ом . . . . .	1·10 <sup>12</sup>
Диэлектрическая проницаемость	
при 60 гц . . . . .	3,1—3,2
» 10 <sup>6</sup> гц . . . . .	3,0—3,1
Тангенс угла диэлектрических потерь	
при 60 гц . . . . .	0,002
» 10 <sup>6</sup> гц . . . . .	0,013—0,015
Электрическая прочность, кв/мм, не менее	
при 20±5°С . . . . .	140
» 130—150°С . . . . .	50—70

Электрические свойства пленки зависят от температуры (рис. 1). Изменение тангенса угла диэлектрических потерь пленки ПЭТФ от частоты (f) показано на рис. 2.

Теплофизические свойства

Температура плавления, °С . . . . .	250
Удельная теплоемкость, кал/г	
при 25°С . . . . .	0,315
» 200°С . . . . .	0,476
Коэффициент теплопроводности, кал/(см·сек·град) . . . . .	3,63·10 <sup>-4</sup>
Коэффициент термического линейного расширения, град <sup>-1</sup> . . . . .	27·10 <sup>-6</sup>
Морозостойкость, °С . . . . .	-155

Оптические свойства

Коэффициент преломления при 25°С . . . . .	1,655
Пропускание, %	
видимого света . . . . .	до 90
УФ-лучей . . . . .	Резко снижается при 3150Å
Стойкость к солнечному свету	
в видимом спектре . . . . .	Хорошая
» ультрафиолетовом спектре . . . . .	Средняя

Прочие свойства

Водопоглощение, вес. % . . . . .	0,5
Влагопроницаемость пленки толщиной 25 мк при 38°С и 90%-ной относительной влажности в течение 24 ч, г/м <sup>2</sup> . . . . .	30
Проницаемость пленки толщиной 25,4 мк, г/100 м <sup>2</sup> ·ч	
для кислорода . . . . .	0,9
» водяного пара при 39,5°С . . . . .	160
Линейная усадка при 150°С, % . . . . .	до 5

#### Химические свойства пленок на основе полиэтилентерефталата

Пленки ПЭТФ отличаются стойкостью к действию слабых щелочей, концентрированной соляной кислоты, смазок, масел, жиров, кетонов, эфиров.

Концентрированные щелочи при длительном воздействии разрушают полимер так же, как и азотная кислота; серная кислота одновременно растворяет и разрушает его. ПЭТФ растворяется при нагревании в феноле, крезоле, диметилформамиде, *o*-дихлорбензоле, нитробензоле.

При переработке в пленки и волокно ПЭТФ подвергается термоокислительной деградации. Предложено довольно много стабилизаторов ПЭТФ. Ингибирующее действие проявляют некоторые производные ароматических аминов и фенолов, полиэфирные алкилфосфористых кислот, ортофосфорная кислота, а также соединения с системой сопряженных связей.

#### Склеивание пленок на основе полиэтилентерефталата

Полиэтилентерефталатные пленки склеивают клеем, представляющим собой 4%-ный раствор смолы ТФ-60 (ВТУ № П-264—66) в метилхлориде. Прочность клеевого шва составляет не менее 85% от прочности исходной пленки, теплостойкость 100°С.

При сварке пленок обычно образуется шов пониженной прочности, так как при плавлении пленки нарушается степень ориентации кристаллической части полимера.

#### Переработка отходов пленок на основе полиэтилентерефталата

Отходы, получаемые при производстве ПЭТФ пленок (нестандартные по размеру куски, обрезки пленки) сплавляются. Получаемая вторичная смола лавсан (СТУ 36-13-4—64) применяется для изготовления теплостойкого полиэфирного лака. Внешний вид смолы — твердый сплав в виде кусков размером не более 100 мм неопределенной формы, от светло-серого до темно-серого цвета. Температура плавления смолы 220—250°С.

#### Применение пленок на основе полиэтилентерефталата

Полиэтилентерефталатные пленки применяются главным образом в электротехнической промышленности и радиоэлектронике. Высокая электрическая прочность и удельное объемное сопротивление, сохраняющиеся в широком диапазоне температур и влажности, делают пленку ценным материалом для изготовления конденсаторов. ПЭТФ пленка применяется в качестве межслойной и

межобмоточной изоляции в трансформаторах и дросселях, для прокладок пазов статора и изоляции фазовых обмоток электродвигателей.

Прочность ПЭТФ пленки (в 3—4 раза превосходящая прочность ацетатных пленок), стабильность размеров при изменении влажности и температуры, а также прозрачность позволяют применять ее в качестве подложки для магнитной ленты при записи звука, изображения и импульсных электрических сигналов, для кино-, фото- и рентгеновской пленки, лент счетных машин.

В результате специальной механической или химической обработки пленки можно получить долговечный материал для карт, чертежей, копий.

Полиэтилентерефталатную пленку применяют в качестве упаковочного материала для пищевых продуктов, медикаментов и химикатов. В последнее время для получения легко свариваемой прочной и эластичной упаковки применяют ПЭТФ пленку, дублированную полиэтиленом, полипропиленом или поливинилхлоридом.

ПЭТФ пленка, особенно металлизированная, придает приятный блеск декоративным покрытиям и тканям, предохраняет покрываемую поверхность от механических повреждений, загрязнений и коррозии. Из металлизированной пленки можно изготовлять негускнеющую металлическую нить.

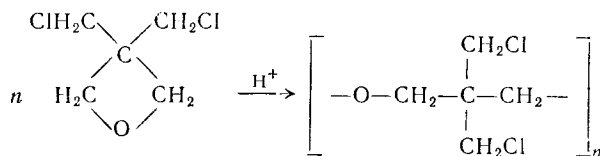
Полиэтилентерефталатные пленки применяют также для футеровки шлангов, по которым транспортируют жидкий кислород.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коршак В. В., Виноградова С. В., Гетероцепные полиэфирные, Изд. АН СССР, 1958.
2. Петухов Б. В., Полиэфирное волокно, Госхимиздат, 1960.
3. Козлов П. В., Брагинский Г. И., Химия и технология полимерных пленок, Изд. «Искусство», 1965.
4. Итоги науки, 8, 235 (1966).
5. Коварская Б. М., ЖВХО им. Д. И. Менделеева, № 3, 267 (1966).
6. Авт. свид. 138046; Бюлл. изобр., № 9 (1961).
7. Высокомолек. соед., 4, № 8, 1186 (1962).
8. Хим. волокна, № 4, 8 (1960).
9. Пласт. массы, № 12, 51 (1963).
10. Пласт. массы, № 1, 73 (1964).
11. Пласт. массы, № 12, 33 (1967).

## ПЕНТАПЛАСТ

Пентапласт представляет собой высокомолекулярный простой полиэфир. Исходным сырьем для пентапласта служит пентаэритрит, получаемый путем конденсации формальдегида и ацетальдегида. При взаимодействии пентаэритрита с хлористым водородом и последующей обработке образовавшегося трихлоргидрина раствором щелочи получают мономер 3,3-бис-(хлорметил)-оксациклобутан, который в присутствии катализаторов ионного типа полимеризуется по следующей схеме:



Присутствие в полимере хлорметильных групп придает материалу способность к самозатуханию. Благодаря симметричному расположению в пространстве хлорметильных групп вдоль основной цепи пентапласт имеет кристаллическую структуру, устойчив к действию растворителей и других реагентов, а также обладает высокой теплостойкостью.

При переработке пентапласта (при 190—230° С) выделения хлористого водорода не наблюдается. Такая прочность связи хлора в молекуле выгодно отличает пентапласт от других хлорсодержащих полимеров, например от поливинилхлорида и поливинилиденхлорида, температура разложения которых близка к температуре переработки.

Основной характеристикой пентапласта является приведенная вязкость 0,5%-ного раствора полимера в циклогексаноне. В зависимости от назначения пентапласт изготавливается вязкостью 1,0—1,5 дцл/г для покрытий и 1,5—2,0 дцл/г — для литья под давлением и экструзии.

## Физико-механические свойства пентапласта \*

Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,4
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>	
при растяжении	
при -10° С . . . . .	700
» +20° С . . . . .	400
» +100° С . . . . .	250
при сжатии . . . . .	850
при статическом изгибе . . . . .	650
Модуль упругости при изгибе, кг/см <sup>2</sup>	
при -60° С . . . . .	51 500
» +20° С . . . . .	12 600
» +80° С . . . . .	4 500
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> . . . . .	40—80
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	28
Твердость по Бринеллю, кг/мм <sup>2</sup> . . . . .	9—11
Ползучесть, %	
при 65° С за 9000 ч под нагрузкой	
105 кг/см <sup>2</sup> . . . . .	3
35 кг/см <sup>2</sup> . . . . .	1
при 137° С за 5000 ч под нагрузкой	
70 кг/см <sup>2</sup> . . . . .	4,5
8,8 кг/см <sup>2</sup> . . . . .	1,2
Коэффициент трения при 20° С	
пентапласт — пентапласт . . . . .	0,14
пентапласт — сталь 5 . . . . .	0,12

\* Образцы получены литьем под давлением.

## Физико-механические свойства пленки на основе пентапласта (толщиной 100 мк)

	Вдоль	Поперек
Предел прочности при растяжении, кг/см <sup>2</sup>		
ориентированной пленки при 20° С . . . . .	1190	580
неориентированной пленки		
при 20° С . . . . .	406	270
» 120° С . . . . .	330	—
Относительное удлинение при разрыве, %		
ориентированной пленки при 20° С . . . . .	13	—
неориентированной пленки		
при 20° С . . . . .	270	10
» 120° С . . . . .	440	—

Хорошие электрические свойства пентапласта сохраняются при высоких температурах и в условиях повышенной влажности.

## Электрические свойства пентапласта

Удельное электрическое сопротивление	
поверхностное, ом	
при 20° С . . . . .	8,5 · 10 <sup>15</sup>
» 70° С . . . . .	8,5 · 10 <sup>15</sup>
после выдержки в воде в течение 24 ч	
при 20° С . . . . .	6,1 · 10 <sup>15</sup>
объемное, ом · см	
при 20° С . . . . .	4 · 10 <sup>16</sup>
» 70° С . . . . .	1 · 10 <sup>15</sup>
после выдержки в воде в течение 24 ч	
при 20° С . . . . .	3 · 10 <sup>16</sup>
Тангенс угла диэлектрических потерь	
при 50 гц . . . . .	0,011
» 10 <sup>3</sup> гц . . . . .	0,014
» 10 <sup>5</sup> гц . . . . .	0,011
Диэлектрическая проницаемость	
при 10 <sup>3</sup> гц . . . . .	3,1
» 10 <sup>5</sup> гц . . . . .	3,2
Электрическая прочность, кв · мм . . . . .	
	23

## Электрические свойства пленки на основе пентапласта (толщиной 109 мк)

	При 20° С	При 120° С
Удельное объемное электрическое сопротивление, ом · см . . . . .	8 · 10 <sup>15</sup>	2 · 10 <sup>13</sup>
Тангенс угла диэлектрических потерь		
при 10 <sup>3</sup> гц . . . . .	0,0072	0,0064
» 10 <sup>5</sup> гц . . . . .	0,0078	0,0081
Диэлектрическая проницаемость при 10 <sup>3</sup> гц	3,0	3,3

## Теплофизические свойства пентапласта

Температура, °С	
плавления . . . . .	180
стеклования (дилатометрический метод)	7,5
Теплостойкость по Вика, °С . . . . .	160—170
Коэффициент теплопроводности, кал/(см · сек · град) . . . . .	3,13 · 10 <sup>-4</sup>
Коэффициент термического линейного расширения, град <sup>-1</sup> . . . . .	8 · 10 <sup>-5</sup>

## ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕНТАПЛАСТА

Наиболее ценным свойством пентапласта является его высокая химическая стойкость. Пентапласт устойчив к действию щелочей, кислот и большей части органических растворителей. Ниже приведены данные, характеризующие поведение пентапласта в некоторых средах. Образцы выдерживали в течение 3 месяцев при 20° С.

Среды	Увеличение массы, %	Предел прочности при растяжении кг/см <sup>2</sup>	Среды	Увеличение массы, %	Предел прочности при растяжении кг/см <sup>2</sup>
Контрольный . . . . .	—	400	Толуол . . . . .	1,5	420
Вода . . . . .	—	405	Гексан . . . . .	0,1	405
Ацетон . . . . .	5	305	Аммиак 10%-ный	0,1	405
Фуран . . . . .	6,5	325	Соляная кислота		
Дихлорэтан . . . . .	6	385	37%-ная . . . . .	0,1	380
Этиловый эфир . . . . .	6	400	Фреон 113 * . . . . .	0	—
Этилкетат . . . . .	3,6	385	Фреон 112 ** . . . . .	0	—

\* Выдержка в течение 1 месяца при 50° С.

\*\* Выдержка в течение 1 месяца при 30° С.

Допустимые температурные пределы эксплуатации пентапласта в различных средах следующие:

25° С . . . . .	Азотная кислота 56%-ная, бромная вода, плавиковая кислота 100%-ная, сероуглерод, хлор
До 65° С . . . . .	Азотная кислота 30%-ная, серная кислота 96%-ная, альдегиды, кетоны, простые и сложные эфиры
До 105° С . . . . .	Азотная кислота 10%-ная, плавиковая кислота 60%-ная, уксусная и муравьиная кислоты, спирты, алифатические углеводороды
До 120° С . . . . .	Серная кислота 60%-ная, соляная кислота 50%-ная, плавиковая кислота 30%-ная, соли, щелочи

Пентапласт не стоек к сильно окисляющим агентам, дымящей азотной кислоте, олеуму, хлорсульфоновой кислоте. Растворяется при температуре выше 100° С в циклогексаноне и хлорбензоле, растворы при концентрации 5% и выше при охлаждении желатинизируются. Пентапласт также растворяется в кипящем диоксиде и при 110—120° С в диметилформамиде, но из растворов полностью выделяется при понижении температуры до 60—65° С.

Некоторые другие свойства пентапласта приведены ниже:

Водопоглощение за 30 суток, % . . . . .	< 0,01
Верхний предел рабочих температур, °С . . . . .	120—135
Усадка в форме, % . . . . .	0,4—0,6

## Газопроницаемость пленок некоторых полимеров толщиной 190 мк

Газ	Газопроницаемость, см <sup>3</sup> /100 дм <sup>2</sup> (за 24 ч)			Газ	Газопроницаемость, см <sup>3</sup> /100 дм <sup>2</sup> (за 24 ч)		
	пентапласт	поливинилхлорид	полиэтилен		пентапласт	поливинилхлорид	полиэтилен
Кислород . . . . .	0	0,6	320	Двуокись углерода	8,9	2,4	1500
Азот . . . . .	0	0,1	70	Пары воды	0,6	0,2	1,0

### ПЕРЕРАБОТКА ПЕНТАПЛАСТА

Переработка пентапласта, являющегося типичным термопластом, возможна всеми обычными методами на обычном оборудовании. Так как при нагревании пентапласта не отщепляется хлористый водород, вся аппаратура и формы могут изготавливаться из закаленной полированной или хромированной стали.

Пентапласт является превосходным материалом для литья под давлением, так как он имеет сравнительно невысокую вязкость расплава и легко заполняет тонкие секции в формах. Для литья под давлением и для экструзии применяют гранулированный пентапласт с добавками стабилизаторов и, если это требуется, красителей и наполнителей. Грануляция пентапласта производится на экструдерах при температуре головки 190—210° С.

Перед литьем под давлением или экструзией подсушка пентапласта не требуется, так как материал не гигроскопичен. Литье под давлением проводят при температуре цилиндра 210—230° С и давлении 800—1000 кг/см<sup>2</sup>. Продолжительность цикла зависит от толщины стенок получаемого изделия, продолжительность выдержки отливки в форме составляет от 20 сек при толщине 1 мм до 60 сек при толщине 10 мм.

Для получения изделий хорошего качества форма должна иметь температуру 95—100° С, при этой температуре скорость кристаллизации пентапласта оптимальна.

Степень кристалличности составляет в равновесном состоянии около 30%. Только такой частично кристаллический полимер имеет высокие показатели физико-механических свойств. Быстро охлажденный аморфный пентапласт мягок (модуль упругости 18 кг/см<sup>2</sup>) и постепенно кристаллизуется при хранении при температурах выше температуры стеклования. При температуре 15—20° С для достижения равновесного состояния (чему соответствует значение модуля 9000 кг/см<sup>2</sup>) требуется около 7 суток, при 60° С кристаллизация заканчивается за 20 мин, при 95—100° С для получения твердого прочного изделия требуется всего несколько секунд. При правильном режиме переработки изделия из пентапласта не имеют остаточных напряжений и поэтому в условиях эксплуатации при изменении температуры их размеры не изменяются.

Экструзией пентапласта получают листы, трубы, прутки, пленки. Тонкая пленка (50—200 мк) может быть получена как экструзией с использованием щелевой головки, так и раздуванием заготовки, получаемой на кольцевой головке. Температура головки зависит от толщины получаемого изделия. При экструзии прутков и трубок температура головки должна быть 190—210° С, при экструзии тонких пленок (50—200 мк) — выше 210—230° С.

После выхода из головки изделие должно подаваться в ванну с горячей водой для кристаллизации. При получении толстостен-

ных изделий рекомендуется двухступенчатое охлаждение: сначала в ванне с температурой 60—70° С, затем — с температурой 90—95° С.

Изделия из пентапласта могут быть получены также методом прессования при температуре формы 180—200° С и давлении 150 кг/см<sup>2</sup>. Выдержка 5 мин на каждый 1 мм толщины, охлаждение под прессом до 60—70° С. Изделия, полученные методом прессования, имеют гладкую, блестящую поверхность, но механические свойства прессованных изделий ниже, чем полученных литьем под давлением или экструзией.

Одним из важнейших применений пентапласта являются антикоррозионные покрытия, которые могут наноситься из раствора, суспензии или вихревым напылением. Поверхность металла должна быть тщательно обезжирена и обработана метакрилатным аппаратом или наждачной бумагой. Для улучшения адгезии пентапласта к металлу во всех случаях необходимо деталь с покрытием прогреть выше температуры плавления полимера — до 200—230° С.

В качестве растворителя при получении лака из пентапласта применяют циклогексанон. При нанесении покрытий окунанием температура раствора должна составлять 70—120° С, концентрация раствора может быть до 25%, но для нанесения покрытий распылением или кистью концентрация не должна превышать 5%. После сушки получается сплошное покрытие, но хорошая адгезия достигается только после прогревания при 200—220° С.

Суспензии пентапласта в органических растворителях или в воде наносятся на металлические поверхности пульверизацией. После удаления летучих производится сплавление. Для нанесения покрытий требуемой толщины операция может повторяться несколько раз, многослойное покрытие получается совершенно однородным.

При нанесении покрытий из пентапласта вихревым напылением нагретая до 200—220° С деталь погружается в емкость, в которой тонкий порошок пентапласта поддерживается в «кипящем слое» током воздуха (или лучше азота). Толщина покрытия регулируется продолжительностью погружения детали и ее температурой. Толщина одного слоя обычно около 0,5 мм. Покрытие сплавляется при 200—220° С.

Основной областью применения пентапласта должна быть аппаратура для химической промышленности и аппаратура или детали, работающие в корродирующих средах. Например, из пентапласта могут изготавливаться трубы, арматура, вентили, детали насосов, шестерни. Листы из пентапласта (толщиной около 1 мм) рекомендуются для футеровки емкостей для хранения корродирующих реагентов. Возможна также внутренняя футеровка или стальных труб.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Котон М. М., Глухов Н. А., Бабурина А. Н., Шербакова Л. М., ЖПХ, 33, вып. 1, 182 (1960).
2. Лягоцкий М., Маркович М., Пенчек П., Пенчек С., ЖПХ, 34, 640 (1961).
3. Экспресс-информация, вып. 31, № 146, СВМ, авг., 1958 г.
4. Кастельман В. Н., Пласт. массы, № 12, 69 (1963).
5. Майгельдинов И. А., Цюр К. И., Высокомол. соед., 5, № 2, 252 (1963).
6. Гинзбург Б. М., Копылова Е. Л., Пласт. массы, № 9, 47 (1964).

## ВСПЕНЕННЫЕ ПЛАСТМАССЫ

Газонаполненные (вспененные) пластмассы можно получать почти из всех известных полимеров. От монолитных пластмасс они отличаются легкостью, прекрасными тепло- и звукоизоляционными свойствами, отличными электрическими характеристиками. Благодаря малой способности к водопоглощению, некоторые вспененные пластмассы успешно используются в производстве различных плавающих средств.

По своей структуре газонаполненные пластмассы делятся на две группы:

1. Материалы с закрытыми, не сообщающимися друг с другом ячейками — пенопласты;
2. Материалы с сообщающимися между собой ячейками — поропласты.

Замкнутоячеистые материалы (пенопласты) имеют хорошие тепло- и электроизоляционные свойства, малое водо- и влагопоглощение.

Открытоячеистые материалы имеют большое водо- и влагопоглощение, несколько худшие электроизоляционные свойства, но они лучше глушат звуки различных частот, обладают большим сопротивлением периодическим сжимающим деформациям и лучшими демпфирующими свойствами по сравнению с замкнутоячеистыми.

Это деление, однако, весьма условно и на практике не удается получить вспененную пластмассу только с открытыми или только с закрытыми ячейками.

Различают эластичные, полужесткие и жесткие пеноматериалы. Эластичные используются в основном в качестве амортизационного, звуко- и реже теплоизоляционного материала; полужесткие и жесткие — в качестве тепло- и звукоизоляционных конструктивных материалов и амортизирующих устройств для ударных нагрузок.

Вспененные пластмассы получают в виде блоков или формованных деталей. Поскольку они очень легки, перевозка готовых изделий на дальние расстояния невыгодна. Гораздо удобнее перевозить компоненты и затем вспенивать их непосредственно на месте применения. В последние годы эти методы приобретают все большее значение. Например, широко распространены методы

напыления, заливки различных конструкций пенополиуретаном, феноло-формальдегидными и мочевино-формальдегидными пенопластами.

Особенно ценны такие свойства пенопластов, как чрезвычайно малая кажущаяся плотность, высокая плавучесть, водостойкость, стойкость к действию топлив и масел, высокие показатели адгезионных и теплоизоляционных свойств. Пенопласты с такими свойствами с успехом могут применяться в судостроении. Соперничать с пенопластом в отношении легкости и плавучести не может не только древесина, но и пробка, кажущаяся плотность которой равна 120—190 кг/м<sup>3</sup>.

Области применения этих материалов весьма обширны: они используются в авиации, строительстве, приборостроении, радиоэлектронике и т. д.

Нашей промышленностью выпускаются газонаполненные материалы на основе полистирола, поливинилхлорида, феноло- и мочевино-формальдегидных смол, полиуретанов. Осваивается производство газонаполненных материалов на основе полиэтилена, эпоксидных смол, поливинилформала и желатина.

#### ВСПЕНЕННЫЕ ПЛАСТМАССЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИУРЕТАНОВ

В промышленности вспененные полиуретаны получают при взаимодействии гидроксилсодержащих полиэфиров, ди- или полиизоцианатов и воды в присутствии катализатора и стабилизатора пены. При взаимодействии изоцианата с водой выделяется двуокись углерода, которая обычно и служит вспенивающим агентом.

В качестве гидроксилсодержащего компонента обычно берут алкидные смолы (сложные полиэфиры), жидкие диолы или полиолы (простые полиэфиры), которые представляют собой сополимеры окисей этилена или пропилена с гликолями, глицерином, сорбитом, ксилитом и др. Чаще всего используют полиэфиры с молекулярным весом 500—3000.

Выбор полиэфира для получения полиуретана в каждом случае определяется целым рядом факторов. Так, эластичные пенополиуретаны на простых полиэфирах более морозостойки, чем на сложных, но менее стойки к действию растворителей. Они мягче, но хуже драпируются, и потому для швейных дублированных изделий применяются в основном пенополиуретаны на основе сложных полиэфиров.

В случае получения жестких пенополиуретанов выбор полиэфира определяется необходимой вязкостью композиции, условиями эксплуатации изделия и еще целым рядом факторов.

В качестве изоцианатной компоненты используются обычно различные смеси изомеров толуилеандиизоцианата. Можно исполь-

зовать наиболее реакционноспособный 2,4-толуилеандиизоцианат (продукт 102-Т), смесь 80% 2,4- и 20% 2,6-толуилеандиизоцианата (ТДИ 80/20), смесь тех же изомеров в соотношении 65:35 (ТДИ 65/35). Толуилеандиизоцианат дает пены с прекрасными эксплуатационными характеристиками, но он токсичен. Гораздо менее токсичен полиядерный полиизоцианат, который все шире используется в практике получения жестких и полужестких уретановых пен.

Кроме этих компонентов в композицию входит целый ряд вспомогательных веществ: катализаторы, стабилизаторы пены, дополнительные вспенивающие агенты (например, фреоны) и ряд других добавок.

#### Эластичные пенополиуретаны

Эластичные пенополиуретаны (ППУ) могут служить отличным амортизационным материалом и применяются в производстве мебели, сидений автомобилей, на железнодорожном транспорте.

Эластичные пенополиуретаны получают при взаимодействии полиэфиров с толуилеандиизоцианатом ТДИ 65/35 в присутствии активатора, стабилизаторов пены и других добавок. Компоненты смеси дозировочными насосами подаются из емкостей в смесительную головку, в которой происходит их быстрое и тщательное смешение.

Смесь компонентов находится в смесительной головке не более 3—5 сек и выливается в непрерывно движущийся бумажный лоток, в котором и происходит образование пены. Вспенивание заканчивается примерно через 1 мин, через 20 мин материал режут на блоки и он идет на вызревание. При этом заканчиваются реакции между компонентами пены и она приобретает необходимую прочность. Вызревание блоков продолжается 1—3 суток. Блоки эластичного полиуретанового поропласта могут быть окрашены в различные цвета, что достигается введением в композицию для вспенивания паст красителей.

При действии ультрафиолетовых лучей эластичный полиуретановый поропласт быстро желтеет, но это пожелтение затрагивает только поверхностные слои и не сказывается на прочности и других физико-механических показателях материала.

**Поропласт полиуретановый эластичный (МРТУ 6-05-1150—68).** Получается при взаимодействии ТДИ 65/35 со сложным полиэфиром П-2200 и соответствующими добавками. При введении в композицию трихлорэтилфосфата получается самозатухающий материал, который быстро гаснет после прекращения действия открытого пламени. При одновременном введении поливинилхлоридной смолы полиуретановый поропласт приобретает способность легко свариваться токами высокой частоты.



Материал сохраняет эластичность в интервале температур от  $-15$  до  $+100^{\circ}\text{C}$  (от  $-15$  до  $+60^{\circ}\text{C}$  в случае добавки трихлорэтилфосфата), он негигроскопичен, стоек к действию бензина и смазочных масел. Если не менее 95% гидроксильных групп связаны изоцианатом (коэффициент пены не ниже 95), то такой поропласт тропикостоек. Коэффициент пены не ниже 95 гарантируется заводом-изготовителем и поропласту дается соответствующая маркировка. Добавка трихлорэтилфосфата повышает чувствительность полиуретанового поропласта к действию тепла и влаги, в результате чего срок эксплуатации изделий из такого материала должен быть меньше, чем у изделий из обычного эластичного материала.

В зависимости от кажущейся плотности и размера ячеек \* поропласт уретановый эластичный выпускается следующих марок:

ППУ-Э-25-1,8	ППУ-Э-45-0,8
ППУ-Э-25-3,2	ППУ-Э-45-1,2
ППУ-Э-35-0,8	ППУ-Э-50-1,0
ППУ-Э-40-0,8	ППУ-Э-60-0,4
ППУ-Э-40-1,2	

Поропласт выпускается в виде листов прямоугольной формы, гладких или профилированных, а также в виде полотна. Для получения полотна блок эластичного полиуретанового поропласта разрезают по ширине на заготовки квадратного сечения. Заготовку вставляют в держатель резательной машины так, чтобы она вращалась вокруг продольной оси. Непрерывно движущийся нож машины снимает лист установленной толщины. Листы могут быть следующих размеров (в мм):

Длина	$2000 \pm 50$	Толщина	$3-10 (\pm 1)$
	$1000 \pm 50$		$10-30 (\pm 2)$
Ширина	$850 \pm 50$		$30-50 (\pm 3)$
	$750 \pm 50$		$50-100 (\pm 4)$
	$1000 \pm 50$		$100-400 (\pm 5)$

Рулонный материал должен иметь длину не менее 15 м, ширину 850, 1000 или 1500 мм при толщине  $3 \pm 1$  мм. Поропласт пред-

\* Первая цифра в наименованиях марок — кажущаяся плотность (в  $\text{кг}/\text{м}^3$ ), вторая — средний размер ячеек (в мм).

ставляет собой легкую газонаполненную пластмассу с преобладанием открытых ячеек. Рулонный материал — полотно с обрезанными краями, в котором допускаются воздушные включения (раковины) диаметром до 2 мм в неограниченном количестве, сквозные раковины диаметром до 2 мм — не более 2 на  $1 \text{ м}^2$ , сквозные раковины диаметром 2—5 мм — не более 5 на полотно длиной 25 м.

В листовом материале сквозные отверстия не допускаются. В поропласте ППУ-Э-60-0,4, используемом в качестве полупродукта для получения фильтров, допускаются воздушные включения диаметром 2—3 мм в количестве не больше 20 на  $1 \text{ м}^2$  и диаметром более 3 мм — не больше 10 на  $1 \text{ м}^2$ .

Указанные в маркировке поропласта величины кажущейся плотности и размера ячеек могут иметь отклонения в пределах, указанных ниже:

Марка поропласта	Кажущаяся плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$		Средний размер ячеек, мм	
	средний показатель	допустимое отклонение	средний показатель	допустимое отклонение
ППУ-Э-25-1,8	25	$\pm 5$	1,8	$\pm 0,3$
ППУ-Э-25-3,2	25	$\pm 5$	3,2	$\pm 0,5$
ППУ-Э-35-0,8	35	$\pm 3$	0,8	$\pm 0,2$
ППУ-Э-40-1,2	40	$\pm 5$	1,2	$\pm 0,2$
ППУ-Э-40-0,8	40	$\pm 5$	0,8	$\pm 0,2$
ППУ-Э-45-0,8	45	$\pm 5$	0,8	$\pm 0,2$
ППУ-Э-45-1,2	45	$\pm 5$	1,2	$\pm 0,2$
ППУ-Э-50-1,0	50	$\pm 5$	1,0	$\pm 0,4$
ППУ-Э-60-0,4	60	$\pm 10$	0,4	$\pm 0,1$

Физико-механические показатели материала приведены ниже:

Предел прочности при растяжении, $\text{кг}/\text{см}^2$ , не менее . . . . .	1,2 (для самозатухающего 1,0)
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее . . . . .	150 (для самозатухающего 120)
Эластичность по отскоку, %, не менее	15
Остаточная деформация при 50%-ном сжатии при $70^{\circ}\text{C}$ в течение 22 ч (или при $20^{\circ}\text{C}$ в течение 72 ч), %, не более . . . . .	10
Напряжение при сжатии, $\text{кг}/\text{см}^2$	
20%-ном . . . . .	0,025—0,075
40%-ном . . . . .	0,025—0,075
60%-ном . . . . .	0,040—0,115

Изменение свойств после циклического сжатия (50 циклов мин. до 70% исходной высоты, 250 000 циклов)

остаточная деформация, %, не более	10
относительное уменьшение напряжения сжатия при 50%-ной деформации, %, не более . . . . .	60

Характеристика водной вытяжки

pH . . . . .	5,5—7,0
содержание, %, не более	
хлор-иона . . . . .	0,08
сульфат-иона . . . . .	0,05

Эластичный полиуретановый поропласт находит применение в автомобильной, мебельной, авиационной, швейной, трикотажной промышленности и в других отраслях народного хозяйства. Используется для тепло- и звукоизоляции, в качестве амортизирующего, набивочного и настилочного материала, а также в качестве полупродукта для получения материала для фильтров. Поропласт уретановый эластичный мелкопористой структуры применяется для очистки воздуха от промышленных пылей в пылеулавливающих установках и в индивидуальных средствах защиты органов дыхания, а также для фильтрации жидкостей.

**Поропласт уретановый эластичный для воздушных фильтров ППУ-ЭФ (ТУ В-81—67).** Представляет собой легкую пористую пластмассу с полностью открытыми ячейками. Получается путем обработки щелочью эластичных полиуретановых поропластов различной пористости. Поропласт ППУ-ЭФ стоек к действию бензина, дизельного топлива, масел, спиртов и эфиров. Может применяться при температурах от  $-40$  до  $+100^{\circ}\text{C}$ . Выпускается в виде прямоугольных листов от белого до темно-желтого цвета. Физико-механические показатели поропласта приведены ниже:

	ППУ-ЭФ-1	ППУ-ЭФ-2	ППУ-ЭФ-3
Диаметр ячеек, мм . . . . .	$0,8 \pm 0,2$	$1,85 \pm 0,35$	$3,2 \pm 0,5$
Размер листов, мм, не более . . . . .	400×400×100		
Предел прочности при растяжении, $\text{кг/см}^2$ , не менее . . . . .	1,0	0,6	0,5
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее . . . . .	200	150	100
Относительная остаточная деформация при 50%-ном сжатии за 72 ч, %, не более . . . . .	15	15	15

Поропласт применяется в качестве фильтрующего материала для воздушных фильтров двигателей внутреннего сгорания. Фильтр с трехслойным фильтрующим элементом из ППУ-ЭФ позволяет увеличить степень очистки воздуха по сравнению с обычным фильтром от 97 до 99,7%. В результате износ двигателя вследствие абразивного действия частиц пыли уменьшается в 2—3 раза.

**Поропласт полиуретановый эластичный морозостойкий ППУ-ЭМ-1 (ТУ В-84—67).** Представляет собой открытоячеистый материал, получаемый при взаимодействии простого полиэфира с толуилендиизоцианатом в присутствии катализаторов, стабилизатора пены и воды. Выпускается в виде листов прямоугольной формы и размеров, указанных ниже:

Длина, мм		Ширина, мм		Толщина, мм	
средняя	допустимое отклонение	средняя	допустимое отклонение	средняя	допустимое отклонение
2000	$\pm 50$	1000	$\pm 50$	10—300	$\pm 2$ (при толщине 10—30 мм)
2000	$\pm 50$	850	$\pm 50$	10—300	$\pm 3$ (при толщине 30—50 мм)
1200	$\pm 30$	400	$\pm 10$	10—120	$\pm 4$ (при толщине 50—300 мм)

Поропласт должен удовлетворять следующим требованиям:

Кажущаяся плотность, $\text{кг/м}^3$ . . . . .	$50 \pm 5$	$40 \pm 5$	$30 \pm 5$
Предел прочности при растяжении, $\text{кг/см}^2$ , не менее . . . . .	1,3	1,2	1,1
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее . . . . .	170	150	150
Эластичность по отскоку, %, не менее . . . . .	40	30	20
Относительная остаточная деформация при 50%-ном сжатии за 72 ч, %, не более . . . . .	10	10	10
Напряжение сжатия при 40%-ной относительной деформации, $\text{кг/см}^2$ . . . . .	0,04—0,1	0,04—0,1	0,04—0,1
Морозостойкость, $^{\circ}\text{C}$ , не выше . . . . .	-50	-50	-50

Поропласт уретановый эластичный морозостойкий ППУ-ЭМ-1 применяется в качестве амортизационного, прокладочного, звуко- и теплоизоляционного материала, который может эксплуатироваться при низких температурах. ППУ-ЭМ-1 менее стоек к действию растворителей, чем описанные выше полиуретановые поропласты на основе сложных полиэфиров.

**Поропласт полиуретановый эластичный трудносгораемый ППУ-ЭТ (ТУ В-90—67).** Получается при взаимодействии сложного полиэфира П-2200 с ТДИ 65/35 в присутствии катализатора, стабилизатора пены, воды и твердых огнегасящих добавок. Эти добавки индифферентны к полиуретану и не вызывают его ускоренного старения. Они не вымываются водой и большинством растворителей.

Ниже приведены показатели основных физико-механических свойств поропласта ППУ-ЭТ:

Кажущаяся плотность, $кг/м^3$ . . . . .	30—40
Предел прочности при растяжении, $кг/см^2$ , не менее	1,0
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	100
Эластичность по отскоку, %, не менее . . . . .	15
Относительная остаточная деформация при 50%-ном сжатии за 72 ч, %, не более . . . . .	15
Напряжение сжатия, $кг/см^2$ , при относительной деформации	
20%-ной . . . . .	0,03—0,10
40%-ной . . . . .	0,05—0,13
Уменьшение напряжения сжатия при циклическом сжатии (25 000 циклов), %, не более . . . . .	50
Огнестойкость по методу огневой трубы, %, не более	22

Эластичный полиуретановый поропласт не поддерживает горение. По результатам испытания методом огневой трубы он может быть отнесен к разряду трудносгораемых материалов. Обладает бензо- и маслостойкостью. Интервал рабочих температур от  $-20$  до  $+100^\circ C$ . Поропласт тропикоустойчив и достаточно стоек к действию грибов. В процессе эксплуатации не выделяет летучих или токсичных веществ. Срок эксплуатации поропласта ППУ-ЭТ не отличается от срока эксплуатации обычного эластичного поропласта.

#### Жесткие пенополиуретаны

##### Пенополиуретан рецептуры № 3 (ВТУ ВНИИСС № 4—60).

Получается непосредственно на месте применения при взаимодействии разветвленного сложного полиэфира рецептуры № 3 (алкидной смолы на основе глицерина, адипиновой и себацтиновой кислот), выпускаемого по ВТУ ВНИИСС № 1—60, с продуктом ДУДЭГ или ДУДЭГ-2 в присутствии катализатора, стабилизатора пены и воды.

Смесь ДУДЭГ (ранее называлась ДУДЭГ 65/35) представляет собой продукт взаимодействия диэтиленгликоля с 2,4-толуиленизоцианатом (продукт 102-Т). По внешнему виду это вязкая жидкость от светло-желтого до темно-коричневого цвета. При хранении легко кристаллизуется. Закристаллизованный продукт расплавляют нагреванием до  $70—80^\circ C$  в условиях, предотвращающих контакт ДУДЭГ с влагой. Срок хранения ДУДЭГ 3 месяца. При хранении ДУДЭГ свыше 3 месяцев проводится анализ содержания НСО-групп. В случае соответствия этого показателя ТУ В-73—66 (содержание НСО-групп 28—31%) и отсутствия неплавких твердых или студнеобразных включений продукт может быть использован в производстве и после более длительного хранения.

Разработан и внедрен в производство продукт ДУДЭГ-2 (ТУ В-71—66), представляющий собой аддукт диэтиленгликоля и ТДИ 65/35. Поскольку в состав ДУДЭГ-2 кроме 2,4-толуиленизоцианата входит и менее активный 2,6-толуиленизоцианат, при переходе от ДУДЭГ к ДУДЭГ-2 необходимо проводить подбор условий вспенивания. При хранении в течение 3 месяцев ДУДЭГ-2 не кристаллизуется, если температура хранилища не ниже  $15^\circ C$ . В случае кристаллизации его расплавляют при нагревании до  $50—80^\circ C$ .

Гарантийный срок хранения ДУДЭГ-2 3 месяца, после чего необходима проверка соответствия требованиям ТУ. Как показали исследования, через 8—10 месяцев ДУДЭГ-2 сильно загустевает в результате полимеризации.

Пенополиуретан ППУ-3 обычно получается заливкой в изделия или формы в заводских условиях или на месте применения. Заливка может производиться как вручную (согласно указаниям технологической инструкции ВНИИСС № 10), так и с помощью специальных машин: ПУУН-2, ПУУН-3, ПЕНА-1 и др. По внешнему виду пенопласт ППУ-3 представляет собой мелкоячеистый материал от белого до светло-коричневого цвета с преобладанием закрытых ячеек. Сообщающиеся между собой (открытые) ячейки занимают обычно не более 3—5% всего объема пены. Преобладание закрытых ячеек делает этот материал пригодным для заливки и напыления в различных судовых конструкциях, для заливки радиоблоков, строительных конструкций.

Физико-механические показатели ППУ-3 приведены ниже:

Кажущаяся плотность, $кг/м^3$ . . . . .	45—60	100—120	140—160	180—220
Предел прочности при сжатии, $кг/см^2$ , не менее . . . . .	2,0	8,0	14,0	25,0
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ , не менее . . . . .	0,4	0,8	1,0	1,3
Усадка линейная при $120^\circ C$ за 24 ч, %, не более . . . . .	1,0	1,0	1,0	1,0
Водопоглощение за 24 ч, $кг/м^2$ , не более . . . . .	1,0	1,0	1,0	1,0

Заливка ППУ-3 производится при температуре не ниже  $15^\circ C$ . Но при этом поверхностные слои пены могут оказаться хрупкими и легко крошиться. Для предотвращения этого формы подогревают до  $60—70^\circ C$  и после заливки термостатируют их при этой же температуре.

Хорошие диэлектрические характеристики и достаточная механическая прочность ППУ-3 делают его пригодным для заливки радиоблоков, схем и различных малогабаритных устройств, для защиты последних от вибрации, тепла и механических перегрузок. Поскольку при этом ручная заливка приводит к образованию большого

количества отходов пены и удорожанию изделий, были сконструированы специальные машины для микроимпульсной заливки изделий МИЗ-2 и МИЗ-3.

Эти машины, отличающиеся высокой производительностью, позволяют приготовить и залить в изделия точно отмеренную дозу полиуретановой композиции и практически не дают отходов. Пенополиуретан ППУ-3 применяется для получения трехслойных конструкций, тепло- и звукоизоляционных, для отливки изделий в формах.

**Пенопласт полиуретановый жесткий самозатухающий ППУ-3С (ТУ ВНИИСС № 56 — 65).** Получается на основе того же сырья, которое применяется для получения ППУ-3. Но для уменьшения горючести в композицию вводится антипирен — трихлорэтилфосфат. Так же, как и ППУ-3, он представляет собой закрытоячеистый материал белого или различных оттенков желтого цвета. При эксплуатации (до 60°С) ППУ-3С не выделяет летучих или вредных веществ. Вследствие пластифицирующих свойств трихлорэтилфосфата у него резко снижается верхний предел рабочих температур (до 60°С вместо 100°С у ППУ-3).

Показатели физико-механических свойств пенопласта ППУ-3С представлены ниже:

Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	50—47
Предел прочности при сжатии, кг/см <sup>2</sup> , не менее	2,5
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> , не менее . . . . .	0,6
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 <sup>6</sup> гц, не более . . . . .	1,5 · 10 <sup>-3</sup>
Диэлектрическая проницаемость при 10 <sup>10</sup> гц, не более . . . . .	1,1
Содержание хлор-иона, %, не более . . . . .	0,08
pH водной вытяжки, не ниже . . . . .	4,0
Рабочие температуры, °С . . . . .	От -60 до +60
Коэффициент теплопроводности, ккал/(м·ч·град)	0,028—0,033
Водопоглощение за 24 ч, кг/м <sup>2</sup> , не более . . . . .	0,3

После вынесения из пламени материал должен затухать не позже, чем через 15 сек. Пенопласт выпускается в виде блоков размером 800 ± 15 × 600 ± 15 × 110 ± 15 мм. Применяется в качестве тепло- и звукоизоляционного материала.

**Пенополиуретан ППУ-3н (ТУ ВНИИСС № 67—66).** Предназначен для напыления на различные поверхности. По рецептуре он сходен с пенопластом ППУ-3С, но при напылении последнего трудно достигнуть хорошего смешения компонентов, а также предотвратить усадку готового пенопласта. Поэтому в композицию пенопласта ППУ-3н вводится дополнительный стабилизатор пены, который способствует быстрому перемешиванию композиции и делает пену менее подверженной усадке. По внешнему виду — это мелкоячеистая масса от белого до желтого цвета с бугристой поверхностью.

ППУ-3н должен удовлетворять требованиям, приведенным ниже:

Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	50—60
Предел прочности кг/см <sup>2</sup> , не менее	
при сжатии . . . . .	2,0
» статическом изгибе . . . . .	5,0
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> , не менее . . . . .	0,3
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 <sup>6</sup> гц, не более . . . . .	1,5 · 10 <sup>-3</sup>
Диэлектрическая проницаемость при 10 <sup>10</sup> гц, не более . . . . .	1,1
Усадка линейная при 60°С за 24 ч, %, не более	1,0
Рабочие температуры, °С . . . . .	От -60 до +60
Температура размягчения, °С, не менее . . . . .	70
Коэффициент теплопроводности, ккал/(м·ч·град), не более . . . . .	0,035
Водопоглощение за 24 ч, кг/м <sup>2</sup> , не более . . . . .	0,2

Пенопласт ППУ-3н относится к самозатухающим материалам. После удаления источника огня допускается самостоятельное горение его в течение не более 15 сек.

Пенопласт применяется для теплоизоляции фасонных, кривых и труднодоступных поверхностей. Наносится на предварительно обезжиренные и очищенные поверхности металлов, дерева, пластмасс разбрызгиванием струей сжатого воздуха. Композиция обладает достаточной адгезией ко всем обычно применяющимся материалам, кроме полиэтилена и дюралю. Для напыления на дюралювые изделия их необходимо предварительно загрунтовать.

**Пенопласт полиуретановый ППУ-304н (ТУ ВНИИСС № 68—66).** Получают смешением олигомера ДТ-500М, фосфорсодержащего полиэфира и полиизоцианата в присутствии катализатора, стабилизатора пены и вспенивающего агента. В качестве последнего могут быть использованы вода, фреон или их смесь. Наносится напылением аналогично пенопластам ППУ-3 и ППУ-3н. Напыление и вспенивание пенопласта производится при температуре не ниже 10°С.

Основные показатели физико-механических свойств ППУ-304н и ППУ-3н приведены ниже:

	ППУ-304н	ППУ-3н	
Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	45	60	75
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>			
при сжатии . . . . .	2	5	5,5
» статическом изгибе . . . . .	5	9	10
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> . . . . .	0,4	0,6	0,2
Коэффициент теплопроводности, ккал/(м·ч·град)	0,02	—	0,03
Водопоглощение за 24 ч, кг/м <sup>2</sup> . . . . .	0,1	0,1	0,14
Усадка линейная, % . . . . .	0,5 (80°С)	—	0,3 (60°С)
Температура размягчения, °С . . . . .	108	112	100
Горючесть			
потеря массы, % . . . . .	9	—	12
продолжительность самостоятельного горения, сек . . . . .	2	—	8,6

Требования, предъявляемые к пенопласту ППУ-304н по ТУ, приведены ниже:

Кажущаяся плотность, $кг/м^3$ . . . . .	30—50
Предел прочности, $кг/см^2$ , не менее	
при сжатии . . . . .	1,5
» статическом изгибе . . . . .	2,0
Усадка линейная при 70°С за 24 ч, %, не более . . . . .	1,0
Коэффициент теплопроводности, $ккал/(м \cdot ч \cdot град)$ , не более . . . . .	0,03
Температура размягчения, °С, не менее . . . . .	80
Водопоглощение за 24 ч, $кг/м^2$ , не более . . . . .	0,3

Ниже приведены свойства образцов пенопласта ППУ-304н с различной кажущейся плотностью после выдержки их в воде в течение 10 суток и последующего высушивания до постоянной массы при комнатной температуре.

Показатели	До пребывания в воде			После пребывания в воде		
	43	51	38	48	62	44
Кажущаяся плотность, $кг/м^3$ . . . . .	43	51	38	48	62	44
Предел прочности при статическом изгибе, $кг/см^2$ . . . . .	4,14	4,14	5,13	3,2	2,62	2,43
Теплостойкость, °С . . . . .	108	90	110	100	70	95
Горючесть						
потеря массы, % . . . . .	16	13	17	11	10	14
продолжительность самостоятельного горения, сек . . . . .	3	1,4	1,2	1	1	2

Поропласт ППУ-304н представляет собой однородную мелкоячеистую массу желтого или зеленовато-желтого цвета с бугристой поверхностью. Не растворяется в ацетоне, бутилацетате и четыреххлористом углероде. Он лишь слегка набухает в этих растворителях. Применяется для теплоизоляции различных поверхностей. После удаления источника пламени ППУ-304н горит не более 2 сек, после чего затухает. При испытании методом калориметрии по данным ЦНИИПО материал отнесен к группе трудновоспламеняемых.

**Пенопласты полиуретановые ППУ-305 и ППУ-305А (ТУ В-121—68).** Получают смешением простого полиэфира ксилитол-1000 и полиизоцианата в присутствии катализаторов, стабилизатора пены и вспенивающего агента. Композиция вспенивается и отверждается при комнатной температуре в течение 20—40 мин, но окончательное отверждение происходит через 5—6 суток. При 70°С полное отверждение достигается через 2—3 ч.

Отсутствие токсичных катализаторов и толуилдипиризоцианата позволяет работать с этой композицией в условиях естественного воздухообмена. Применение маловязкого простого полиэфира делает композицию очень подвижной, что позволяет ей заполнять без пустот длинные узкие полости изделий и форм.

Пенополиуретаны ППУ-305 и ППУ-305А отличаются только по составу стабилизатора пены. Если в первом в качестве стабилизатора используется кремнеорганическая добавка, то во втором — ОП-7 или ОП-10.

Ниже приведены основные физико-механические показатели пенополиуретанов:

	ППУ-305	ППУ-305А
Кажущаяся плотность, $кг/м^3$ . . . . .	35—55	180—220 300—350
Предел прочности при сжатии, $кг/см^2$ , не менее . . . . .	2,4	25 70
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	0,2	0,6 1
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^3$ $гц$ , не более	—	$6 \cdot 10^{-3}$ $8 \cdot 10^{-3}$
Диэлектрическая проницаемость, не более . . . . .	—	1,5 3
Усадка линейная при 110°С за 4 ч, %, не более . . . . .	1	1 1
Теплостойкость, °С, не ниже	120	120 120
Водопоглощение за 24 ч, $кг/м^2$ , не более . . . . .	0,1	— 0,1
Коэффициент теплопроводности, $ккал/(м \cdot ч \cdot град)$ , не более . . . . .	0,03	— 0,03

Пенопласт ППУ-305 используют в качестве теплоизоляционного легкого заполнителя различных конструкций, радиоблоков и других изделий.

**Пенопласт полиуретановый ППУ-9н (ТУ В-79—67).** Получается при взаимодействии полиэфира П-9 и хлорсодержащего диизоцианата в присутствии катализатора, стабилизатора пены и пламягасящей добавки. По физико-механическим показателям пеноматериал ППУ-9н должен удовлетворять следующим требованиям:

Кажущаяся плотность, $кг/м^3$ . . . . .	50—70
Предел прочности, $кг/см^2$ , не менее	
при сжатии . . . . .	2,0
» статическом изгибе . . . . .	4,0
Усадка линейная при 65°С за 24 ч, %, не более . . . . .	1,0
Коэффициент теплопроводности, $ккал/(м \cdot ч \cdot град)$ , не более . . . . .	0,05
Температура размягчения, °С, не ниже . . . . .	75
Водопоглощение за 24 ч, $кг/м^2$ , не более . . . . .	0,3

Пенопласт ППУ-9н предназначен для напыления на различные поверхности с целью теплоизоляции. По внешнему виду представляет собой бугристую однородную массу белого или желтого цвета.

При вынесении из пламени самостоятельно горит не более 15 сек. В процессе напыления ППУ-9н выделяет значительно меньше токсичных веществ, чем ППУ-3, поэтому он может применяться в шахтах, закрытых помещениях и т. п.

**Пенополиуретан ПУ-101 (СТУ 35-ХП-674 — 64).** Представляет собой жесткий материал с замкнутоячейной структурой. Выпускается трех марок — ПУ-101, ПУ-101А и ПУ-101Б.

Основными исходными компонентами при получении пенопластов типа ПУ-101 являются полиэфиры (продукты взаимодействия двухосновных кислот с многоатомными спиртами, содержащие свободные гидроксильные и карбоксильные группы) и диизоцианаты (смесь изомеров 2,4- и 2,6-толуилендиизоцианата).

Смешение компонентов производится в специальном смесителе, готовую смесь выливают в ограничительные формы (соответствующие конфигурации заданного изделия), в которых проводят вспенивание и отверждение образующегося пенопласта. В зависимости от состава исходной смеси и требований, предъявляемых к получаемому материалу, процессы вспенивания и отверждения могут происходить при комнатной температуре или при нагревании (50—120°С). Ниже приведены основные показатели свойств этого материала:

	ПУ-101	ПУ-101А	ПУ-101Б
Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	100	220	60
Предел прочности при сжатии, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	8,0	25	2
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> . . . . .	0,4	0,6	0,5
Диэлектрическая проницаемость при 10 <sup>10</sup> гц . . . . .	1,1	1,23	1,05
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 <sup>10</sup> гц . . . . .	0,0015	0,005	0,001
Усадка линейная за 24 ч, %, не более . . . . .	0,3 (при 150°С)	0,5 (при 170°С)	0,6 (при 130°С)
Верхний предел рабочих температур, °С . . . . .	130—150	170	100
Коэффициент теплопроводности, ккал/(м·ч·град) . . . . .	0,027	0,049	0,021
Водопоглощение за 24 ч, кг/м <sup>2</sup> . . . . .	0,1	0,1	0,2

Недостатком пенопластов типа ПУ-101 является их горючесть. Этот недостаток можно устранить изменением рецептур или введением в их состав специальных добавок. Кроме того, к недостаткам необходимо отнести и чересчур большую вязкость полиэфира, что делает невозможным использование машин для заливки его в изделия.

Пенопласты типа ПУ-101 могут применяться в качестве легких силовых и радиотехнических заполнителей слонстых конструкций и заливочных компаундов, а также в производстве изделий теплоизо-

ляционного и радиотехнического назначения, плавучих и непотопляемых средств, для изготовления изделий, устойчивых к действию бензина, керосина и органических масел. Из них можно получать различные профилированные изделия.

Пенопласты типа ПУ-101 могут изготавливаться непосредственно на местах применения.

**Пенопласт ПУ-101Т.** Представляет собой материал на основе полиэфира № 56. По сравнению с пенопластом ПУ-101 обладает более высокой теплостойкостью (200°С) и повышенной прочностью при сжатии.

Вспенивание композиции происходит при 40—50°С в формах или замкнутых элементах конструкций с последующим отверждением по одному из следующих режимов:

При 100°С . . . . .	20 ч
» 150°С . . . . .	12 ч
» 200°С . . . . .	4 ч

Пенопласт выпускается с кажущейся плотностью от 150 до 400 кг/м<sup>3</sup>.

#### Физико-механические свойства пенопласта \* ПУ-101Т

	20°С	200°С
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>		
при растяжении . . . . .	27,0	10,5
» сжатии . . . . .	34,4	6,3—11,3
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> . . . . .	0,43	0,35
Коэффициент теплопроводности, ккал/(м·ч·град) . . . . .	0,0393	0,0620
Коэффициент термического линейного расширения, град <sup>-1</sup> . . . . .	40,0·10 <sup>-6</sup> (при 20—40°С)	100·10 <sup>-6</sup> (при 190—200°С)
Водопоглощение за 24 ч, кг/м <sup>2</sup>	0,3	—

\* Кажущаяся плотность 200 кг/м<sup>3</sup>.

#### Электрические свойства пенопласта \* ПУ-101Т

	20°С	200°С
Удельное электрическое сопротивление		
объемное, ом·см . . . . .	1,2·10 <sup>14</sup>	1,2·10 <sup>13</sup>
поверхностное, ом . . . . .	1,2·10 <sup>14</sup>	1,2·10 <sup>14</sup>
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 <sup>10</sup> гц . . . . .	0,005	0,010
Диэлектрическая проницаемость при 10 <sup>10</sup> гц . . . . .	1,25	1,27
Электрическая прочность, кв·мм . . . . .	1,65	—

\* Кажущаяся плотность 200 кг/м<sup>3</sup>.

**Пенопласт ПУ-102В.** Представляет собой полиэфиризоцианатную композицию, полученную модификацией пенопласта ПУ-101.

По своим упругоэластичным свойствам ПУ-102В превосходит пенопласт ПУ-101. Кажущаяся плотность пенопласта  $120 \pm 20 \text{ кг/м}^3$ . Основные физико-механические и электрические свойства его представлены ниже:

**Физико-механические свойства пенопласта \* ПУ-102В**

	-60° С	20° С	80° С
Предел прочности, $\text{кг/см}^2$ при растяжении . . . . .	13,5—18,9	4,8—8,3	2,2— 2,3
» сжатия (10%-ная деформация) . . .	5,3—8,4	1,6—2,2	0,7— 1,2
Относительное удлинение при разрыве, % . .	1,8—2,7	15,0—22,0	7,8—14,0
Коэффициент теплопроводности, $\text{ккал/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град)}$ . . . . .	—	0,040	—
Удельная теплоемкость, $\text{ккал/(кг} \cdot \text{град)}$ . . .	—	0,37	0,40
Водопоглощение за 24 ч, $\text{кг/м}^2$ . . . . .	—	0,13—0,16	—
Маслопоглощение за 24 ч, $\text{кг/м}^2$ . . . . .	—	0,116	—

\* Кажущаяся плотность  $120 \pm 20 \text{ кг/м}^3$ .

**Электрические свойства пенопласта \* ПУ-102В при  $10^{10}$  гц**

	20° С	80° С
Удельное объемное электрическое сопротивление, $\text{ом} \cdot \text{см}$ . . . . .	$7,5 \cdot 10^{13}$	$10 \cdot 10^{13}$
Тангенс угла диэлектрических потерь . . . . .	0,0079	0,014
Диэлектрическая проницаемость . . . . .	1,16	1,2
Электрическая прочность, $\text{кв/мм}$ . . . . .	1,7	1,7

\* Кажущаяся плотность  $130 \text{ кг/м}^3$ .

Пенопласт ПУ-102В получают в виде плит или непосредственным вспениванием композиции в конструкциях при  $30—70^\circ \text{С}$ ; отверждение происходит при  $100^\circ \text{С}$  в течение 1—3 ч.

**ВСПЕНЕННЫЕ ПЛАСТМАССЫ НА ОСНОВЕ  
МОЧЕВИНО-ФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ**

Мочевино-формальдегидные вспененные пластмассы одними из первых начали использоваться для теплоизоляции. Доступность и дешевизна исходного сырья, негорючесть, хорошие теплоизоляционные свойства и относительная простота изготовления определяют интерес к этим материалам.

Наряду с положительными свойствами вспененные мочевино-формальдегидные пластмассы имеют ряд недостатков, ограничивающих их применение. К этим недостаткам относятся незначительная прочность, хрупкость, преобладание в структуре открытых ячеек и высокая паропроницаемость, вызывающая необходимость гидроизоляции.

Вспенивание мочевино-формальдегидных смол производится смешением водных растворов или дисперсий смолы и отвердителя с воздухом в присутствии добавок, повышающих устойчивость пены.

Сушку и отверждение полученной пены проводят при комнатной или несколько повышенной температуре. Вспенивание производится в периодически действующих смесителях или в смесителях непрерывного действия. Основное применение мочевино-формальдегидные пены получили в строительстве для теплоизоляции стен, кровли, чердаков, а также для изоляции холодильников.

**Мипора (МРТУ 6-05-1112 — 68).** Представляет собой жесткий пеноматериал белого цвета открытой пористой структуры с низкими значениями кажущейся плотности (от  $12 \text{ кг/м}^3$  и выше), вследствие чего этот материал имеет низкий коэффициент теплопроводности [ $0,022—0,026 \text{ ккал/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град)}$ ]. Получается при механическом смешении водорастворимой мочевино-формальдегидной смолы с другими компонентами.

К достоинствам мипоры следует отнести ее малую горючесть и повышенную теплостойкость (до  $95—100^\circ \text{С}$ ); кратковременно она может эксплуатироваться при более высоких температурах (до  $140—150^\circ \text{С}$ ).

Не обладая достаточной прочностью, мипора обычно используется только в качестве теплоизоляционной прокладки между стенками. В зависимости от свойств и областей применения мипора выпускается двух марок: М и Н.

Мипора М служит теплоизоляционным материалом общего назначения, мипора Н обладает пониженной горючестью и применяется для теплоизоляции кислородных установок, сосудов для хранения и перевозки жидкого кислорода, холодильных камер и вагонов.

Основные свойства мипоры приведены ниже:

	Мипора М	Мипора Н
Кажущаяся плотность, $\text{кг/м}^3$ . . . . .	10—20	10—20
Содержание влаги, %, не более . . . . .	15	12
Коэффициент теплопроводности, $\text{ккал/(м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град)}$ , не более . . . . .	0,035	0,026
Прочность при сжатии . . . . .	Мипора должна выдерживать нагрузку на сжатие не менее $0,25 \text{ кг/см}^2$ без разрушения	
Эластичность . . . . .	При нагрузке $0,1 \text{ кг/см}^2$ объем мипоры должен уменьшиться не более чем на 4,5%	
Содержание свободного формальдегида, $\text{мг/дм}^3$ , не более . . . . .	50	50
Горючесть . . . . .	При $500^\circ \text{С}$ материал должен обугливаться, но не загораться	Должна выдерживать пробу на воспламеняемость в кислороде

Выпускается мипора в виде блоков размерами не менее  $100 \times 460 \times 200 \text{ мм}$ . Блоки должны иметь равномерную кажущуюся плотность. Допускается искривление поверхности по длине блока до 30 мм и по ширине до 15 мм, притупление ребер до 10 мм.

Мипора нашла широкое применение в качестве теплоизоляционного заполнителя в различного рода холодильниках, а также железнодорожных вагонах. Для сохранения теплоизоляционных свойств мипоры (учитывая ее способность к влагопоглощению) ее предварительно упаковывают в водонепроницаемые пленки и в таком виде закладывают между стенками. Мипора в настоящее время является самым доступным и дешевым пеноматериалом.

**Пенопласт МФП-1 (МРТУ 6-05-1064 — 67).** Получается на месте потребления на основе водной дисперсии мочевино-формальдегидной смолы МФ и вспенивающего и отверждающего агента АВО.

Дисперсия смолы МФ — прозрачная или молочно-белая жидкость с запахом формальдегида. Она поставляется в бидонах и может храниться в течение 8—10 недель.

Вспенивающий агент (АВО) — водный раствор поверхностно-активного вещества (контакт Петрова), фосфорной кислоты и некоторых других добавок, улучшающих процесс образования пены. По внешнему виду — это низковязкая желтоватого цвета жидкость, выпускается по МРТУ 6-05-1063—67. На заводе готовят концентрированный раствор АВО, который перед использованием разбавляют водой (9 вес. ч. воды на 1 вес. ч. АВО).

Получение пеноматериала заключается в смешении смолы, АВО и воздуха. Для этого создана специальная пневматическая установка, которую можно легко передвигать и доставлять непосредственно на место заливки: на строительство, в цех и т. д. Производительность машины до  $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Образующаяся в машине сырая пена пластична и легко заполняет все пустоты. В течение 2—4 ч пена становится твердой и через 2—7 суток окончательно высыхает. В процессе отверждения и сушки возможна линейная усадка пеноматериала, которая ликвидируется дополнительной заливкой материала по периметру изделия. Материал обладает хорошими тепло- и звукоизоляционными свойствами. Может применяться в качестве теплоизолирующего материала в строительных конструкциях, холодильных установках и др.

Показатели физико-механических свойств пеноматериала МФП приведены ниже:

Кажущаяся плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$ . . . . .	10—25
Водопоглощение за 24 ч, $\text{кг}/\text{м}^2$ . . . . .	0,5—1,1
Коэффициент теплопроводности, $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град})$	0,026—0,028
Рабочие температуры, $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	От $-60$ до $+100$

#### ВСПЕНЕННЫЕ ПЛАСТМАССЫ НА ОСНОВЕ ФЕНОЛО-ФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ

При вспенивании феноло-формальдегидных смол образуются теплоустойкие, негорючие материалы, служащие прекрасными теплоизоляторами, хорошо поглощающие звук, стойкие к различным хи-

мическим реагентам. Однако феноло-формальдегидные пеноматериалы очень хрупкие, что затрудняет возможность их применения. Для упрочнения пенопластмасс на основе феноло-формальдегидных смол предложены различные методы модификации. Так, можно наполнять исходную смолу стекловолокном или перлитовым песком (ФС-7-2), добавлять порошкообразные минеральные наполнители (ФФ) или нитрильный каучук (ФК-20, ФК-40).

Феноло-формальдегидные пеноматериалы можно получать как на стационарных установках (ФФ, ФС-7-2), так и непосредственно на месте применения из вспененных полуфабрикатов. При этом в одних случаях требуется подогрев изделия (ФК), а в других — процесс вспенивания и отверждения проходит и заканчивается в изделии при комнатной температуре без всякого подогрева (ФРП-1).

**Пенопласт ФФ (СТУ 14-419—63).** Выпускается в виде плит размером  $450 \times 260 \times 45 \text{ мм}$  или формованных изделий. Исходным материалом служит смола новолачного типа № 18, отвердителем — уротропин, а в качестве газообразователя применяют динитрил азо-бис-изомасляной кислоты (порофор ЧХЗ-57). При использовании промышленных новолачных смол можно получать пеноматериал с кажущейся плотностью от 150 до  $550 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Ниже приводятся основные физико-механические показатели пенопласта ФФ:

Кажущаяся плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$ . . . . .	170—210
Предел прочности, $\text{кг}/\text{см}^2$ , не менее	
при растяжении . . . . .	11,8
» сжатии . . . . .	10
» статическом изгибе . . . . .	6,2
Удельная ударная вязкость, $\text{кг} \cdot \text{см}/\text{см}^2$ , не менее . . . . .	0,2
Диэлектрическая проницаемость при $10^{10} \text{ гц}$ . . . . .	1,31
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^{10} \text{ гц}$	0,01
Коэффициент теплопроводности, $\text{ккал}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{град})$	
при $-90^{\circ}\text{C}$ . . . . .	0,036
» $+25^{\circ}\text{C}$ . . . . .	0,052
Коэффициент термического линейного расширения, $\text{град}^{-1}$ . . . . .	$3,5 \cdot 10^{-5}$
Усадка линейная при $150^{\circ}\text{C}$ за 24 ч, %, не более . . . . .	1,3
Рабочие температуры, $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	От $-60$ до $+150$
Водопоглощение за 24 ч, $\text{кг}/\text{м}^2$ , не более . . . . .	0,2

Плиты легко обрабатываются и склеиваются глифталевым клеем АМК.

**Пенопласт ФС-7-2 (МРТУ 6-05-958 — 65).** Выпускается в виде пористых плит, изготавливаемых из сплава новолачной феноло-формальдегидной смолы с твердой фурфуролацетоновой смолой ФА-15 и с добавкой уротропина, порофора ЧХЗ-57 и наполнителя — вспененного перлита, или вермикулита, или стекловолокна. Основные



показатели физико-механических свойств этого материала и размеры плит приведены ниже:

Размер плит, мм . . . . .	1200×1900; 1000×500; 1200×600; 1200×900
Толщина, мм . . . . .	25, 30, 35, 40, 50, 60
Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup> , не более . . . . .	70—100
Предел прочности при статическом изгибе, кг/см <sup>2</sup> , не менее . . . . .	
с оберточной бумагой . . . . .	3,0—4,0
с конденсаторной » . . . . .	2,0—2,5
Коэффициент теплопроводности, ккал/(м·ч·град) . . . . .	0,045
Водопоглощение за 24 ч, %, не более . . . . .	8,5—100
Влажность, %, не более . . . . .	2

Материал легко обрабатывается, склеивается, но довольно хрупок. Применяется для теплоизоляции стальных корпусов судов всех классов и назначений, а также других поверхностей, работающих при температурах до 100°С.

**Пенопласт ФК-20 (СТУ 14-419 — 63).** Выпускается в виде плит и формованных изделий. Композиция для получения пенопластов ФК состоит из смеси феноло-формальдегидной новолачной смолы № 18, нитрильного каучука СКН-40, порофора ЧХЗ-57 и отвердителя (уротропина). Плиты пенопласта ФК-20 имеют закрытые ячейки, размеры их не менее 450 × 260 × 45 мм.

Ниже приведены физико-механические показатели этого материала:

Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	170—210
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>	
при растяжении . . . . .	20,0
» сжатии . . . . .	8
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> . . . . .	0,8
Диэлектрическая проницаемость при 10 <sup>6</sup> гц . . . . .	1,3
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 <sup>6</sup> гц . . . . .	0,01
Коэффициент теплопроводности, ккал/(м·ч·град)	
при -90°С . . . . .	0,037
» +25°С . . . . .	0,052
Коэффициент термического линейного расширения, град <sup>-1</sup> . . . . .	36·10 <sup>-6</sup>
Усадка линейная при 120°С за 24 ч, %, не более . . . . .	1,0
Верхний предел рабочих температур, °С . . . . .	120
Водопоглощение за 24 ч, кг/м <sup>2</sup> , не более . . . . .	0,2

В лабораторных условиях на основе промышленного сырья разработан способ получения плиточного пенопласта ФК-20 небольшой кажущейся плотности. Свойства его приведены ниже:

Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	50	70	100
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>			
при сжатии . . . . .	2,2	3,0	4,5
» статическом изгибе . . . . .	2,8	5,0	8,5
Усадка линейная при 130°С за 24 ч, % . . . . .	0,53	0,49	0,40
Коэффициент теплопроводности, ккал/(м·ч·град) . . . . .	0,035	0,041	0,049

Пенопласт ФК-20 горюч, длительное нагревание при температуре выше 125°С на воздухе приводит к обугливанию и постепенному разрушению материала. В отсутствие непосредственного контакта с воздухом материал сохраняет форму и некоторый запас прочности при длительном воздействии температур до 150°С и кратковременном (2—3 ч) воздействии температур до 200°С. При -60°С предел прочности пенопласта при сжатии увеличивается на 40%, а удельная ударная вязкость уменьшается в 3 раза. При 150°С оба показателя уменьшаются на 25—30%.

Материал не вызывает коррозии стали, алюминиевых и магниевых сплавов. Применяется в качестве силового наполнителя слоистых конструкций, работающих при повышенных температурах, для производства теплоизоляционных изделий. Поддается всем видам механической обработки, легко склеивается с другими материалами.

Для вспенивания непосредственно на месте применения материал ФК-20 выпускается в виде вальцованного и шприцованного полуфабрикатов (СТУ 9-463—62). Шприцованный полуфабрикат ФК-20 нарезается на прутки и укладывается в фанерные или деревянные ящики и периодически прокладывается бумагой. Вальцованный полуфабрикат упаковывается в деревянные ящики, выложенные внутри бумагой. Каждый ряд полуфабриката прокладывается бумагой. Полуфабрикаты ФК-20 должны храниться в закрытом помещении при температуре не выше 25°С. Допустимый срок хранения — 3 месяца. При хранении до 6 месяцев материал может быть применен только при соответствии показателям технических условий.

**Пенопласт ФК-20-А-20 (СТУ 9-463 — 62).** Выпускается в виде полуфабриката. Пенопласт по составу и свойствам весьма похож на ФК-20. От последнего отличается наличием алюминиевой пудры, которая сообщает материалу большую теплостойкость. Пенопласт ФК-20-А-20 сохраняет свои геометрические размеры и прочность при длительном нагревании на воздухе при 200°С.

При отсутствии непосредственного контакта с воздухом пенопласт может кратковременно эксплуатироваться при 330—350°С. Так же, как и ФК-20, этот материал горюч. Основные физико-механические показатели ФК-20-А-20 приведены ниже:

Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	200
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>	
при растяжении . . . . .	15,3
» сжатии . . . . .	23
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	2,0
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> . . . . .	0,74
Линейная усадка при 200°С за 24 ч %, не более . . . . .	2,0
Коэффициент теплопроводности, ккал/(м·ч·град), не более . . . . .	0,063
Коэффициент термического линейного расширения, град <sup>-1</sup> . . . . .	31·10 <sup>-6</sup>
Водопоглощение за 24 ч, кг/м <sup>2</sup> не более . . . . .	0,09

Из вальцованных или шприцованных полуфабрикатов можно получить плиточные или формованные изделия и легкие заполнительные конструкции с кажущейся плотностью 150—550 кг/м<sup>3</sup>. Пенопласт ФК-20-А-20 применяется в качестве силового и теплоизоляционного заполнителя конструкций, работающих при повышенных температурах.

**Пенопласт ФК-40 (СТУ 9-463 — 62).** Выпускается в виде вальцованного или шприцованного полуфабриката. Отличается от других пенопластов типа ФК своей высокой упругостью, что дает возможность использовать его в качестве силового и демпфирующего материала. В сочетании с металлическими и другими типами облицовок (в слоистых конструкциях) этот материал способен выдерживать вибрационные колебания при температурах около — 50° С в течение длительного времени.

Размеры и физико-механические свойства пенопласта ФК-40 существенно не меняются при нагревании на воздухе при 80° С. В отсутствие непосредственного контакта с воздухом (заполнитель слоистых конструкций) пенопласт марки ФК-40 может эксплуатироваться кратковременно при 120—130° С.

Из вальцованного и шприцованного полуфабрикатов, выпускаемых промышленностью, можно получать плиточные пенопласты, формованные изделия и легкие пенозаполнительные конструкции с кажущейся плотностью от 150 до 550 кг/м<sup>3</sup>.

Ниже приводятся основные показатели свойств пенопласта ФК-40:

Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	200
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>	
при растяжении . . . . .	7,8
» сжатии . . . . .	2,0
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	12—14
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> . . . . .	2,16
Линейная усадка при 80° С за 24 ч %, не более . . . . .	1,0
Коэффициент теплопроводности, ккал/(м·ч·град) . . . . .	0,063
Коэффициент термического линейного расширения, град <sup>-1</sup> . . . . .	78 · 10 <sup>-6</sup>
Водопоглощение за 24 ч, кг/м <sup>2</sup> . . . . .	0,3

Недостатком пенопласта ФК-40 является его горючесть и нестабильность упругих свойств при температурах ниже — 10 и выше +80° С.

Из-за высокого содержания нитрильного каучука повышается нижний температурный предел его эксплуатации. При температурах ниже — 10° С ФК-40 становится хрупким.

**Заливочный пенопласт ФРП-1 (ВТУ ВНИИСС № 50 — 65).** Представляет собой жесткий газонаполненный материал розового цвета, получаемый при вспенивании с последующим отверждением феноло-формальдегидной смолы резольного типа.

Пенопласт ФРП-1, в отличие от блочных феноло-формальдегидных пенопластов ФФ, ФК и ФС-7-2, получают на месте применения

заливкой композиции непосредственно в изделия, конструкции и формы любых размеров и конфигураций.

Композиция для получения пенопласта ФРП-1 состоит из двух компонентов: резольной смолы ФРВ-1, представляющей собой полидисперсную смесь первичных продуктов конденсации фенола с формальдегидом в присутствии щелочного катализатора и специальных добавок, и продукта ВАГ, который применяется в качестве вспенивающего и отверждающего агента.

Вспенивание и отверждение композиции осуществляют в течение нескольких минут при атмосферном давлении без нагревания.

Сформованный материал имеет однородную мелкоячеистую структуру без раковин. Лишь при заливке крупногабаритных изделий возможно образование раковин диаметром до 25 мм в донной части изделия. На поверхности пеноматериала образуется более плотный слой толщиной 1—10 мм, который придает блоку пеноматериала несколько большую прочность и служит гидрозащитой. Так, при средней кажущейся плотности 40—60 кг/м<sup>3</sup> пеноматериал может иметь кажущуюся плотность в центре изделия 20 кг/м<sup>3</sup>, а во внешнем слое — до 80 кг/м<sup>3</sup>. Подогревая формы до 40—50° С, можно получить материал более однородный по кажущейся плотности. Ниже приведены физико-механические показатели ФРП-1:

Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	40—60
Предел прочности при сжатии, кг/см <sup>2</sup> , не менее . . . . .	0,5 *
Коэффициент теплопроводности при 20° С, ккал/(м·ч·град), не более . . . . .	0,04
Температура длительной эксплуатации, °С . . . . .	130
Водопоглощение за 24 ч при 96%-ной относительной влажности, вес. %, не более . . . . .	25 *

\* Со снятым поверхностным слоем.

Пенопласт ФРП-1 содержит 40—50% закрытых ячеек и поэтому при эксплуатации его необходимо защищать от попадания воды. При температурах, превышающих 130° С, ФРП-1 при контакте с воздухом вследствие термоокислительной деструкции быстро теряет прочность. В закрытых формах при отсутствии контакта с воздухом пеноматериал способен выдерживать значительные температуры. При сварочных работах на поверхности изделия теплоизоляционный слой пенопласта в местах сварки обугливается и частично теряет прочность, но не сторае и не разрушается. Огнестойкость пеноматериала ФРП-1 весьма высока. Он относится к группе труднотгораемых материалов. При длительном воздействии открытого огня пеноматериал не плавится, медленно обугливается и разрушается. После вынесения из огня пеноматериал горение не поддерживает. ФРП-1 стоек к действию большинства растворителей, пластификаторов, масел, лаков, нефтепродуктов. Набухает без растворения в спиртах и ацетоне. Разрушается при действии концентрированных сильных кислот и щелочей.

### ВСПЕНЕННЫЕ ПЛАСТМАССЫ НА ОСНОВЕ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ

Пеноматериалы на основе эпоксидных смол обычно получают при использовании органических газообразователей, разлагающихся при нагревании, или фреонов. Чаще других используется порофор ЧХЗ-57. Для отверждения вспененных эпоксидных смол применяют аминные отвердители — различные алифатические и ароматические амины: диэтилендиамин, гексаметилендиамин, полиэтиленполиамины, *m*-фенилендиамин, *n*, *n'*-диаминодифенилметан и др.

Для образования устойчивой пены, не разрушающейся при нагревании, в композицию обычно добавляют поверхностно-активные вещества. Для повышения прочности и теплостойкости можно использовать некоторые добавки. Так, в пенопласт ПЭ-2 для повышения его теплостойкости вводят 2,4-толуиленизоцианат. Для снижения горючести в композицию добавляют хлорэндиковую кислоту.

**Пенопласт ПЭ-1 (ВТУ ВНИИСС № 14—62).** Получается из эпоксидной смолы ЭД-6 и *m*-фенилендиамина. В качестве вспенивающего агента используется азо-бис-динитрил изомасляной кислоты, а в качестве стабилизатора пены — выравниватель А.

Пенопласт ПЭ-1 представляет собой жесткий, преимущественно замкнутоячеистый материал, который применяется для заполнения трехслойных конструкций, в качестве конструкционного материала, для тепло- и звукоизоляции, а также для отливки различных изделий в формах.

Изделия, получаемые из этого пенопласта, могут быть любой формы и любых размеров. При больших объемах заливку можно осуществлять последовательно послойным вспениванием. При заливке армированных изделий поверхность армирующих деталей должна быть тщательно обезжирена и освобождена от следов ржавчины. При необходимости предотвратить прилипание массы к стенкам формы, их делают полированными или хромированными и дополнительно внутренние полости форм выкладывают бумагой или смазывают смазками СКТ или Ц-221. Замкнутые формы должны иметь отверстие для заливки, которое перед вспениванием закрывают резьбовой пробкой. Для выхода воздуха из формы в процессе вспенивания в крышке формы делают отверстия диаметром 1—2 мм.

Рассчитанные количества компонентов (кроме *m*-фенилендиамина) перемешивают при 60—70°С в течение 10—30 мин до получения однородной массы. Затем в смеситель вводят расплавленный *m*-фенилендиамин, перемешивают еще 10—20 мин и разливают в форму. Форму с композицией выдерживают при 50—60°С в течение 30—40 мин (температура и продолжительность выдержки подбираются для каждого вида изделий и зависят от его габаритов). Затем температуру повышают до 110—120°С и изделие выдерживают еще 1—2 ч. Минимальная температура окончательного отвер-

ждения изделий из пенопласта ПЭ-1 не ниже 95°С. При этом продолжительность выдержки составляет 2—3 ч.

Пенопласт ПЭ-1 должен удовлетворять следующим требованиям:

Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	90—110	180—220	280—320
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup> , не менее			
при сжатии . . . . .	7	20	50
» статическом изгибе . . . . .	14	35	70
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> , не менее . . . . .	0,6	0,8	1,5
Усадка линейная при 100°С за 24 ч, % , не более . . . . .	1,0	1,0	1,0
Водопоглощение за 24 ч, кг/м <sup>2</sup> , не более . . . . .	1,0	1,0	1,0

Ниже приводятся зависимости некоторых свойств пенопласта ПЭ-1 от температуры и кажущейся плотности:

#### Зависимость предела прочности при сжатии пенопласта ПЭ-1 от температуры и кажущейся плотности

Предел прочности при сжатии, кг/см <sup>2</sup>	Кажущаяся плотность	
	100 кг/м <sup>3</sup>	200 кг/м <sup>3</sup>
при -60°С . . . . .	11,8	43,0
» 20°С . . . . .	9,9	25,5
» 60°С . . . . .	9,01	23,5
» 100°С . . . . .	6,5	17,3
» 120°С . . . . .	4,4	18,4

#### Зависимость усадки пенопласта ПЭ-1 от температуры и кажущейся плотности

Усадка линейная, %	Кажущаяся плотность	
	100 кг/м <sup>3</sup>	200 кг/м <sup>3</sup>
при 60°С		
6 ч . . . . .	0,11	0,08
24 ч . . . . .	0,14	0,08
48 ч . . . . .	0,17	0,08
при 100°С		
12 ч . . . . .	0,33	0,17
24 ч . . . . .	0,50	0,25
при 120°С		
24 ч . . . . .	0,16	—
48 ч . . . . .	0,23	—
при 150°С		
12 ч . . . . .	2,40	1,60
24 ч . . . . .	3,10	1,80
48 ч . . . . .	5,70	2,50

**Пенопласт ПЭ-2 (ВТУ ВНИИСС № 14—62).** Отличается от ПЭ-1 несколько более высокой теплостойкостью, обеспечиваемой за счет добавления в композицию 2,4-толуиленизоцианата

(продукт 102-Т). При этом лишь несколько меняется режим смешения композиции: после перемешивания композиции, не содержащей м-фенилендиамина, при 60—65°С в течение 10—15 мин смесь выдерживают без перемешивания при той же температуре 4—5 ч (или 16 ч при комнатной). Затем вводят расплавленный м-фенилендиамин и смесь после перемешивания в течение 10—25 мин разливают в формы и нагревают так же, как и ПЭ-1. Пенопласт ПЭ-2 должен удовлетворять следующим требованиям:

Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	90—110	180—220	280—320
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup> , не менее			
при сжатии . . . . .	7	20	50
» статическом изгибе . . . . .	14	35	70
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> , не менее . . . . .	0,6	0,8	1,5
Усадка линейная при 130°С, %, не более . . . . .	1,0	1,0	1,0
Водопоглощение за 24 ч, кг/м <sup>2</sup> , не более . . . . .	1,0	1,0	1,0

Ниже приведены зависимости некоторых свойств пенопласта ПЭ-2 от температуры и кажущейся плотности:

**Зависимость предела прочности пенопласта ПЭ-2 при сжатии от температуры и кажущейся плотности**

Предел прочности при сжатии, кг/см <sup>2</sup>	Кажущаяся плотность	
	100 кг/м <sup>3</sup>	200 кг/м <sup>3</sup>
при -10°С . . . . .	12,2	54,4
» 20°С . . . . .	10,5	26,8
» 60°С . . . . .	8,7	27,1
» 100°С . . . . .	7,8	23,1
» 120°С . . . . .	6,8	24,7
» 150°С . . . . .	3,6	19,7

**Зависимость усадки пенопласта ПЭ-2 от температуры и кажущейся плотности**

Усадка линейная, %	Кажущаяся плотность	
	100 кг/м <sup>3</sup>	200 кг/м <sup>3</sup>
при 60°С		
6 ч . . . . .	0,08	0,17
24 ч . . . . .	0,08	0,17
48 ч . . . . .	0,08	0,17
при 100°С		
12 ч . . . . .	0,15	0,70
24 ч . . . . .	0,50	1,0
при 150°С		
12 ч . . . . .	0,26	0,20
24 ч . . . . .	0,60	0,50
48 ч . . . . .	1,70	0,90

**Пенопласт ПЭ-2Т (ВТУ ВНИИСС № 53—65).** Представляет собой жесткий газонаполненный материал, преимущественно с замкнутоячеистой структурой. Применяется в качестве теплоизоляци-

онного и конструкционного материала, работающего при повышенных температурах. Размягчается при 145—170°С, может временно (до 200 сек) выдерживать без видимых изменений температуру до 350°С. Повышенная теплостойкость пенопласта ПЭ-2Т по сравнению с ПЭ-2 достигается применением в качестве отвердителя эпоксидной смолы полиметиленилфениленамина марки ПМФА-1. В качестве модификатора используют продукт 102-Т.

Технология приготовления и отверждения заключается в смешении при 60°С эпоксидной смолы с изоцианатом в течение 5—10 мин и последующей выдержке смеси при 60—65°С в течение 4—5 ч. Затем вводят выравниватель А, газообразователь и расплавленный при 70—80°С полиметиленилфениленамин. После перемешивания в течение 4—5 мин смесь выливают в нагретые до 70—80°С формы и выдерживают при этой температуре 10—15 мин. Затем изделие выдерживают 1—1,5 ч при 110°С и 1,5—2 ч при 160°С.

Показатели физико-механических свойств ПЭ-2Т приведены ниже:

Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup>	80—120	120—170	170—220	220—270
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup> , не менее				
при сжатии . . . . .	7	14	20	35
» статическом изгибе . . . . .	10	16	25	36
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> , не менее . . . . .	0,3	0,4	0,5	0,6
Коэффициент теплопроводности, ккал/(м·ч·град), не более . . . . .	0,04	0,04	0,05	0,07
Температура размягчения, °С	145—170			
Водопоглощение за 24 ч, кг/м <sup>2</sup> , не менее . . . . .	0,1	0,1	0,1	0,1

**Пенопласт ПЭ-5 (ВТУ ВНИИСС № 41—64).** Представляет собой жесткий газонаполненный пластик преимущественно с закрытыми ячейками. Получается в виде плит или формованных деталей на основе эпоксидной смолы ЭД-6 и отвердителя ЭС или ЭМ-К, выпускаемых по ТУ В-83—67. Отвердитель представляет собой эвтектическую смесь ароматических аминов и салициловой кислоты. Эта смесь не кристаллизуется при комнатной температуре. В качестве стабилизатора пены используют выравниватель А и ОП-7 или ОП-10. Вспенивание происходит за счет испарения фреона, добавляемого в композицию. При ручной заливке используется фреон 113, кипящий при 47,6°С, при машинной заливке можно использовать фреон 142 с температурой кипения — 9,3°С.

Подготовка форм для заливки пенопластом ПЭ-5 не отличается от описанной выше (см. стр. 178). Смешение компонентов можно проводить вручную или с помощью машины УЗЭП. Тщательно перемешанную композицию выливают в формы и отверждают при 60°С в течение 2—3 ч. Наличие в композиции фреона способствует не

только вспениванию, но и предотвращает перегревы внутренних слоев пенопласта при отверждении. Ниже приведены наиболее характерные свойства пенопласта ПЭ-5:

Кажущаяся плотность, $кг/м^3$ . . . . .	50—70	100—120	200—220
Предел прочности, $кг/см^2$ , не менее при сжатии . . . . .	2,5	7,0	20
» статическом изгибе . . . . .	5,5	16,0	30
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ , не менее . . . . .	0,4	0,5	0,7
Диэлектрическая проницаемость при $10^6$ $гц$ , не более . . . . .	1,2	1,2	1,35
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^6$ $гц$ , не более . . . . .	$2 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$
Электрическая прочность, $кв/мм$ , не более при переменном токе частотой 50 $гц$ . . . . .	3,0	3,0	3,5
» постоянном токе . . . . .	4,0	4,3	—
Коэффициент теплопроводности, $ккал/(м \cdot ч \cdot град)$ , не более . . . . .	0,03	0,03	0,03
Температура размягчения, $^{\circ}C$ , не менее . . . . .	115	115	115
Водопоглощение за 24 ч, $кг/м^2$ , не более . . . . .	0,2	0,2	0,2

**Пенопласт ПЭ-6 (ТУ В-107—67).** Получается вспениванием и отверждением эпоксидной смолы ЭД-6 в присутствии катализаторов катионной полимеризации. Отверждение пенопласта начинается при комнатной температуре, а затем за счет выделения тепла реакция температура поднимается до  $50—60^{\circ}C$ . Это делает возможным использование пенопласта ПЭ-6 для заливки изделий, которые нельзя нагревать выше  $60^{\circ}C$  (например, полупроводниковые приборы).

По внешнему виду пенопласт ПЭ-6 — белоснежный легкий мелкоячеистый материал с равномерной структурой. Показатели физико-механических свойств ПЭ-6 приведены ниже:

Кажущаяся плотность, $кг/м^3$ . . . . .	20—26	26—36	36—50
Количество закрытых ячеек, % . . . . .	80—90	80—90	80—90
Предел прочности, $кг/см^2$ , не менее при сжатии . . . . .	0,3	0,7	1,1
» статическом изгибе . . . . .	0,7	1,0	1,8
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ , не менее . . . . .	0,09	0,13	0,15
Диэлектрическая проницаемость при $10^6$ $гц$ , не более . . . . .	1,05	1,07	1,1
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^6$ $гц$ , не более . . . . .	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$
Коэффициент теплопроводности, $ккал/(м \cdot ч \cdot град)$ , не более . . . . .	0,020	0,030	0,035
Температура размягчения, $^{\circ}C$ , не ниже . . . . .	100	100	100
Водопоглощение за 24 ч, $кг/м^2$ . . . . .	0,3	0,3	0,3

Пенопласт применяется для герметизации деталей радио- и электротехнического назначения, для заполнения пустот судовых конструкций и изготовления поплавков, работающих в нефтепродуктах.

#### ВСПЕНЕННЫЕ ПЛАСТМАССЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИСТИРОЛА

В производстве пенопластов широкое применение нашел полистирол. Высокая стойкость к действию кислот и щелочей, водостойкость, небольшая кажущаяся плотность, малая теплопроводность, хорошие механические и электронизоляционные свойства определяют возможности широкого применения пенопластов на основе полистирола в различных отраслях техники.

Пенополистирол может быть получен прессовым и беспрессовым способами.

#### Пенополистирол прессовый

Для получения пенопластов прессовым методом используется полистирол, полученный эмульсионной полимеризацией стирола.

Процесс изготовления пенопласта состоит из следующих стадий: смешение полистирола с газообразователем в шаровой мельнице; прессование порошкообразной смеси на гидравлических прессах при  $140—170^{\circ}C$  и давлении  $100—150 кг/см^2$ ; вспенивание монолитных заготовок, полученных при прессовании, в паровых или водяных камерах при  $100—103^{\circ}C$ .

В зависимости от типа применяемого газообразователя этим методом получают пенопласты двух марок: ПС-1 и ПС-4.

**Пенопласт ПС-1 (МРТУ 6-05-1178—69).** Получается на основе полистирола и порофора ЧХЗ-57 (динитрил азо-бис-изомасляной кислоты).

Согласно МРТУ пенопласт плиточный выпускается следующих размеров и кажущейся плотности.

Номинальная кажущаяся плотность $кг/м^3$	Длина и ширина плит $мм$	Толщина плит $мм$
$70 \pm 20$	500—1000	50—75
$100 \pm 20$	500—1200	45—70
$150 \pm 30$	500—1200	45—65
$200 \pm 20$	500—1000	40—60

По стреле прогиба и разнотолщинности плиты пенопласта должны соответствовать следующим нормам:

Стрела прогиба, $мм$ , не более . . . . .	При длине и ширине плит до 1000 $мм$ . . . . .	
	более 1000 $мм$	более 1000 $мм$
Разнотолщинность, $мм$ , не более . . . . .	±5	±5

Основные физико-механические свойства пенопласта ПС-1 приведены ниже:

Кажущаяся плотность, $кг/м^3$ . . . . .	100	200
Допустимые колебания кажущейся плотности, $кг/м^3$ . . . . .	$\pm 20$	$\pm 20$
Предел прочности при сжатии, $кг/см^2$ , не менее . . . . .	8	30
Модуль упругости при сжатии, $кг/см^2$ , не менее . . . . .	550	1000
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ , не менее . . . . .	1,1	1,9
Удельное электрическое сопротивление		
объемное, $ом \cdot см$ . . . . .	$10^{12}$	$10^{14}$
поверхностное, $ом$ . . . . .	$10^{12}$	—
Диэлектрическая проницаемость при $10^{10}$ $гц$ . . . . .	1,1	1,28
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^{10}$ $гц$ . . . . .	0,002	0,0035
Электрическая прочность, $кв/мм$ . . . . .	2—3	6—7
Коэффициент теплопроводности, $ккал/(м \cdot ч \cdot град)$ , не более . . . . .	0,033	0,044
Рабочие температуры, $^{\circ}C$ . . . . .	$\pm 60$	$\pm 60$
Водопоглощение за 24 ч, $кг/м^2$ , не более . . . . .	0,3	0,3
Усадка линейная при $60^{\circ}C$ за 24 ч, %, не более . . . . .	0,4	0,4

Пенопласт ПС-1 стоек к действию воды, кислот, щелочей, микроорганизмов, не вызывает коррозии.

К недостаткам этого материала следует отнести горючесть, значительное изменение механических свойств при повышении температуры; растворимость в органических растворителях, таких как сложные эфиры, кетоны, ароматические и хлорированные углеводороды.

Пенопласт применяется в качестве конструкционного, электро-, тепло- и звукоизоляционного, труднозатопляемого, упаковочного и декоративного материала.

**Пенопласт ПС-4 (МРТУ 6-05-1178—69).** Представляет собой газонаполненную пластмассу в виде твердой пены с замкнуто-пористой структурой.

В зависимости от технологического режима получения, назначения и показателей пенопласт ПС-4 выпускается трех типов: плиточный, термоизоляционный и специальный.

Тип пенопласта ПС-4	Кажущаяся плотность $кг/м^3$	Длина и ширина плит $мм$	Толщина плит $мм$	Разнотолщинность плит $мм$	Стрела прогиба $мм$ не более
Плиточный . . . . .	50—80	500—800	55—70	Не более 5	4
Термоизоляционный . . . . .	45—80	Не менее 500	Не менее 50	5—10	4—10
Специальный . . . . .	Не более 45	Не менее 500	Не менее 60	Не более 10	10

В отличие от пенопласта ПС-1, пенопласт ПС-4 имеет менее равномерную структуру и способен вызывать коррозию цинка и цин-

ковых покрытий. Поэтому цинковые поверхности, соприкасающиеся с пенопластом, должны иметь лаковое антикоррозионное покрытие. Показатели основных свойств пенопласта ПС-4 приведены ниже:

Кажущаяся плотность, $кг/м^3$ . . . . .	60
Предел прочности при сжатии, $кг/см^2$ , не менее . . . . .	4,0
Модуль упругости при сжатии, $кг/см^2$ , не менее . . . . .	335
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	0,08—1,1
Диэлектрическая проницаемость при $10^{10}$ $гц$ . . . . .	1,12
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^{10}$ $гц$ . . . . .	0,003
Усадка линейная при $60^{\circ}C$ за 24 ч, %, не более . . . . .	0,8
Коэффициент теплопроводности, $ккал/(м \cdot ч \cdot град)$ , не более . . . . .	0,028+0,035
Рабочие температуры, $^{\circ}C$ . . . . .	$\pm 60$
Коэффициент звукопоглощения при 100—300 $гц$ . . . . .	0,02—0,05
Щелочность (в пересчете на $Na_2CO_3$ ), %, не более . . . . .	10
Водопоглощение за 24 ч, $кг/м^2$ , не более . . . . .	0,30

Плиты пенопласта ПС-1 и ПС-4 упаковывают в деревянные ящики или обрешетки, выложенные внутри бумагой. Допускается транспортировка плит пенопласта в контейнерах, выложенных бумагой. Плиты должны храниться в закрытом складском помещении на расстоянии не менее 1 м от отопительных устройств.

Из пенополистирола, полученного по прессовому методу, получают плиты, пластины или изделия простого плоского профиля и цилиндры (поплавки). Изготовление более сложных деталей из пенополистирола производится путем механической обработки плит.

Пенопласты ПС-1 и ПС-4 хорошо поддаются обработке на деревообрабатывающих станках и ручным столярным инструментом. Разрезать плиты можно также проволокой с электрическим нагревом.

Листовой пенопласт в нагретом состоянии может быть подвергнут гнутью и штамповке для получения изделий довольно сложной конфигурации.

Пенопласт прочно склеивается с самим собой и с большинством других материалов (камень, дерево, бумага, ткани, стекло и металлы) клеями ВИАМ Б-3, ВК-32-200, 88Н, ПНТ-2у и др.

Пенопласт ПС-4 применяется в качестве тепло- и звукоизоляционного, упаковочного, декоративного, конструкционного и труднозатопляемого материала.

#### Пенополистирол беспрессовый

**Пенополистирол беспрессовый ПСБ и беспрессовый самозатухающий ПСБ-С (ТУ № 50—64).** Пенополистирол беспрессовый представляет собой термопластичную ячеистую массу, получаемую из бисерного полистирола специальных сортов. Бисерный полистирол изготавливается путем суспензионной полимеризации стирола в водной среде в присутствии низкокипящего растворителя — изопентана (СТУ 13-138-905—63) или изопентана и тетрабром-

н-ксилола (СТУ 36-13-107—64) в случае получения самозатухающего полистирольного пенопласта ПСБ-С. Гранулы полистирола поставляют в герметичной таре. Срок их хранения — несколько месяцев. Для получения пенополистирола проводится предварительное вспенивание материала при 95—100°С в течение 2—5 мин (в зависимости от требуемой кажущейся плотности пенопласта).

Для получения изделия из предварительно вспененных гранул нужно заполнить ими форму и затем провести окончательное вспенивание в форме путем обогрева горячей водой или паром. Продолжительность обогрева в зависимости от толщины изделия составляет 2—60 мин. Затем форма охлаждается, после чего ее раскрывают и вынимают изделие.

Пенопласт (плиты или изделия), получаемый таким образом, обладает свойствами, аналогичными свойствам пенопластов, изготовляемых прессовым методом (ПС-1 и ПС-4). В отличие от последних пенопласт характеризуется несколько более худшими прочностными показателями. К преимуществам пенопласта, полученного из гранул, следует отнести низкую кажущуюся плотность, достигающую 15—20 кг/м<sup>3</sup>.

Основные физико-механические показатели пенопласта, полученного из вспененных гранул, приведены ниже:

Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	16—25	26—36
Предел прочности при сжатии, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	1,3—4,0	4,0—7,0
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> . . . . .	0,2—0,4	0,4—0,6
Коэффициент теплопроводности, ккал/(м·ч·град), не более . . . . .	0,035	0,035
Теплостойкость, °С, не ниже . . . . .	60,0	60,0
Прочность при сжатии на 10%, кг/см <sup>2</sup> , не менее . . . . .	0,5	0,5
Водопоглощение за 24 ч, кг/м <sup>2</sup> . . . . .	0,02—0,06	0,02—0,06

Пенопласт ПСБ-С должен иметь горючесть не более 5 сек, которая со временем увеличивается.

Условия хранения пенопласта ПСБ аналогичны условиям хранения пенопластов ПС-1 и ПС-4.

Блоки пенопласта, получаемого из гранул, хорошо поддаются обработке на деревообрабатывающих станках и ручным столярным инструментом или нагретой проволокой; пенопласт прочно склеивается с пластмассами, металлом, древесиной, камнем теми же клеями, что и пенополистирол ПС-1 и ПС-4.

Беспрессовый вспененный полистирол применяется для тепло- и звукоизоляции, как упаковочный и труднозатопляемый материал.

#### ВСПЕНЕННЫЕ ПЛАСТМАССЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДА

Пеноматериалы на основе поливинилхлорида характеризуются легкостью, химической стойкостью, ограниченной горючестью при сравнительно низкой стоимости и наличии доступного сырья. Это

дает основание полагать, что они займут одно из ведущих мест в производстве легких синтетических материалов.

В настоящее время пенопласты на основе поливинилхлорида производятся в основном прессовым способом с применением газообразователей. Этим способом получают жесткие пенопласты ПВХ-1, ПВХ-2, ПХА и эластичный ПВХ-Э.

При получении пенопластов прессовым способом используется громоздкое оборудование, на всех стадиях технологического процесса имеются потери материала и низка производительность.

Беспрессовый способ имеет следующие достоинства:

1) возможность создания поточного непрерывного метода получения пенопласта, поддающегося автоматизации;

2) получение большого ассортимента разнообразных продуктов из пенополивинилхлорида с новыми свойствами.

Разработаны новые марки открытоячеистого эластичного и жесткого пенопластов (эластичный и жесткий винипор), существенно отличающиеся от прессовых марок. Создан новый поточный непрерывный технологический процесс получения пенопласта, в котором вспенивание основано на растворении и абсорбции инертного газа в поливинилхлоридной пасте при пониженной температуре и повышенном давлении.

Пенопласт, полученный по этому методу, имеет открытоячеистую структуру и в зависимости от соотношения компонентов поливинилхлоридной пасты и используемых добавок может обладать различной упругостью — от эластичного до жесткого.

Технологический процесс состоит из следующих стадий:

- 1) приготовление композиции;
- 2) насыщение полученной пасты инертным газом;
- 3) выдавливание насыщенной пасты на транспортер или подложку;
- 4) прогревание сырой пены либо конвекционным методом, либо токами высокой частоты.

Беспрессовый пенопласт хорошо поглощает звук, несколько не уступая эластичному пенополиуретану. Помимо блоков пенополивинилхлорида этим методом можно получать тонкие слои пенопласта, нанесенные на различные подложки: линолеум, ткань, ковровые дорожки и т. д.

Разработан беспрессовый способ получения жесткого замкнутоячеистого пенопласта ПВ-1, по качеству не уступающего ПВХ-1 и ПВХ-2.

#### Жесткий пенополивинилхлорид

Пенопласты ПВХ-1 и ПВХ-2 (МРТУ 6-05-1179—69). При изготовлении жестких пенопластов прессовым способом поливинилхлоридную смолу Л-7, Л-8 или Л-5 (МРТУ 6-01—62) смешивают с газообразователем и веществом, повышающим текучесть компо-

зиции (в качестве последнего применяют метилметакрилат). Смешение производится в шаровых мельницах в течение 18—20 ч. Полученную смесь прессуют в герметически закрывающихся формах на гидравлических прессах при 170°С и давлении около 150 кг/м<sup>2</sup>. После охлаждения формы заготовку вынимают и помещают в паровую камеру при 95—98°С, где происходит размягчение полимера и расширение заготовки.

Пенопласты выпускают в виде плит. Для ПВХ-1 размер плит не менее 620×620 мм при толщине 45—70 мм, для ПВХ-2 — не менее 520×520 мм при толщине 35—55 мм.

Основные свойства пенопластов ПВХ-1 и ПВХ-2 приведены ниже:

		ПВХ-1	130—170	ПВХ-2
Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	70—100	100—130	130—170	170—220
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup> , не менее при растяжении . . . . .	—	20	—	45
» сжатия . . . . .	4,0	7,0	8,0	15,0
Модуль упругости, кг/см <sup>2</sup> , не менее при растяжении . . . . .	—	850	—	1800
» сжатия . . . . .	—	800	—	2050
Удельная ударная вязкость кг·см/см <sup>2</sup> , не менее . . . . .	0,7	0,9	—	1,7
Диэлектрическая проницаемость при 10 <sup>5</sup> гц . . . . .	—	1,6	—	1,8
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 <sup>5</sup> гц . . . . .	—	0,036	—	0,016
Электрическая прочность, кв/мм . . . . .	—	3,9	—	4,1
Коэффициент теплопроводности, ккал/(м·ч·град) . . . . .	0,022	0,037	0,037	0,045
Рабочие температуры, °С . . . . .		От -60 до +60		
Усадка линейная при 60°С за 24 ч, %, не более . . . . .	1,0	1,0	1,0	1,0
Щелочность (в пересчете на Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ), %, не более . . . . .	5,0	5,0	—	—
Содержание хлор-иона, %, не более . . . . .	2,0	2,0	—	—
Водопоглощение за 24 ч, кг/м <sup>2</sup> , не более . . . . .	0,25	0,2	0,3	0,3

Пенопласты ПВХ-1 и ПВХ-2 обладают пониженной горючестью, устойчивы к действию воды, масел, разбавленных щелочей, кислот и микроорганизмов.

К недостаткам пенопластов следует отнести:

1. Корродирующее действие на незащищенные алюминиевые и оксидированные магниевые сплавы, цинк и цинковые покрытия.
2. Значительное изменение механических показателей при повышении температуры (пределы прочности при сжатии и растяжении при повышении температуры от 20 до 60°С снижаются на 40—50%, а удельная ударная вязкость увеличивается на 30%).

Плиты пенопласта упаковывают в деревянные ящики или обрешетки, выложенные внутри бумагой. Пенопласт должен храниться

в упакованном виде в закрытых складских помещениях при температуре не выше 35°С на расстоянии не менее 1 м от отопительных устройств.

Жесткий пенопласт легко обрабатывается на деревообрабатывающих станках и ручным столярным инструментом.

Плиты пенопластов ПВХ-1 и ПВХ-2 могут быть склеены между собой, а также с другими материалами (металлом, древесиной, пластмассами и т. д.) клеями ВИАМ Б-3, ВК-32-200 и др.

Жесткий пенополивинилхлорид используется в основном в качестве конструкционного материала; из него делают легкие негорючие перегородки в самолетах и судах, поплавки для рыболовных снастей, спасательные средства. Пенополивинилхлорид применяется также для тепло- и звукоизоляции.

**Пенопласт ПХА.** Представляет собой твердый ячеистый материал с равномерной замкнутой структурой. Технология получения аналогична технологии получения ПВХ-1. В качестве пластификатора используют антраценовое масло (1 вес. ч. на 8 вес. ч. ПВХ). Показатели некоторых свойств ПХА приведены ниже:

Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup> , не более	
высший сорт . . . . .	180—200
первый » . . . . .	210
второй » . . . . .	230
третий » . . . . .	250
Водопоглощение за 24 ч, кг/м <sup>2</sup> , не более . . . . .	0,2
Усадка линейная при 60°С за 24 ч, %, не более . . . . .	4

Пенопласт ПХА используется в качестве теплоизоляционного материала и для изготовления наплавов к орудиям лова рыбы.

**Пенопласт ПВ-1 (ВТУ П-103—64).** Представляет собой легкую газонаполненную пластмассу с равномерной замкнутой ячеистой структурой. По механическим свойствам он аналогичен ПВХ-1, но в отличие от последнего получается беспрессовым способом. Поливинилхлоридную смолу смешивают с газообразователем (динитрил азо-бис-изомаляной кислотой), метилметакрилатом и перхлорвиниловой смолой. Полученную массу перемешивают и затем формируют на вальцах. Полученные листы помещают в ограничительные формы и нагревают до 100—110°С в глицерине или в камерах с электрообогревом.

Пенопласт ПВ-1 применяется в качестве теплоизоляционного или труднозатопляемого материала и легкого заполнителя армированных конструкций.

Выпускается в виде прямоугольных плит размером (750 ± 5) × (750 ± 5) × (50 ± 4) мм, но допускается и выпуск плит размерами 500 × 500 × 50, 500 × 200 × 50 и 200 × 200 × 50 мм. Стрела прогиба пенопласта не должна превышать 3,5 мм.



Ниже приводятся основные физико-механические показатели пеноматериала ПВ-1:

Кажущаяся плотность, $кг/м^3$ . . . . .	50—80	80—110
Предел прочности при сжатии перпендикулярно плоскости плиты, $кг/см^2$ , не менее . . . . .	2,0	4,0
Усадка линейная при 70° С за 24 ч, %, не более . . . . .	1,0	1,0
Щелочность (в пересчете на $Na_2CO_3$ ), %, не более . . . . .	1,0	1,0
Содержание хлор-иона, %, не более . . . . .	0,5	0,5
Водопоглощение за 24 ч, $кг/м^2$ , не более . . . . .	0,25	0,25

Плиты пенопласта ПВ-1 упаковывают в деревянные ящики или обрешетки. Допускается отгрузка пенопласта в чистых железнодорожных вагонах, контейнерах или автомашинах без упаковки. Хранится пенопласт ПВ-1 в закрытых складских помещениях при температуре не выше 35° С на расстоянии не менее 1 м от отопительных приборов.

**Жесткий пенополивинилхлорид «Винипор жесткий» (ВТУ ВНИИСС № 66—66).** Получается беспрессовым способом и выпускается в виде блоков шириной не менее 1000 мм, длиной не менее 1000 мм и толщиной до 70 мм. Для его получения готовят поливинилхлоридную пасту, состоящую из примерно равных количеств поливинилхлоридной смолы марки Л-5 (МРТУ 6-01-1—62) и пластификаторов. Для получения жесткого (и полужесткого) винипора берется смесь обычного фталатного пластификатора и акрилатного нелетучего пластификатора, способного полимеризоваться при нагревании. В качестве инициатора полимеризации применяют перофор ЧХЗ-57. Соотношением пластификаторов определяется степень жесткости полученного материала. Паста насыщается под давлением двуокисью углерода, затем выливается на конвейер, где прогревается до 160—175° С с помощью токов высокой частоты, а затем конвекционного прогрева. После охлаждения пеноматериал разрезается на куски нужного размера.

Показатели некоторых свойств жесткого и полужесткого винипора приведены ниже:

	Жесткий	Полужесткий
Кажущаяся плотность, $кг/м^3$ . . . . .	130	170
Предел прочности при сжатии, $кг/см^2$ , не менее . . . . .	1,5	—
Удельная ударная вязкость, $кг·см/см^2$ , не менее . . . . .	—	1,5

Применяется в качестве звукопоглощающего материала в вентиляционных глушителях и глушителях всасывания газодинамических установок и для звукопоглощающих облицовок.

### Эластичный пенополивинилхлорид

**Пенопласт ПВХ-Э (СТУ 14/07-41—64).** Получается прессовым методом из пасты, представляющей собой смесь смолы с органическим газообразователем и пластификатором.

Эластичный пенополивинилхлорид ПВХ-Э выпускается двух видов — с кажущейся плотностью 100—150 и 180—270  $кг/м^3$ .

ПВХ-Э выпускается в виде пластин следующих размеров:

Кажущаяся плотность $кг/м^3$	Длина и ширина пластины мм	Толщина пластины мм
100—150	660±30×660+30	42±5
180—270	570±30×570+30	35±5
	500±25×500+25	22±3

Основные свойства ПВХ-Э приведены ниже:

Кажущаяся плотность, $кг/м^3$ . . . . .	100—150	180—270
Предел прочности при растяжении, $кг/см^2$ , не менее . . . . .	—	4,0
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	—	80—105
Усадка за 24 ч, %, не более		
линейная при 40° С . . . . .	—	3,5
объемная при 50° С . . . . .	20	15
Коэффициент теплопроводности, $ккал/(м·ч·град)$ , не более . . . . .	—	0,057
Верхний предел рабочих температур, °С . . . . .	—	40
Коэффициент звукопоглощения		
при 100—700 $гц$ . . . . .	—	0,05—0,17
» 800—1200 $гц$ . . . . .	—	0,3—0,85
Водопоглощение, $кг/м^2$ , не более . . . . .	0,05	0,05
Горючесть, сек, не более . . . . .	30	10

Упаковка, маркировка и условия хранения ПВХ-Э аналогичны упаковке, маркировке и условиям хранения ПВХ-1 и ПВХ-2.

ПВХ-Э поддается механической обработке, склеивается между собой и другими материалами. ПВХ-Э нашел применение в основном в качестве амортизационного, а также тепло- и звукоизоляционного материала в авто-, самолето- и судостроении.

**Эластичный пенополивинилхлорид «Винипор» (ВТУ ВНИИСС № 31—63).** Получается беспрессовым методом насыщением поливинилхлоридной пасты двуокисью углерода под давлением с последующей желатинизацией пены токами высокой частоты или конвекционным прогревом.

Поскольку в композицию пасты для получения винипора входят почти равные соотношения поливинилхлоридной смолы марки Л-5 и пластификаторов, материал получается эластичным, содержит около 90% сообщающихся между собой ячеек. Такая структура пе-

номатериала делает его прекрасным звукоизолятором и придает хорошие демпфирующие свойства. Ниже приведены физико-механические свойства эластичного винипора:

Кажущаяся плотность, $кг/м^3$ . . . . .	180—220
Предел прочности при сжатии, $кг/см^2$ . . . . .	1,00—1,3
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	70—100
Относительная остаточная деформация при 50%-ном сжатии за 70 ч. % . . . . .	15—19

На рис. 1 приводится сравнительная характеристика эластичного винипора и эластичного пенополиуретана.

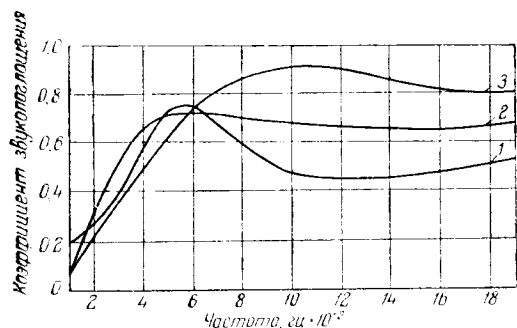


Рис. 1. Коэффициент звукопоглощения эластичных пеноматериалов при различных частотах:

1 — эластичный пенополиуретан; 2 — винипор с поверхностной пленкой; 3 — винипор без поверхностной пленки.

Хорошая свариваемость эластичного винипора и отличная амортизирующая способность позволили использовать его при изготовлении подушек, сидений и панелей дверей легковых автомобилей. Для этих целей выпускается винипор марок С и Д (ТУ В-94—67) в виде блоков шириной не менее 400 мм и толщиной до 100 мм.

Физико-механические показатели материалов приводятся ниже:

	Винипор С	Винипор Д
Кажущаяся плотность, $кг/м^3$ . . . . .	130—180	80—120
Предел прочности при растяжении $кг/см^2$ , не менее . . . . .	0,8	0,5
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее . . . . .	80	50
Относительная остаточная деформация при 50%-ном сжатии, %, не более . . . . .	15	15

Хорошая поглощающая способность винипора позволяет использовать его вместо ваты в повязках при лечении ран и ожогов, а также для изготовления хирургических тупферов.

Повязки из винипора значительно меньше присыхают к обожженным поверхностям кожи и легче отделяются при перевязках, что значительно ускоряет заживление. Медянский винипор (марки А и Б) получают по ВТУ ВНИИСС № 55—65 насыщением пасты ПВХ фреоном Ф-142 под давлением и последующей желатинизацией пены токами высокой частоты и конвекционным про-

гревом. Марка А применяется для изготовления повязок, а марка Б — для хирургических тупферов. Ниже приведены основные показатели этого материала:

	А	Б
Кажущаяся плотность, $кг/м^3$ . . . . .	70—120	70—120
Предел прочности при растяжении, $кг/см^2$ , не менее . . . . .	0,12	0,12
Поглотительная способность, г, не менее . . . . .	12	7
Капиллярность, мм, не менее . . . . .	15	10
Содержание летучих, %, не более . . . . .	0,3	0,5
Эластичность по отскоку, %, не более . . . . .	20	20

### ВСПЕНЕННЫЕ ПЛАСТМАССЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИОЛЕФИНОВ

Вспененный полиэтилен получают экструзией полимера, смешанного с газообразователем.

Основным промышленным направлением является получение вспененных кабельных покрытий методом экструзии и наложения вспененной изоляции на кабельную жилу. Несмотря на уменьшение плотности, почти все ценные качества исходного монолитного полиэтилена полностью сохраняются. Естественно, что механическая прочность находится в зависимости от плотности. Полиэтилен низкого давления вспенивается гораздо труднее, чем полиэтилен высокого давления.

**Полиэтилен порообразующий (МРТУ 6-05-1001—69).** Представляет собой гранулы полиэтилена высокого давления. Выпускается трех марок. Предназначается для получения следующих изделий:

Марка А — пористой изоляции для кабельных изделий методом экструзии.

Марка Б — пористых труб и листов методом экструзии.

Марка В — облегченных изделий методом литья под давлением.

Полиэтилен должен отвечать следующим требованиям:

Внешний вид . . . . . Гранулы размером 3—6 мм от белого до желтоватого цвета

Кажущаяся плотность,  $кг/м^3$  . . . . . 45

**Мелкопористые фильтры из полиэтилена низкого давления (ВТУ ВНИИСС № 30—63).** Представляют собой изделия (диски, пластины, трубы, стаканы) из жесткого пористого полиэтилена, полученные методом спекания. Для изготовления фильтров полиэтилен просеивается на вибрационном стенде через сито для удаления крупных частиц и посторонних примесей. Высушенный минеральный наполнитель также просеивается и в шаровой мельнице смешивается с полиэтиленом. Размер ячеек сита определяется заданной величиной отфильтровываемых частиц. В качестве наполнителя используют растворимые в воде соли — обычно соли щелочных металлов. Полученную композицию прессуют без

нагревания в течение 3 мин под давлением 150—170 кг/см<sup>2</sup>. После спекания наполнитель удаляют кипящей водой, а фильтр высушивают при 80—90°С до постоянной массы. Фильтры должны удовлетворять требованиям, приведенным ниже:

Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup> . . . . .	260—280	300—320
Сопротивление сжатию при 20%-ной деформации, кг/см <sup>2</sup> , не менее . . . . .	10	30
Предел прочности при изгибе, кг/см <sup>2</sup> , не менее . . . . .	10	32
Модуль упругости при сжатии, кг/см <sup>2</sup> , не менее . . . . .	63	240
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> , не менее . . . . .	0,6	1,6
Температура размягчения, °С, не ниже . . . . .	115	115

Для определения максимального размера задерживаемых частиц проводят пробное фильтрование через диск толщиной 10 мм. При максимальном диаметре частиц наполнителя 200—300 мк фильтр задерживает частицы размером до 30 мк, при диаметре частиц наполнителя 80—5 мк. Фильтры устойчивы к действию кислот, щелочей и их водных растворов. В органических растворителях (хлорированных и ароматических углеводородах) при комнатной температуре набухают, а при кипячении растворяются. Фильтр можно сделать гидрофобным, покрывая его поверхность кремнийорганической жидкостью силтан. Фильтр пропитывают 1%-ным раствором силтана в четыреххлористом углероде или *n*-гексане, высушивают на воздухе и прогревают 15 мин при 100°С.

Для придания фильтру гидрофильности его пропитывают раствором поливинилового спирта и высушивают до постоянной массы.

#### ВСПЕНЕННЫЕ ПЛАСТМАССЫ НА ОСНОВЕ ЖЕЛАТИНА И ПОЛИВИНИЛОВОГО СПИРТА

**Пенополивинилформаль (ТУ В-86—67).** Получается при механическом введении воздуха в процессе конденсации поливинилового спирта и формальдегида. В 14—18%-ный раствор поливинилового спирта вводят формалин, соляную кислоту и стабилизатор пены. Затем с помощью быстроходной мешалки вбивают воздух до образования однородной густой пены. Пена разливается в формы и при дальнейшей конденсации образуется упругий прочный материал. После отмывки катализатора (соляной кислоты) и других примесей пенополивинилформаль высушивают. Сухой пенополивинилформаль становится жестким, но сохраняет способность, впитывая воду, вновь становиться эластичным, приятным на ощупь.

Пенополивинилформаль выпускается трех марок: медицинский МПВФ и технический ТПВФ-1 и ТПВФ-2. Медицинский пенополивинилформаль применяется в аллопластике, так как он не вы-

зывает никаких тканевых реакций и не рассасывается в организме. В случае необходимости поверхность пенополивинилформала МПВФ может быть отбелена нагреванием до 120—140°С. Основные свойства пенополивинилформала приведены ниже:

Кажущаяся плотность, кг/м <sup>3</sup> , не более . . . . .	100—230	130	100—230
Водопоглощение за 2 ч, %, не менее . . . . .	—	700	700
Остаточная влажность, %, не более . . . . .	8	8	8
pH водной вытяжки . . . . .	7±2	—	—

Технический пенополивинилформаль применяется для поглощения воды и водных растворов.

Поскольку большинство ячеек у пенополивинилформала открытые, он может с успехом применяться для фильтрования масел, газов и других веществ.

**Желатиновая губка «Кровостан».** Получается при конденсации пищевого желатина с формальдегидом. Для образования устойчивой пены в композицию добавляют стабилизатор. В случае необходимости в композицию вводят также различные лекарственные средства. Вспенивание происходит при механическом введении воздуха. Пена разливается в формы и высушивается. Полученные блоки, представляющие собой сухую пористую массу белого или слегка желтоватого цвета, режутся на куски необходимой формы и размера, стерилизуются и упаковываются в стерильные полиэтиленовые мешочки. Хранится желатиновая губка при комнатной температуре и сохраняет свои свойства в течение 5 лет.

Желатиновая губка обладает высокой гемостатической эффективностью. Она эластична, хорошо поглощает влагу, совершенно нетоксична, не вызывает антигенных реакций. Оставленная в тканях организма губка полностью рассасывается без каких-либо реакций. Используется для остановки капиллярных и паренхиматозных кровотечений, а также для пломбирования полостей, образующихся после операций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Пенопластмассы, Оборонгиз, 1960.
2. Булыгина Е. А., Крючков Ф. А., Пласт. массы, № 1, 30 (1968).
3. Вахтин В. Г., Покровский Л. И., Цоколаева Н. М., Пласт. массы, № 12, 28 (1968).
4. Заломая Ю. Л., Покровский Л. И., Федоров А. А., Производство и переработка пластмасс, синтетических смол и стекловолокон, № 8, 56 (1966).
5. Птичкин Б. Б., Василенко С. В. и др., Пласт. массы, № 7, 52 (1967).
6. Мурашов Ю. С., Валгин В. Д., Пласт. массы, № 3, 22 (1968).
7. Валгин В. Д., Лебедев В. С., Васильева Э. А., Пласт. массы, № 3, 23 (1967).
8. Валгин В. Д., Лебедев В. С., Васильева Э. А., Пласт. массы, № 4, 26 (1967).
9. Покровский Л. И., Поляков Ю. Н., Шамов И. В., Пласт. массы, № 7, 64 (1963).
10. Миханов С. А., Тараканов О. Г., ЖИХ, 39, № 7, 1634 (1966).

## ЭФИРЫ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Эфиры целлюлозы являются производными наиболее широко распространенного природного стереорегулярного полимера — целлюлозы. Каждое элементарное звено макромолекулы целлюлозы содержит три гидроксильные группы, которые могут вступать в реакции этерификации и алкилирования с образованием простых и сложных эфиров целлюлозы.

Сложные и простые эфиры целлюлозы используют для получения пластмасс (этролов, целлулоида), пленок и лаков. Целлулоид — термопластичный материал на основе нитрата целлюлозы, содержащий пластификаторы и красители. Этролы представляют собой термопластичные материалы, состоящие из эфира целлюлозы, пластификатора, наполнителя, красителя, стабилизатора и других добавок. Предназначены для переработки в различные изделия.

### СЛОЖНЫЕ ЭФИРЫ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Сложные эфиры целлюлозы представляют собой ацилпроизводные целлюлозы, получаемые этерификацией целлюлозы минеральными кислотами или ангидридами органических кислот. Наибольшее техническое значение имеют нитраты, ацетаты, ацетобутират и пропионаты целлюлозы. Эти продукты хорошо растворяются в ряде растворителей и применяются для производства пластмасс, лаков и пленок.

#### Нитраты целлюлозы

Нитраты целлюлозы, или азотнокислые эфиры целлюлозы, получают действием на облагороженную хлопковую целлюлозу нитратной смеси, состоящей из азотной кислоты, воды и серной кислоты. Степень замещения в получаемых нитратах целлюлозы существенно зависит от содержания воды в нитратной смеси. Нитраты целлюлозы, содержащие 10,7—12% азота (коллоксилин), применяются для производства нитроцеллюлозного этрола, целлулоида и лаков. В промышленности выпускается коллоксилин следующих марок.

**Коллоксилин необезвоженный (ТУ № 5—65).** Предназначен для получения нитроцеллюлозного этрола. Должен удовлетворять следующим требованиям:

Содержание азота, % . . . . .	10,9—11,2
Растворимость в спирто-эфирной смеси, %, не менее . . . . .	98,5
Вязкость, °Е . . . . .	1,7—2,4
Влажность, %, не более . . . . .	40

**Коллоксилин целлулоидный (ГОСТ 7414—55).** Выпускается двух марок: А — триплексный (I и II сорт) и Б — галантерейный. Должен удовлетворять следующим требованиям:

Показатель	А		Б
	сорт I	сорт II	
Содержание азота, % . . . . .	10,95—11,14	10,82—11,26	10,76—11,14
Растворимость в спирто-камфарном растворителе, %, не менее . . . . .	99,5	99,5	99,2
Вязкость (в ацетоне), °Е . . . . .	1,5—2,3	1,5—2,5	1,5—2,5
Зольность, %, не более . . . . .	0,16	0,17	0,20
Спирто-водная влажность, %, не более . . . . .	40	40	40
Крепость остаточного спирта, объемн. %, не менее . . . . .	88	88	87
Прозрачность, %, не менее . . . . .	89	83	—
Цветность по кобальто-хлорплатиновой шкале . . . . .	2	2	3

**Коллоксилин лаковый и лакомастичный (ГОСТ 5936—59).** Предназначен для изготовления нитролаков, нитроэмалей и нитромастик. В зависимости от вязкости 2%-ных ацетоновых растворов коллоксилин выпускается следующих марок:

- ЛМ — лакомастичный
- ВВ — лаковый высоковязкий
- СВ — лаковый средневязкий
- НВ — лаковый низковязкий
- ВНВ — лаковый весьма низковязкий
- ВНВА — лаковый высокосортный весьма низковязкий
- ПСВ — лаковый полусекундной вязкости
- ПСВМ — лаковый полусекундной вязкости (мебельный)

Требования, предъявляемые к лаковому и лакомастичному коллоксилину, приводятся ниже:

Содержание азота, % . . . . .	10,82—12,26
Растворимость в этиловом спирте, %, не более . . . . .	4—9
Растворимость в смеси растворителей (бутилацетат, этиловый и бутиловый спирты, этилацетат, толуол), %, не менее . . . . .	98,5—99,9
Вязкость, °Е . . . . .	0,98—3,0
Зольность, %, не более . . . . .	0,10—0,3
Спирто-водная влажность, % . . . . .	25—35
Крепость остаточного спирта, объемн. %, не менее . . . . .	87—88
Прозрачность, см, не менее . . . . .	25—30

#### Свойства нитратов целлюлозы

Применяемые для различных целей нитраты целлюлозы различаются по степени полимеризации. Целлулоидные марки имеют степень полимеризации 400—600, лаковые 150—300. Фракционный состав нитратов целлюлозы влияет на их стабильность, механические свойства пленок и другие свойства.

Ниже приведены основные свойства непластифицированной пленки, отлитой из нитрата целлюлозы, содержащего 11,8—12,2% азота:

Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,58—1,65
Предел прочности при растяжении (23° С, относительная влажность 50%), кг/см <sup>2</sup> . . . . .	800—1200
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	15—30
Диэлектрическая проницаемость при 25—30° С . . . . .	
при 60 гц . . . . .	7,5
» 10 <sup>3</sup> гц . . . . .	7,0
» 10 <sup>6</sup> гц . . . . .	6,0
Тангенс угла диэлектрических потерь при 25—30° С . . . . .	
при 60 гц . . . . .	0,03—0,05
» 10 <sup>3</sup> гц . . . . .	0,03—0,06
Температура размягчения, °С . . . . .	155—220
Водопоглощение при 21° С и относительной влажности 80% за 24 ч, % . . . . .	1,0—2,0
Влагопроницаемость при 21° С, г·см/(см <sup>2</sup> ·ч·мм рт. ст.) . . . . .	2,8·10 <sup>-6</sup>

Основным недостатком нитратов целлюлозы является их горючесть и легкая воспламеняемость.

#### Химические свойства коллоксилина

Коллоксилин неустойчив к действию кислот и щелочей. Разбавленные минеральные кислоты вызывают медленную денитрацию коллоксилина. Концентрированная серная кислота растворяет коллоксилин на холоду. Щелочи омыляют и разрушают нитраты

целлюлозы. Коллоксилин растворяется в кетонах (ацетон), сложных эфирах (этилацетат, бутилацетат и др.), фурфуроле, диоксане и уксусной кислоте, устойчив к действию ароматических и алифатических углеводородов и масел. Из высококипящих растворителей, применяемых в качестве пластификаторов, коллоксилин растворяется в камфоре, триацетине, трикрезилфосфате и эфирах фталевой кислоты.

#### Целлулоид

Целлулоид представляет собой пластическую массу, состоящую из коллоксилина, пластификатора (камфора), добавок (например, фосфорнокислого натрия), пигментов и красителей.

Целлулоид — один из первых полимерных материалов, которые начали выпускаться промышленностью. Несмотря на легкую воспламеняемость и горючесть, он широко применяется для изготовления галантерейных изделий, игрушек, отделки музыкальных инструментов, для остекления машин, изготовления прозрачных деталей к приборам, оправ для очков и др.

**Целлулоид технический прозрачный (ГОСТ 576—41).** Выпускается трех марок в виде листов размером 1330 × 600 мм и толщиной 0,15—5 мм. Должен удовлетворять следующим требованиям:

Прозрачность, %, не менее для листов толщиной . . . . .	
до 1 мм . . . . .	80
» 2 мм . . . . .	75
Предел прочности при растяжении, кг/мм <sup>2</sup> для листов толщиной . . . . .	
до 1 мм . . . . .	4,3
» 2,5 мм . . . . .	3,6
Относительное удлинение при разрыве, % для листов толщиной . . . . .	
до 1 мм . . . . .	13
» 2,5 мм . . . . .	10

**Целлулоид белый технический (ОСТ 10182—39).** Выпускается в виде непрозрачных листов размером 1335 × 630 мм и толщиной 0,65—2 мм. При однократном изгибе вокруг металлического стержня лист не должен ломаться и давать трещин. Целлулоид должен удовлетворять следующим требованиям:

Содержание летучих веществ, %, не более, для листов толщиной . . . . .	
до 1 мм . . . . .	2
» 2,5 мм . . . . .	2,5
Усадка, %, не более . . . . .	2,5

**Целлулоид авиационный (ОСТ 10043 — 38).** Выпускается в виде прозрачных листов размером 1250 × 550 мм и толщиной 1—3 мм.

Изготавливается двух марок: АВ-1 и АВ-2. Должен удовлетворять следующим требованиям:

Показатели	Толщина листа, мм					
	1±0,08		2±0,15		3±0,25	
	АВ-1	АВ-2	АВ-1	АВ-2	АВ-1	АВ-2
Прозрачность, %, не менее . . . . .	82	77	74	69	66	61
Предел прочности при растяжении, кг/мм <sup>2</sup> , не менее . . . . .	5	5	4	4	3	3
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее . . . . .	10	10	10	10	10	10
Безпоглощение, %, не более . . . . .	—	—	—	0,5	—	—
Маслопоглощение, %, не более . . . . .	—	—	—	0,5	—	—
Водопоглощение, %, не более . . . . .	—	—	—	2	—	—

**Целлулоид галантерейный (ГОСТ 428—53).** Выпускается в виде прозрачных и непрозрачных листов размером 1330×550 мм и толщиной 0,5—5,0 мм. Изготавливается трех марок: А, Б и В. По ГОСТ к галантерейному целлулоиду предъявляются следующие требования:

Содержание летучих, %, не более . . . . .	2—3
Предел прочности при растяжении, кг/мм <sup>2</sup> , не менее . . . . .	3,8—4,4
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	
марка А . . . . .	15—18
марка Б . . . . .	10—15
Усадка линейная (после испытания на горячей плите), %, не более . . . . .	2

Другие свойства целлулоида приведены ниже:

Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,4
Показатель преломления при 20°С . . . . .	1,49—1,51
Удельная теплоемкость, ккал/(кг·град) . . . . .	0,34—0,38
Коэффициент линейного термического расширения, град <sup>-1</sup> . . . . .	$8 \cdot 10^{-5}$ — $12 \cdot 10^{-5}$
Коэффициент теплопроводности, кал/(см·сек·град) . . . . .	3—8
Теплостойкость по Мартенсу, °С . . . . .	40—70
Верхний предел рабочих температур, °С . . . . .	60

**Этрол нитроцеллюлозный (ТУ № 35-ХП-315—61).** Представляет собой термопластичный материал, получаемый на основе пластифицированного нитрата целлюлозы с минеральными и органическими наполнителями. Предназначен для изготовления штурвалов, рукояток рычагов переключения передач и других деталей. Этрол имеет следующие физико-механические свойства:

Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> , не менее . . . . .	6,0
Твердость по Бринеллю, кг/мм <sup>2</sup> . . . . .	6,0
Текущая по Рашигу, мм, не менее . . . . .	145
Водопоглощение, %, не более . . . . .	0,8
Температура разложения, °С, не ниже . . . . .	168
Влажность, %, не более . . . . .	1,5
Зольность, %, не более . . . . .	34

Поверхность отпрессованного диска из этрола не должна изменяться от действия трансформаторного масла в течение 1 ч.

#### Переработка целлулоида и нитроцеллюлозного этрола

Целлулоид перерабатывается методом выдувания в прессформах в разогретом состоянии; он хорошо обрабатывается режущими инструментами, тиснением на холоду или при нагревании и прессованием в разогретом состоянии. Прессование целлулоида и этрола проводят при 85—120°С и давлении 140—350 кг/см<sup>2</sup>.

#### Техника безопасности

Целлулоид и применяемое для его изготовления основное сырье — коллоксилин являются огнеопасными материалами. Под действием тепла целлулоид разлагается с образованием летучих веществ. Поэтому при работе с ним необходимо соблюдать особую осторожность, следует обезопасить все меры, исключающие возможность длительного нагревания целлулоида, его перегрева в аппаратах и образования искры.

#### Ацетаты целлюлозы

Ацетаты целлюлозы, или уксуснокислые эфиры целлюлозы, являются ацетилпроизводными целлюлозы, получаемыми этерификацией целлюлозы уксусным ангидридом в присутствии катализатора. Ацетаты целлюлозы применяются для производства пластмасс, пленок и лаков. Изделия на основе ацетатов целлюлозы обладают хорошей механической прочностью и красивым внешним видом.

В промышленности осуществлены следующие способы производства ацетатов целлюлозы:

1. Гомогенный периодический способ получения ацетатов целлюлозы в среде метилхлорида.

Облагороженную хлопковую целлюлозу активируют ледяной уксусной кислотой при 90°С. Ацелирование активированной целлюлозы проводят путем последовательной обработки сначала уксусным ангидридом, а затем ацелирующими смесями, состоящими из метилхлорида, уксусного ангидрида и катализатора. В качестве катализатора используют серную кислоту в количестве 0,8—1% от массы целлюлозы при получении ацетонорастворимого ацетата целлюлозы и хлорную кислоту в количестве 0,2% при получении частично омыленного триацетата целлюлозы. После окончания ацелирования, на что указывает отсутствие в «сиропе» непроацелированных волокон, и достижения требуемой вязкости образовавшийся триацетат целлюлозы омыляют добавлением к раствору расчетного количества воды и серной кислоты. Омыление проводят при 55—56°С с одновременной отгонкой метилхлорида. При достижении требуемой степени омыления катализатор нейтрализуют ацетатом натрия, а ацетат целлюлозы отбеливают раствором  $KMnO_4$  и щавелевой кислоты, высаждают 3—8%-ным раствором уксусной кислоты. Разбавленную уксусную кислоту отделяют от высаженного ацетата целлюлозы и направляют на регенерацию, а ацетат целлюлозы измельчают, промывают, стабилизируют и после центрифугирования сушат. Продукт расфасовывают в шпедированные мешки.

2. Непрерывный гомогенный способ получения ацетатов целлюлозы в среде уксусной кислоты.

Активацию целлюлозы по данному способу проводят 75—85%-ной уксусной кислотой с последующим вытеснением ее на ленточном фильтре ледяной уксусной кислотой. Разрыхленную активированную целлюлозу, катализатор, уксусный ангидрид и уксусную кислоту непрерывно подают в горизонтальный ацелилятор, представляющий собой длинный цилиндрический аппарат, внутренняя стенка которого имеет ребристую поверхность. Внутри аппарата имеется полый вал с насаженными на него лопастями, совершающий одновременное вращательное и возвратно-поступательное движение. Ацелилятор снабжен рубашками, позволяющими регулировать температуру реакции. Ацелирование целлюлозы проводят в среде уксусной кислоты в присутствии серной кислоты, взятой в количестве 3—5% от массы целлюлозы. Образующийся триацетат целлюлозы после добавления к «сиропу» расчетного количества 64%-ной уксусной кислоты непрерывно омыляют при 50—60°С. После достижения требуемой степени омыления ацетат целлюлозы высаждают в разбавленную уксусную кислоту, промывают, отжимают и сушат.

3. Гетерогенный периодический способ получения ацетатов целлюлозы.

Этот способ получения ацетатов целлюлозы отличается от гомогенного тем, что ацелирование целлюлозы проводят в среде

«нерастворителя» образующегося триацетата целлюлозы. В процессе этерификации целлюлоза сохраняет свою волокнистую структуру. Для активации целлюлозы используют смесь, состоящую из 85% уксусной кислоты, 5% воды и 10% бензола. Все стадии получения ацетатов целлюлозы проводят в одном аппарате — горизонтальной центрифуге. Ацелирование целлюлозы происходит в среде бензола в присутствии хлорной кислоты, взятой в количестве 0,7—0,9% от массы целлюлозы, а частичное омыление — в среде 11—12%-ной азотной кислоты.

4. Гетерогенный непрерывный способ получения ацетатов целлюлозы.

Данный способ отличается от гетерогенного периодического способа тем, что активацию целлюлозы, ацелирование, промывку бензолом, отгонку бензола, частичное омыление, промывку водой и сушку ацетата проводят в последовательно расположенных герметизированных аппаратах непрерывного действия.

В промышленности выпускаются ацетаты целлюлозы различных марок: триацетат целлюлозы, содержащий 59,5—61,5% связанной уксусной кислоты, и ацетонорастворимая ацелицеллюлоза, содержащая 50—55% связанной уксусной кислоты.

**Частично омыленный триацетат целлюлозы (МРТУ 6-05-1083—67).** Получается гомогенным способом. Предназначен для получения киноплёнки.

Триацетат целлюлозы должен удовлетворять следующим требованиям:

Показатели	Триацетат целлюлозы		
	гетерогенный		гомогенный
	для электроизоляционных пленок	основа для киноплёнок	для киноплёнки
Внешний вид . . . . .	Рыхлая волокнистая масса белого цвета		—
Содержание связанной уксусной кислоты, % . . . . .	61,5	60±0,5	60±0,5
Удельная вязкость 0,25%-ного раствора в смеси метилхлорид—спирт (9:1) при 20°С, не менее . . . . .	0,65	0,65	0,60—0,85
Влажность, %, не более . . . . .	3	3	1,0
Модуль фильтруемости, не выше . . . . .	250	250	500
Зольность, %, не более . . . . .	0,06	0,06	0,1
Свободная кислотность (в пересчете на уксусную кислоту), %, не более . . . . .	0,006	0,006	0,01
Цветность, не более . . . . .	0,25	0,25	0,20
Термостабильность, °С, не ниже . . . . .	220	220	195

**Триацетат целлюлозы (МРТУ 6-05-1295—69).** Получается по гетерогенному способу. Предназначен для производства электроизоляционной пленки и основы для киноплёнок. Должен удовлетворять требованиям, приведенным на стр. 203.

**Ацетилцеллюлоза для этрола (МРТУ 6-05-1062 — 67).** По внешнему виду представляет собой аморфные кусочки белого цвета без посторонних примесей. Выпускается двух марок: марка Б — предназначена для получения этрола светлых тонов, марка Ц — для цветного этрола. Ацетилцеллюлоза должна удовлетворять следующим требованиям:

	Б	Ц
Содержание связанной уксусной кислоты, % . . .	50—54	
Вязкость 8,5%-ного раствора в смеси дихлорэтан — этиловый спирт (85:15), <i>снз</i>		
до прогрева . . . . .	2000—3500	
после прогрева при 205°С в течение 30 мин, не менее . . . . .	1000	
Цветность 8,5%-ного раствора в смеси дихлорэтан — этиловый спирт (85:15) по кобальто-хлорплатинатной шкале		
до прогрева . . . . .	1,5	2,0
после прогрева при 205°С в течение 30 мин, не более . . . . .	7	10
Кислотность в пересчете на уксусную кислоту, %, не более . . . . .	0,02	
Влажность, %, не более . . . . .	2	
Зольность, %, не более . . . . .	0,1	

**Ацетилцеллюлоза для кинопромышленности (ТУ МХП № 4017—53).** По внешнему виду представляет собой аморфные кусочки белого цвета. Должна удовлетворять следующим требованиям:

Содержание, %	
связанной уксусной кислоты . . . . .	54,5—56,6
свободной уксусной кислоты, не более . . . . .	0,02
Вязкость 2%-ного раствора в муравьиной кислоте, <i>снз</i> , не менее . . . . .	20
Вязкость 18%-ного раствора в смеси ацетон — этиловый спирт (85:15), <i>сек</i> . . . . .	15—45
Растворимость в ацетоне, %, не менее . . . . .	99,5
Термостабильность, °С, не ниже . . . . .	205
Влажность, %, не более . . . . .	5,0
Зольность, %, не более . . . . .	0,2
Прозрачность 10%-ного раствора в ацетоне, <i>см</i> , не менее . . . . .	13

Применяется для производства киноплёнки.

**Ацетилцеллюлоза марки «Серикола» (ТУ № 4404 — 55).** Применяется для изготовления зеркальных слоев с омыленной поверхностью, для отлива основы киноплёнки и для приготовления лаков МС и ФС. По внешнему виду представляет собой аморфные куски или порошок белого цвета. «Серикола» должна удовлетворять следующим требованиям:

Содержание, %	
связанной уксусной кислоты . . . . .	44—46,5
свободной уксусной кислоты, не более . . . . .	0,035
Вязкость 15%-ного раствора в смеси растворителей (75% ацетона, 5—15% изопропанола, 10—20% воды), <i>сек</i> . . . . .	60
Растворимость	
в ацетоне . . . . .	Не растворяется
в смеси ацетон — вода (90:10) . . . . .	Полная
Прозрачность 10%-ного раствора в смеси ацетон — вода (90:10), <i>см</i> , не менее . . . . .	6
Термостабильность, °С, не ниже . . . . .	203
Цветность по кобальто-хлорплатинатной шкале, не более . . . . .	3
Зольность, %, не более . . . . .	0,2

#### Свойства ацетатов целлюлозы

Свойства ацетатов целлюлозы определяются, главным образом, содержанием связанной уксусной кислоты и степенью полимеризации. Содержание связанной уксусной кислоты иногда выражают степенью замещения ОН-групп в целлюлозе или содержанием связанного ацетила (рис. 1). С изменением содержания

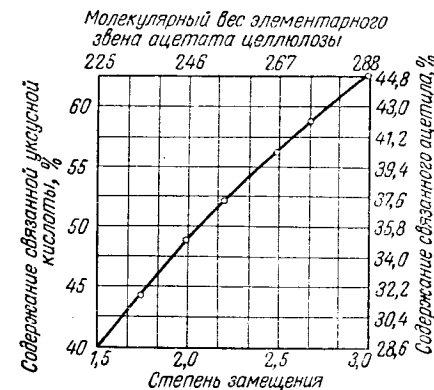


Рис. 1. Взаимосвязь между молекулярным весом элементарного звена ацетата целлюлозы и содержанием связанной уксусной кислоты, а также числом ацетильных групп и степенью замещения.



связанной уксусной кислоты изменяются молекулярный вес элементарного звена ацетата целлюлозы (рис. 1) и плотность (рис. 2). Степень полимеризации (СП) промышленных образцов ацетатов

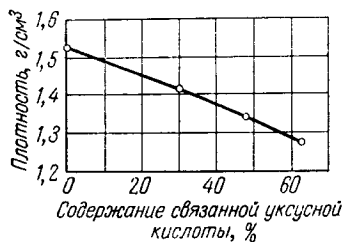


Рис. 2. Зависимость плотности ацетата целлюлозы от содержания связанной уксусной кислоты.

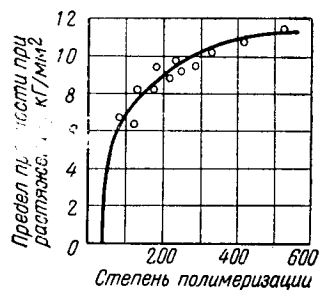


Рис. 3. Зависимость предела прочности при растяжении ацетата целлюлозы от степени полимеризации.

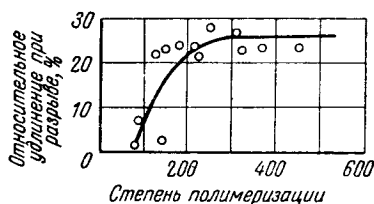


Рис. 4. Зависимость относительного удлинения при разрыве ацетата целлюлозы от степени полимеризации.

целлюлозы находится в пределах 250—550, причем наиболее высокомолекулярный продукт получают по гетерогенному способу. Увеличение СП со 150 до 400—500 вызывает резкое повышение показателей прочностных свойств пленок из ацетатов целлюлозы, однако дальнейшее увеличение СП (до 600) почти не влияет на их прочностные свойства (рис. 3 и 4).

#### Физико-механические свойства ацетатов целлюлозы

Пленка, отлитая из непластифицированного ацетата целлюлозы, содержащего  $60 \pm 0,5\%$  связанной уксусной кислоты, имеет следующие показатели физико-механических свойств:

Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,3
Предел прочности при растяжении, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	800—1100
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	10—20
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> . . . . .	100—200
Число двойных изгибов . . . . .	30—100
Водопоглощение за 24 ч, % . . . . .	3—6

Прочностные свойства пленок из триацетата целлюлозы зависят от температуры. С понижением температуры прочность пленки возрастает и ее удлинение при разрыве уменьшается (рис. 5).

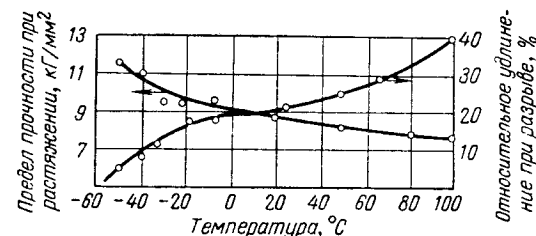


Рис. 5. Зависимость прочностных свойств ацетата целлюлозы, содержащего  $60 \pm 5\%$  связанной уксусной кислоты, от температуры.

При введении пластификаторов (трикрезилфосфат, фталаты) увеличивается эластичность пленки и несколько снижается ее предел прочности при растяжении.

#### Электрические свойства ацетатов целлюлозы

Триацетат целлюлозы является хорошим диэлектриком и имеет высокие диэлектрические показатели. С уменьшением содержания связанной уксусной кислоты в ацетате целлюлозы его электрические свойства ухудшаются. Ниже приведены основные показатели диэлектрических свойств непластифицированного триацетата целлюлозы при  $17—25^\circ\text{C}$ :

Удельное объемное электрическое сопротивление, ом·см . . . . .	$10^{15}—10^{17}$
Тангенс угла диэлектрических потерь	
при 50 гц . . . . .	0,005—0,007
» 10 <sup>3</sup> гц . . . . .	0,012—0,018
» 10 <sup>6</sup> гц . . . . .	0,200—0,220
Диэлектрическая проницаемость при	
10 <sup>3</sup> гц . . . . .	3,5—4,0
Электрическая прочность, кв/мм . . . . .	100—160

Зависимость удельного объемного электрического сопротивления ( $\rho_v$ ), тангенса угла диэлектрических потерь ( $\operatorname{tg} \delta$ ) и диэлектрической

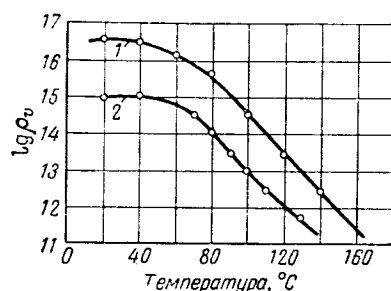


Рис. 6. Зависимость логарифма удельного объемного электрического сопротивления ( $\rho_v$ ) ацетатов целлюлозы от температуры:

1 — триацетат целлюлозы, содержащий  $60 \pm 5\%$  связанной уксусной кислоты; 2 — ацетилцеллюлоза, содержащая  $54\%$  связанной уксусной кислоты.

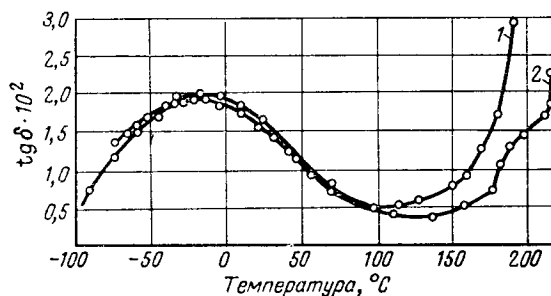


Рис. 7. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь  $\operatorname{tg} \delta$  ацетатов целлюлозы от температуры при  $10^3$  гц:

1 — триацетат целлюлозы, содержащий  $60 \pm 5\%$  связанной уксусной кислоты; 2 — ацетат целлюлозы, содержащий  $56\%$  связанной уксусной кислоты.

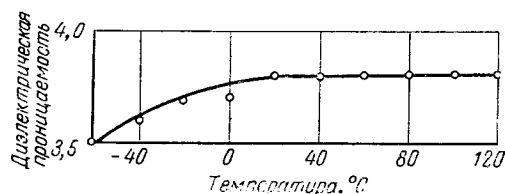


Рис. 8. Зависимость диэлектрической проницаемости ацетата целлюлозы (содержание связанной уксусной кислоты  $61,8\%$ ) от температуры.

трической проницаемости ацетатов целлюлозы от температуры представлена на рис. 6—8.

#### Теплофизические свойства ацетатов целлюлозы

Температура плавления триацетата целлюлозы равна примерно  $300^\circ\text{C}$ . Ацетонорастворимая ацетилцеллюлоза не имеет

ярко выраженной температуры плавления, а ее температура размягчения ( $210\text{--}260^\circ\text{C}$ ) близка к температуре деструкции.

Показатели некоторых теплофизических свойств ацетатов целлюлозы приведены ниже:

Удельная теплоемкость, кал/(г·град) . . . . .	0,35—0,42
Коэффициент теплопроводности, ккал/(м·ч·град) . . . . .	0,011—0,022
Коэффициент термического линейного расширения (в интервале от $-79$ до $+20^\circ\text{C}$ ), град $^{-1}$ . . . . .	$1,6 \cdot 10^{-4}$
Верхний предел рабочих температур, °C . . . . .	$60\text{--}80$
Морозостойкость, °C . . . . .	$-20$

#### Химические свойства ацетатов целлюлозы

Химическая стойкость и растворимость ацетатов целлюлозы зависят от содержания в них связанной уксусной кислоты

(рис. 9). Водные и спиртовые растворы щелочей и некоторые органические основания омыляют ацетаты целлюлозы. Минеральные кислоты не только омыляют ацетильные группы, но и приводят к деструкции макромолекул ацетатов целлюлозы. Некоторые вещества, растворяя ацетат одной степени замещения, при другой степени замещения вызывают лишь его набухание и наоборот. Триацетат целлюлозы растворим в ледяной уксусной кислоте, хлороформе, метиленхлориде, дихлорэтане, муравьиной кислоте, формамиде и пиридине. Наиболее распространенными растворителями триацетата целлюлозы являются смеси метиленхлорид — метанол (этанол) или дихлорэтан — метанол (этанол), взятые в соотношении 9:1. Ацетаты целлюлозы, содержащие  $52\text{--}56\%$  связанной уксусной кислоты, растворимы в ацетоне, уксусной кислоте, диоксане, диоксанане, этиллактате, фурфуроле, метилацетате, нитрометане, метилцеллозольацетате, метиленхлориде, циклогексаноне и других растворителях. Ацетаты целлюлозы устойчивы к воздействию бензола, толуола, бензина и гептана. Ниже приводятся данные о химической стойкости ацетата целлюлозы,

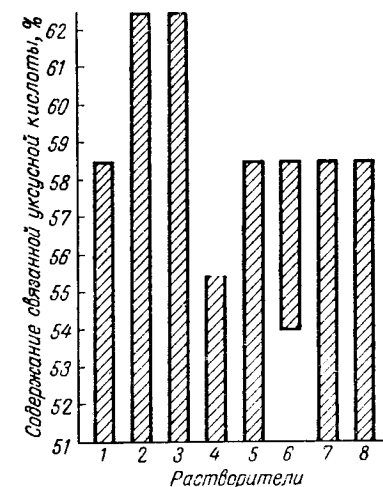


Рис. 9. Растворимость ацетатов целлюлозы в различных растворителях в зависимости от содержания связанной уксусной кислоты (концентрация раствора  $20\%$ , температура  $20^\circ\text{C}$ ):

1 — ацетон; 2 — метиленхлорид — этанол (9:1); 3 — уксусная кислота (хорошо растворяется при температуре  $50\text{--}60^\circ\text{C}$ ); 4 — этилацетат — этанол (8:2); 5 — этиллактат; 6 — метилэтилкетон; 7 — метилацетат; 8 — нитрометан — этанол (8:2).

содержащего 52—56% связанной уксусной кислоты, к действию некоторых химических реагентов при 17—25° С.

#### Химическая стойкость ацетатов целлюлозы

Обозначения: С — стойкий; Н — нестойкий

Среда	Продолжительность воздействия сутки	Изменение массы %	Оценка стойкости
Вода . . . . .	7	-8	С
	30	-9	С
Натр едкий 10%-ный . . . . .	7	Разрушается	Н
	30	»	Н
Карбонат натрия 10%-ный . . . . .	7	-40	Н
	30	-42	Н
Соляная кислота 10%-ная . . . . .	7	-50	Н
	30	-53	Н
Уксусная кислота 10%-ная . . . . .	7	-8	С
	30	-8	С
Азотная кислота 10%-ная . . . . .	7	Набухает и разрушается	Н
	30		Н
Серная кислота 10%-ная . . . . .	7	-39	Н
	30	-44	Н
Толуол . . . . .	7	-3	С
	30	-3	С
Тетрахлорэтилен . . . . .	7	+2	С
	30	+4	С
Монометилловый эфир этиленгликоля . . . . .	7	-8	С
	30	-7	С
Диэтиловый эфир . . . . .	7	-7	С
	30	-7	С
Натрий хлористый 10%-ный . . . . .	7	-6	С
	30	-8	С
Диоктилсебацнат . . . . .	7	0	С
	30	-1	С
Гептан . . . . .	7	0	С
	30	0	С
Гипохлорит натрия (отбеливающий раствор) . . . . .		Растворяется	
Компрессорное масло . . . . .	7	0	С
	30	-1	С

#### Прочие свойства ацетатов целлюлозы

Ацетаты целлюлозы являются негорючими, трудно воспламеняемыми полимерами. При длительном воздействии солнечного света на открытом воздухе в ацетатах целлюлозы протекают различные химические процессы. В основном, это фотохимическая деструкция. При облучении пленки из ацетата целлюлозы УФ-светом в течение 200 ч на воздухе характеристическая вязкость сни-

жается на 80%, а при облучении УФ-светом в течение 200 ч в среде азота — только на 10%. Отпрессованная с пластификатором ацетилцеллюлоза является прозрачным материалом. Наибольшее светопоглощение ацетилцеллюлоза имеет в видимой части спектра при длине волны 420 мкм. Светопоглощение постепенно уменьшается к красной части спектра и достигает наименьшего значения при длине волны 680 мкм. Прозрачность растворов ацетатов целлюлозы зависит от качества исходного сырья и различных технологических факторов.

#### Пленки на основе ацетатов целлюлозы

Наиболее распространенным методом изготовления прозрачных гибких пленок из ацетатов целлюлозы является отлив из раствора. Технологический процесс получения таких пленок осуществляется путем полива раствора ацетата целлюлозы на вращающийся барабан или бесконечную металлическую ленту с последующим испарением летучего растворителя и сушкой пленки.

Пленки из ацетатов целлюлозы не имеют запаха, нетоксичны, не способствуют развитию плесени, не гниют. Газопроницаемость различных ацетилцеллюлозных пленок приведена ниже:

Тип пленки	Азот		Кислород		Двуокись углерода	
	температура °С	газопроницаемость *	температура °С	газопроницаемость *	температура °С	газопроницаемость *
Ацетат целлюлозы, непластифицированный, растворимый в ацетоне	23	$5,76 \cdot 10^{-6}$	23	$1,44 \cdot 10^{-7}$	23	$1,15 \cdot 10^{-6}$
Ацетат целлюлозы, пластифицированный 15% дибutilфталата, растворимый в ацетоне	30	$1,8 \cdot 10^{-7}$	—	—	25	$6,48 \cdot 10^{-5}$
Триацетат целлюлозы, содержащий 60% связанной уксусной кислоты . . . . .	30	$6,12 \cdot 10^{-6}$	30	$3,6 \cdot 10^{-7}$	30	$2,05 \cdot 10^{-6}$

\* В см<sup>3</sup>·мм/(см<sup>2</sup>·ч·мм рт. ст.)

Проницаемость водяных паров за 24 ч (при 38°С и относительной влажности 90%) у триацетатной пленки толщиной 0,025 мм составляет 790 г/м<sup>2</sup>, а толщиной 0,25 мм — 140 г/м<sup>2</sup>. Показатель преломления пленок 1,48—1,49, прозрачность в видимом свете при толщине пленки 0,025—0,25 мм составляет 90—93%.

**Непластифицированная и слабопластифицированная триацетатная электроизоляционная пленка (ТУ № 1676).** Выпускается в виде рулонов шириной 500 мм и толщиной 0,04—0,07 мм. Пленка применяется для изоляции пазовых частей обмоток электрических машин и аппаратов. После выдержки в течение 7 суток в термостате при  $140 \pm 2^\circ \text{C}$  пленка должна удовлетворять следующим требованиям:

Предел прочности при растяжении, $\text{кг/см}^2$ , не менее . . . . .	9
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее . . . . .	9
Усадка линейная, %, не более	
слабо пластифицированная . . . . .	12
непластифицированная . . . . .	6
Потери массы, %, не более	
слабо пластифицированная . . . . .	10
непластифицированная . . . . .	5
Удельное объемное электрическое сопротивление, $\text{ом} \cdot \text{см}$ , не менее . . . . .	$10^{14}$
Электрическая прочность, $\text{кв}$ , не менее	
при толщине 0,04 мм . . . . .	3,5
»    »    0,07 мм . . . . .	5,5

**Электроизоляционная пластифицированная пленка из триацетата целлюлозы (ТУ № 1782).** Предназначена для изоляции электропроводов. Пленка выпускается в виде лент шириной 4—20 мм, толщиной 0,025—0,040 мм. После выдержки в течение 24 ч при  $140 \pm 2^\circ \text{C}$  пленка должна иметь следующие показатели:

Предел прочности при растяжении, $\text{кг/см}^2$ , не менее . . . . .	6,5
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее . . . . .	12
Потери массы, %, не более . . . . .	20
Усадка линейная, %, не более . . . . .	20
Удельное объемное электрическое сопротивление, $\text{ом} \cdot \text{см}$ , не менее . . . . .	$10^{14}$
Электрическая прочность, $\text{кв}$ , не менее	
при толщине 0,025 мм . . . . .	1,5
»    »    0,04 мм . . . . .	3,5

Выпускаются огнестойкие окрашенные ацетатные пленки, применяемые для изготовления светофильтров, планшеток и для других целей.

#### Ацетилцеллюлозные этролы

Ацетилцеллюлозные (АЦ) этролы представляют собой термопластичные массы, состоящие из ацетата целлюлозы, пластификаторов, стабилизаторов, наполнителей и красителей. Они получают смешением ацетата целлюлозы с пластификаторами и другими добавками в высокоскоростных пропеллерных или тихоходных

лопастных смесителях и последующей гомогенизации композиции на вальцах при  $140\text{—}160^\circ \text{C}$  (суховальцовый метод) или в экструдере при  $180\text{—}210^\circ \text{C}$  (экструзионный метод).

При получении стандартных марок этролов используется ацетат целлюлозы для этролов (МРТУ 6-05-1062—67) со средней степенью полимеризации 200—250.

Основными пластификаторами для ацетата целлюлозы являются диметилфталат, диэтилфталат, трифенилфосфат, трихлорэтилфосфат, триацетин. Кроме них могут применяться динитриладипинат, ди- и триэтиленгликольдипропионат и др.

Ацетилцеллюлозные этролы выпускаются стабилизированные и нестабилизированные. В качестве стабилизаторов применяют салол, П-23, 2,6- $\alpha$ -метилбензил-4-метилфенол, кислый оксалат калия, эпоксидные смолы и др.

Крашение ацетилцеллюлозных этролов производится теплоустойкими, светостойкими немигрирующими органическими и неорганическими красителями. К числу таких органических красителей и пигментов относятся: пигмент желтый прочный, пигмент ярко-оранжевый антрахиноновый, пигмент бордо антрахиноновый, лак алый С, лак красный 2СМ, лак бордо СМ, пигмент синий антрахиноновый, пигменты голубой и зеленый фталоцианиновые, глубоко черный и др. Из минеральных пигментов применяются: кадмий лимонный, кадмий оранжевый, кадмий красный темный, охра красная, кобальт синий, ультрамарин, окись хрома, изумрудная зелень, английская красная, сiena жженная и др.

Ацетилцеллюлозные этролы выпускаются в виде кубических или цилиндрических гранул насыпной массы  $0,50\text{—}0,65 \text{ г/см}^3$ . Гранулы могут быть натурального цвета (прозрачные) или окрашены в самые различные цвета (прозрачные, полупрозрачные, непрозрачные, имитирующие слоновую кость, перламутр, бронзу и т. д.).

Ацетилцеллюлозные этролы в зависимости от природы пластификаторов и их содержания выпускаются нескольких марок, имеющих различное назначение.

#### Марки ацетилцеллюлозных этролов

Обозначения: А — автомобильные; Э — экструзионные; О — огнестойкие; Н — нетоксичные; М — мягкие; С — средние; Т — твердые.

Марка	Основные области применения и способы переработки	Технические условия
2ДТ-55 2ДТ-43 Д-30	Различные детали в автомобильной промышленности (ручки, кнопки, приборные щитки, штурвалы); перерабатываются прессованием и литьем; марка Д-30 применяется также для изготовления прозрачных изделий	ТУ ГХП 57—52

Продолжение

Марка	Основные области применения и способы переработки	Технические условия
А-М А-С А-Т Э-М Э-С Э-Т	Различные автомобильные детали и другие изделия; перерабатываются литьем под давлением	МРТУ 6-05-1066-67
О-М О-С О-Т	Профили, листы, пленки, трубы; перерабатываются экструзией	То же
Н-М Н-С Н-Т	Изделия повышенной огнестойкости; перерабатываются литьем под давлением и экструзией	ТУ ВНИИСС № 65-66
	Нетоксичные изделия; перерабатываются литьем под давлением и экструзией	То же

## Физико-механические свойства ацетилцеллюлозных этролов

Основные показатели физико-механических свойств ацетилцеллюлозных этролов приведены ниже (см. также стр. 215):

Плотность, $г/см^3$ . . . . .	1,27-1,34
Предел прочности, $кг/см^2$ при растяжении . . . . .	200-400
» изгибе . . . . .	250-600
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	6-25
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ при комнатной температуре . . . . .	15-60
» $-40^\circ C$ . . . . .	5-15
Твердость по Бринеллю, $кг/мм^2$ . . . . .	3-6
Модуль упругости при изгибе, $кг/см^2$ . . . . .	10 000-20 000

На рис. 10 показано изменение плотности ацетилцеллюлозных этролов в зависимости от температуры.

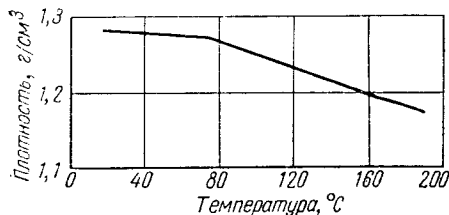


Рис. 10. Зависимость плотности ацетилцеллюлозных этролов от температуры.

При использовании ацетата целлюлозы с повышенным содержанием связанной уксусной кислоты у ацетилцеллюлозных этролов увеличиваются механическая прочность, твердость, теплоустойчивость и стабильность размеров и формы при повышенных температурах.

С понижением температуры этролы становятся более хрупкими. С увеличением содержания пластификаторов прочность этролов уменьшается, а относительное удлинение возрастает.

При использовании ацетата целлюлозы с повышенным содержанием связанной уксусной кислоты у ацетилцеллюлозных этролов увеличиваются механическая прочность, твердость, теплоустойчивость и стабильность размеров и формы при повышенных температурах.

## Физико-механические свойства ацетилцеллюлозных этролов различных марок

Показатели	2ДТ-55 цветной		2ДТ-43		2ДТ-55 черной		А-М Э-М		А-С Э-С		А-Т Э-Т		О-М		О-С		О-Т	
	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,32	400	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,4	500
Плотность, $г/см^3$ , не более . . . . .	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,32	400	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,4	500
Предел прочности, $кг/см^2$ , не менее при растяжении . . . . . » статическом изгибе . . . . .	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,32	400	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,4	500
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее . . . . .	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,32	400	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,4	500
Удельная ударная вязкость при комнатной температуре, $кг \cdot см/см^2$ , не менее	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,32	400	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,4	500
Твердость по Бринеллю, $кг/мм^2$ , не менее	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,32	400	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,4	500
Теплоустойчивость, °C, не менее по Вика . . . . . » Мартенсу . . . . .	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,32	400	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,4	500
Индекс расплава *, $г/10$ мин . . . . .	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,32	400	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,4	500
Текучесть по видоизмененному методу Рашига, $мл/сек$ , не менее . . . . .	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,32	400	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,4	500
Водопоглощение $г/дм^2$ , не более . . . . . %, не более . . . . .	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,32	400	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,4	500	1,4	500

\* Индекс расплава определяется на стандартном капилляре диаметром 2,095 мм и длиной 8 мм при  $170^\circ C$  под нагрузкой 10,3 кг

Свойства ацетилцеллюлозных этролов сильно зависят от качества ацетата целлюлозы и пластификаторов.

<i>Электрические свойства ацетилцеллюлозных этролов</i>	
Удельное объемное электрическое сопротивление, <i>ом·см</i> . . . . .	10 <sup>10</sup> —10 <sup>13</sup>
Диэлектрическая проницаемость	
при 60 <i>гц</i> . . . . .	5—7
» 10 <sup>6</sup> <i>гц</i> . . . . .	4—5
Тангенс угла диэлектрических потерь	
при 60 <i>гц</i> . . . . .	0,009—0,072
» 10 <sup>6</sup> <i>гц</i> . . . . .	0,05—0,07
Электрическая прочность, <i>кв/мм</i> . . . . .	24—32
<i>Теплофизические свойства ацетилцеллюлозных этролов</i>	
Теплостойкость, °С	
по Вика . . . . .	65—85
» Маргенсу . . . . .	35—55
Температура стеклования, °С . . . . .	65—85
Температура плавления, °С . . . . .	150—170
Удельная теплоемкость, <i>ккал/(кг·град)</i> . . . . .	0,3—0,42
Коэффициент теплопроводности, <i>ккал/(м·ч·град)</i> . . . . .	0,14—0,18
Коэффициент термического линейного расширения, <i>град<sup>-1</sup></i>	
при 20—60° С . . . . .	1,0·10 <sup>-4</sup> —1,2·10 <sup>-4</sup>
» 70—170° С . . . . .	6,0·10 <sup>-4</sup> —7,0·10 <sup>-4</sup>

*Химическая стойкость ацетилцеллюлозных этролов \**

Ацетилцеллюлозные этролы устойчивы к действию воды, водных растворов солей, нефтепродуктов, минеральных масел, бензина, бензола, простых эфиров, разбавленных (до 3—5%) серной и соляной кислот. Набухают в спиртах, формалине, нестойки к концентрированным кислотам и щелочам, разбавленной азотной кислотой. Растворяются в ацетоне, этилацетате, метилхлориде.

*Переработка ацетилцеллюлозных этролов*

Ацетилцеллюлозные этролы являются типичными термопластами. Они перерабатываются литьем под давлением, экструзией, прессованием и другими методами.

Условия переработки зависят от марки этрола, вида изделий, их размеров и толщины.

Литье под давлением производится на литьевых машинах при давлении порядка 1000 *кГ/см<sup>2</sup>* и температуре 170—220° С (темпе-

\* См. также стр. 226.

ратура литья повышается с уменьшением содержания пластификаторов в этроле). Продолжительность литьевого цикла в среднем составляет 15—60 *сек*, выдержка под давлением не превышает 15—20 *сек*. Температура литьевой формы в зависимости от вида изделия поддерживается в пределах 40—70° С. Более высокая температура выбирается для толстостенных изделий и изделий сложной конфигурации с арматурой. Арматура иногда также подогревается до 50—60° С.

Усадка изделий в поперечном направлении значительно больше, чем в продольном, и достигает 1%.

При экструзии этролов рекомендуется использовать машины со следующей характеристикой червяка: длина—15 или 20*D*, степень сжатия 2,4—3,0. Температура экструзии колеблется в пределах 160—210° С.

Методом экструзии получают трубы, профили, листы, пленки.

При экструзии труб диаметр калибратора должен быть на 0,6—1,4% больше заданного диаметра трубы. Трубы калибруются сжатым воздухом или вакуумом.

Для экструзии листов и пленок используются плоскощелевые головки с регулируемымзором между губками. Выходящий расплав принимается на высокополированные гладильные валки, нагретые до 90—110° С. Минимальная толщина получаемых пленок 50 *мк*.

Прессование различных изделий осуществляется при давлении 30—400 *кГ/см<sup>2</sup>* и температуре 140—160° С. По окончании прессования изделия охлаждаются под давлением до 40—50° С и распрессовываются. Продолжительность прогрева, давление и температура зависят от формы и толщины прессуемого изделия.

Перед переработкой, особенно перед экструзией и литьем под давлением, гранулы ацетилцеллюлозного этрола необходимо подсушивать до остаточной влажности 0,1—0,2%. Сушка осуществляется в термошкафах при 75—85° С в течение 2—4 *ч* при толщине слоя не более 3 *см*. Наличие влаги в этроле приводит к появлению в изделиях пузырей, раковин, «серебра».

Листовые и пленочные материалы из этрола могут формоваться штамповкой или вакуум-формованием. Температура вакуум-формования примерно 160—180° С. Формы предварительно необходимо подогреть до 60—80° С, а листовые заготовки высушивать. Матовая поверхность на формованных изделиях является следствием низкой температуры формования, пузыри — следствием повышенной влажности.

Полюе изделия из ацетилцеллюлозных этролов получают в разъемных формах методом раздува сжатым воздухом горячих трубок. Температура формы должна быть 50—60° С.

В качестве клеящих составов для склеивания ацетилцеллюлозных этролов применяют концентрированные растворы

ацетилцеллюлозы в растворителях, а также клеи на основе эпоксидных смол.

Изделия из этролов легко полируются специальными полировочными пастами.

#### Применение ацетилцеллюлозных этролов

Наиболее широко ацетилцеллюлозные этролы используются в автомобильной промышленности (автоштурвалы, приборные щитки, подлокотники, кнопки и ручки управления, экструдированные накладки), в текстильной промышленности (различные катушки) и холодильной технике (экструдированные накладки холодильников).

Из этролов изготавливают оправы для очков, различные шкалы приборов, клавиши музыкальных инструментов и пишущих машин. Их можно применять для изготовления детских игрушек и различных изделий народного потребления, а также в авиационной, электротехнической, медицинской и обувной промышленности.

Ацетилцеллюлозные листовые материалы могут использоваться для изготовления трафаретов, лекал, угольников и т. п., а также для макетирования, изготовления модельных установок, различных вывесок и т. д.

Ацетилцеллюлозные пленки можно применять в сельском хозяйстве для парников и теплиц.

Трубы из ацетилцеллюлозных этролов пригодны для транспортировки соленой воды и парафинистой нефти (парафин не откладывается на стенках); из них можно изготавливать корпуса велосипедов.

#### Ацетобутираты целлюлозы

Ацетобутират целлюлозы (АБЦ) представляет собой смешанный эфир целлюлозы, получаемый этерификацией целлюлозы смесью уксусного и масляного ангидридов в присутствии катализатора. Этерификацию проводят в среде метиленхлорида при температуре около 30°С, в качестве катализатора используют смесь серной и хлорной кислот. После окончания этерификации АБЦ омыляют при одновременной отгонке метиленхлорида до требуемого содержания свободных гидроксильных групп, фильтруют, отбеливают и высаждают в разбавленную уксусную кислоту. После высаживания АБЦ промывают и сушат. Изменяя соотношение масляного и уксусного ангидридов, а также технологические параметры этерификации, получают АБЦ различных марок, предназначенных для производства пластмасс (этролов), пленок и лаков.

**Ацетобутират целлюлозы для этрола (СТУ № 9-68—61).** По внешнему виду представляет собой кусочки белого цвета, не со-

держащие посторонних примесей. АБЦ должен удовлетворять следующим требованиям:

	Тип 1	Тип 2
Содержание, %		
связанной масляной кислоты . . . . .	43—45	40—43
свободных гидроксильных групп, не более		0,5
связанной уксусной кислоты . . . . .	Факультативно	
Вязкость 5%-ного раствора в спирто-бензольной смеси (1:4), <i>свз</i> , не менее . . . . .	40	
Зольность, %, не более . . . . .	0,2	
Свободная кислотность в пересчете на масляную кислоту, %, не более . . . . .	0,01	
Влажность, %, не более . . . . .	1	
Термостабильность . . . . .	По эталону	

#### Ацетобутират целлюлозы (пленочный) (МРТУ 6-05-1106—68).

Предназначен для производства пленки для алюмината. Выпускается двух марок: А и В. Должен удовлетворять следующим требованиям:

	А	В
Содержание, %		
связанной масляной кислоты . . . . .	26—32	20—26
свободных гидроксильных групп, не более		0,3
связанной уксусной кислоты . . . . .	35—40	
Свободная кислотность в пересчете на масляную кислоту, %, не более . . . . .		0,01
Вязкость 18%-ного раствора в смеси метиленхлорид—метанол (9:1), <i>сек</i> . . . . .	15—30	
Модуль фильтруемости, не более . . . . .	250	
Термостабильность, °С, не ниже . . . . .	200	
Прозрачность, %, не менее . . . . .	65	
Цветность, не более . . . . .	0,15	
Влажность, %, не более . . . . .	1	

#### Ацетобутират целлюлозы для производства лаков (ТУ № В-111—68).

Должен удовлетворять следующим требованиям:

Содержание, %	
связанной масляной кислоты . . . . .	45—50
свободных гидроксильных групп, не более	0,15—0,5
свободных ионов $SO_4^{2-}$ . . . . .	Не допускается
Вязкость 12%-ного раствора в смеси растворителей, <i>сек</i> . . . . .	16—22
Цвет 12%-ного раствора в смеси растворителей Р-1 (ацетон, бутилацетат, этилацетат, толуол, бутанол) . . . . .	Бесцветный или слегка желтоватый
Растворимость в смеси растворителей Р-1 . . . . .	Полная, допускается опалесценция
Свободная кислотность в пересчете на масляную кислоту, %, не более . . . . .	0,01
Зольность, %, не более . . . . .	0,15
Термостабильность, °С, не ниже . . . . .	160
Влажность, %, не более . . . . .	1

## Свойства ацетобутирата целлюлозы

Свойства АБЦ определяются содержанием связанных масляной и уксусной кислот и степенью полимеризации. С увеличением содержания связанной масляной кислоты в АБЦ уменьшается предел прочности при растяжении АБЦ пленок и возрастает удлинение при разрыве:

Содержание, %	61,7	51,6	43,3	27,8	10,6
связанной уксусной кислоты . . . . .	61,7	51,6	43,3	27,8	10,6
связанной масляной кислоты . . . . .	—	10,2	21,2	39,0	58,4
Предел прочности при растяжении, $кг/мм^2$ . . . . .	11,6	10,4	8,7	7,3	6,4
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	10—12	—	38	38—43	—

Температура размягчения АБЦ (170—180° С) также зависит от содержания связанной масляной кислоты и с увеличением последней понижается.

АБЦ обладает большой водостойкостью, лучшей совместимостью с пластификаторами и лучшей растворимостью, чем ацетаты целлюлозы. Основные свойства ацетобутиратной пленки, полученной методом полива из раствора, приведены ниже (23° С, относительная влажность 50%):

Плотность, $г/см^3$ . . . . .	1,2
Предел прочности при растяжении, $кг/мм^2$ . . . . .	7—9
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	20—45
Удельное объемное электрическое сопротивление, $ом \cdot см$ . . . . .	$10^{15}—10^{17}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^3 гц$ . . . . .	0,01—0,017
Диэлектрическая проницаемость . . . . .	3,5—4
Электрическая прочность, $кв/мм$ . . . . .	100—140
Прозрачность в видимом свете, % . . . . .	90—92
Показатель преломления . . . . .	1,48
Водопоглощение, % . . . . .	0,5—2
Наропроницаемость пленки толщиной 25 $мк$ при 38° С и 90%-ной относительной влажности за 24 ч, $г/м^2$ . . . . .	790
Газопроницаемость, $см^3 \cdot мм/(см^2 \cdot ч \cdot мм рт. ст.)$	
$N_2$ . . . . .	$5,76 \cdot 10^{-7}$
$O_2$ . . . . .	$2,1 \cdot 10^{-6}$
$CO_2$ . . . . .	$1,1 \cdot 10^{-5}$

Электрические свойства ацетобутиратных пленок ухудшаются с увеличением влажности среды. Зависимость электрических свойств ( $\rho_r$  и  $tg \delta$ ) от температуры носит такой же характер, как и для ацетатов целлюлозы. С повышением температуры удельное объемное электрическое сопротивление уменьшается. АБЦ трудно воспламеняется и плохо горит.

## Химические свойства ацетобутирата целлюлозы

АБЦ хорошо растворяется в ацетоне, метилацетате, метилхлориде, циклогексаноне, бензиловом спирте, бензоле, трихлорэтилене и некоторых других растворителях. Стоек к действию четыреххлористого углерода, бензина, минеральных масел.

Химическая стойкость непластифицированного АБЦ зависит от содержания связанных масляной и уксусной кислот.

## Химическая стойкость ацетобутирата целлюлозы при 20°С

Среда	Продолжительность воздействия, сутки	Изменение массы, %	
		АБЦ, содержащий 21% связанной масляной кислоты и 39% $CH_3COOH$	АБЦ, содержащий 45,5% связанной масляной кислоты и 18% $CH_3COOH$
Вода . . . . .	7	-1	-1
	30	-1	-1
Едкий натр 10%-ный . . . . .	7	-19	Разрушается
	30	Разрушается	Разрушается
Карбонат натрия 10%-ный . . . . .	7	-1	-1
	30	-1	-6
Соляная кислота 10%-ная . . . . .	7	-34	-42
	30	Разрушается	Разрушается
Уксусная кислота 10%-ная . . . . .	7	0	0
	30	0	0
Азотная кислота 10%-ная . . . . .	7	-41	-42
	30	Разрушается	Разрушается
Серная кислота 10%-ная . . . . .	7	-1	0
	30	-1	-3
Толуол . . . . .	7	+2	0
	30	+2	+1
Тетрахлорэтилен . . . . .	7	+6	+2
	30	+6	+3
Целлозольв . . . . .	7	0	Растворяется
	30	-1	
Диэтиловый эфир . . . . .	7	0	-1
	30	0	+1
Ацетон . . . . .		Растворяется	
Этилацетат . . . . .		»	
Хлористый натрий 10%-ный . . . . .	7	-1	0
	30	-1	0
Компрессорное масло . . . . .	7	-1	0
	30	0	0
Гептан . . . . .	7	0	+1
	30	+1	+2

## Ацетобутиратцеллюлозные этролы

Ацетобутиратцеллюлозные (АБЦ) этролы представляют собой термопластичные массы, состоящие из ацетобутирата целлюлозы, пластификаторов, стабилизаторов, наполнителей и красителей.



Обладая всеми достоинствами ацетилцеллюлозных этролов, ацетобутиратцеллюлозные этролы превосходят их по морозостойкости, теплостойкости, водостойкости. Они тропикостойки, а также устойчивы к действию грибов и плесени.

Ацетобутиратцеллюлозные этролы получают теми же методами, что и ацетилцеллюлозные.

Для получения ацетобутиратцеллюлозных этролов применяется ацетобутират целлюлозы для этрола (СТУ № 68—61).

Ацетобутират целлюлозы обладает лучшей совместимостью с пластификаторами по сравнению с ацетилцеллюлозой. В качестве основных пластификаторов применяют диоктилфталат, дибутилсебацат, трифенилфосфат, трихлорэтилфосфат. Кроме них могут использоваться ди- и триэтиленгликольдипропонат, динитрилсебацат, динитриладипинат и др.

В качестве стабилизаторов применяются салол, П-23, 2, 6- $\alpha$ -метилбензил-4-метилфенол и производные бензофенона.

Для крашения применяются те же красители, что и для ацетилцеллюлозных этролов.

Ацетобутиратцеллюлозные этролы выпускаются в виде кубических или цилиндрических гранул с насыпной массой 0,5—0,7 г/см<sup>3</sup>. Гранулы могут быть натурального цвета (прозрачные) или окрашенные в самые различные цвета (прозрачные, полупрозрачные, непрозрачные, имитирующие слоновую кость, перламутр, бронзу, серебро и т. д.).

Ацетобутиратцеллюлозные этролы в зависимости от природы пластификаторов и их содержания выпускаются нескольких марок, имеющих различное назначение.

Марки ацетобутиратцеллюлозных этролов

Марка	Основные области применения и способы переработки	Технические условия
АБЦЭ-12	Различные детали обычного и тропического исполнения; перерабатывается методом литья под давлением	ВТУ 35ХП-588—63
АБЦЭ-20	Рулевые колеса автомобилей обычного и тропического исполнения; перерабатывается методом литья под давлением и прессованием	То же
АБЦЭ-20-ДКМ, АБЦЭ-20-ДСМ, АБЦЭ-20-ДКДСМ	Морозостойкие этролы для рулевых колес легковых автомобилей и автобусов и других деталей тропического и обычного исполнения; перерабатываются методом литья под давлением и прессованием	ВТУ П-325—66

Продолжение

Марка	Основные области применения и способы переработки	Технические условия
АБЦЭ-15	Некоторые автомобильные и другие детали в тропическом и обычном исполнении; перерабатывается методом литья под давлением	ВТУ П-344—67
АБЦЭ-7,5-5	Корпуса чернилниц к самописцам и другие изделия, изготавливаемые методом литья под давлением	МРТУ 6-0,5-1051—67
АБЦЭ-10	Корпуса авторучек, шариковых ручек, механических карандашей и другие изделия повышенной твердости; перерабатывается методом литья под давлением	То же
АБЦЭ-15-3	Этрол повышенной морозостойкости для рулевых колес автомашин и тракторов; перерабатывается методом литья под давлением и прессованием	ТУ ВНИИСС №64—66
АБЦЭ-15-5 огнестойкий	Изделия повышенной огнестойкости; перерабатывается литьем под давлением, экструзией и прессованием	То же
АБЦЭ-18-2	Корпуса транзисторных приемников, телефонные аппараты и другие изделия; перерабатывается методом литья под давлением и экструзией	»

Физико-механические свойства ацетобутиратцеллюлозных этролов

Основные показатели физико-механических свойств ацетобутиратцеллюлозных этролов приведены ниже (см. также стр. 225):

Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,16—1,25
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>	
при растяжении . . . . .	200—400
» статическом изгибе * . . . . .	300—600
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	15—40
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup>	
при комнатной температуре ** . . . . .	40—100
» —40° С . . . . .	10—20
Твердость по Бринеллю, кг/мм <sup>2</sup> . . . . .	3,5—7,0
Модуль упругости при изгибе, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	5 000—12 000

\* Образцы при испытании не ломаются.

\*\* Большинство образцов при испытании не ломается.

Зависимость физико-механических свойств АБЦ этролов от содержания пластификаторов и температуры показана на рис. 11—13.

При использовании ацетобутирата целлюлозы с повышенным содержанием связанной масляной кислоты увеличиваются твердость, теплостойкость и формоустойчивость при повышенных температурах ацетобутиратцеллюлозных этролов.

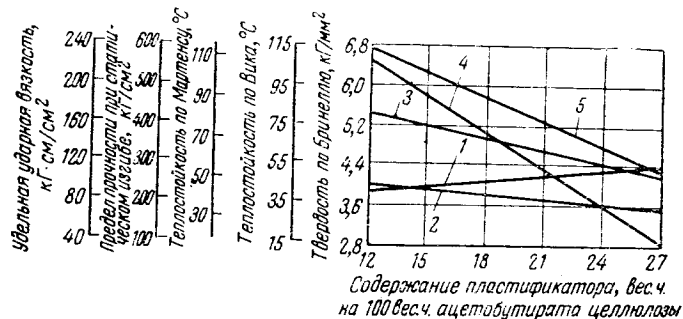


Рис. 11. Зависимость физико-механических свойств ацетобутиратцеллюлозных этролов от содержания пластификаторов (соотношение диоктилфталат : дибутилсебацат : трифенилфосфат = 1,5 : 1,5 : 1):

1 — удельная ударная вязкость; 2 — теплостойкость по Мартенсу; 3 — теплостойкость по Вика; 4 — твердость по Бринеллю; 5 — предел прочности при статическом изгибе.

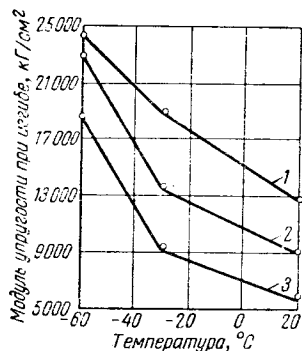


Рис. 12. Зависимость модуля упругости при изгибе ацетобутиратцеллюлозных этролов с различным содержанием пластификаторов от температуры: 1 — 12,0 вес. ч. пластификатора на 100 вес. ч. ацетобутирата целлюлозы; 2 — 20,0; 3 — 27,0

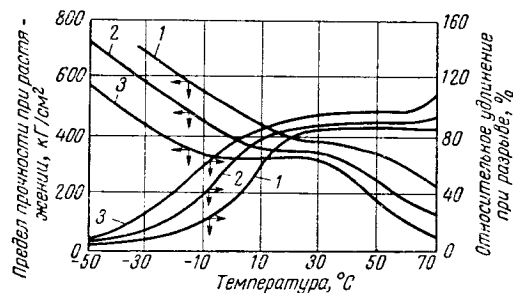


Рис. 13. Зависимость физико-механических свойств ацетобутиратцеллюлозных этролов с различным содержанием пластификаторов от температуры (см. обозначения к рис. 12).

Электрические свойства ацетобутиратцеллюлозных этролов

Удельное объемное электрическое сопротивление, ом·см . . . . .	$10^{12} - 10^{16}$
Диэлектрическая проницаемость	
при 60 гц . . . . .	3,5—4,1
» $10^6$ гц . . . . .	3,2—3,6
Тангенс угла диэлектрических потерь	
при 60 гц . . . . .	0,005—0,07
» $10^6$ гц . . . . .	0,021—0,031
Электрическая прочность, кв/мм . . . . .	31—36

Физико-механические свойства ацетобутиратцеллюлозных этролов

АВЦЭ-18-2	250	320	25	Не ломаются	3,5	70	—
АВЦЭ-15-3	350	450	18	50	4,5	75	—
АВЦЭ-15-3	280	400	20	80	4,0	80	—
АВЦЭ-10	—	500	—	70	5,5	—	4,5
АВЦЭ-7-5-5	—	500	—	70	5,0	—	4,5
АВЦЭ-20-ЛКДСМ	—	300	—	100	15	4,5	70
АВЦЭ-20-ЛСМ	—	350	—	100	19	5,5	75
АВЦЭ-20-ЛКМ	—	300	—	100	9,5	4,5	65
АВЦЭ-15	—	450	—	50	5	80	40
АВЦЭ-20	—	350	—	55	3,7	70	—
АВЦЭ-12	—	450	—	40	5,0	80	—
Показатели	Предел прочности, кг/см <sup>2</sup> , не менее при растяжении » статическом изгибе . . . . . Относительное удлинение при разрыве, %, не менее . . . . . Удельная ударная вязкость, кг-см/см <sup>2</sup> , не менее при комнатной температуре . . . . . при -40°С . . . . . Твердость по Бринеллю, кг/мм <sup>2</sup> , не менее . . . . . Теплостойкость, °С, не ниже по Вика . . . . . » Мартенсу . . . . .						

## Теплофизические свойства ацетобутиратцеллюлозных этролов

Теплостойкость, °С	
по Вика . . . . .	60—90
» Мартенсу . . . . .	35—50
Температура, °С	
стеклования . . . . .	60—90
плавления . . . . .	150—170
Удельная теплоемкость, ккал/(кг·град) . . . . .	0,3—0,4
Коэффициент теплопроводности, ккал/(м·ч·град) . . . . .	0,17—0,19
Коэффициент термического линейного расширения, град <sup>-1</sup> . . . . .	$1,19 \cdot 10^{-4}$ — $1,49 \cdot 10^{-4}$

## Химические свойства ацетобутиратцеллюлозных этролов

Ацетобутиратцеллюлозные этролы устойчивы к действию воды, бензина, минеральных масел, растворов солей. Набухают в спиртах, простых эфирах, четыреххлористом углероде, формалине. Нестойки к кислотам и щелочам (кроме очень разбавленных). Растворятся в ацетоне, этилацетате, дихлорэтане, этиловом спирте.

## Химическая стойкость пластмасс на основе эфиров целлюлозы при 20—25° С

Обозначения: С — стойкий; Н — нестойкий

Среда	Ацетицеллюлозные этролы	Ацетобутиратцеллюлозные этролы	Ацетопропионатцеллюлозные этролы
Вода . . . . .	С	С	С
Спирты . . . . .	Н	Н	Н
Ацетон . . . . .	Н	Н	Н
Этилацетат . . . . .	Н	Н	Н
Простые эфиры . . . . .	С	Н	Н
Метиленхлорид . . . . .	Н	Н	Н
Четыреххлористый углерод . . . . .	С	Н	Н
Трихлорэтилен . . . . .	С	Н	Н
Бензол . . . . .	С	Н	Н
Ксилол . . . . .	С	Н	Н
Бензин . . . . .	С	С	С
Нефть . . . . .	С	С	С
Льняное масло . . . . .	С	С	С
Терпентин . . . . .	С	С	С
Формалин . . . . .	Н	Н	С
o-Хлорфенол . . . . .	Н	Н	Н
Серная кислота			
концентрированная . . . . .	Н	Н	Н
10%-ная . . . . .	С	С	С
Соляная кислота			
концентрированная . . . . .	Н	Н	Н
10%-ная . . . . .	Н	Н	Н
Азотная кислота			
концентрированная . . . . .	Н	Н	Н
10%-ная . . . . .	Н	Н	Н
Кали едкое			
50%-ное . . . . .	Н	Н	Н
10%-ное . . . . .	Н	Н	Н

## Прочие свойства ацетобутиратцеллюлозных этролов

Водопоглощение ацетобутиратцеллюлозных этролов составляет 1,1—2,2%. Они имеют малую величину статического электричества; заряды быстро стекают с исчезновением источника. Отлично полируются, длительно сохраняют глянец в процессе эксплуатации.

## Переработка и применение ацетобутиратцеллюлозных этролов

Ацетобутиратцеллюлозные этролы перерабатываются теми же методами и примерно при тех же условиях, что и ацетилцеллюлозные этролы (см. стр. 216). АБЦ и АЦ этролы друг с другом не совмещаются.

Ацетобутиратцеллюлозные этролы целесообразно применять в первую очередь там, где от изделий требуются такие свойства, как тропикостойкость, плесене- и грибостойкость, прочность при низких температурах, прозрачность, огнестойкость и декоративность. Они применяются в основном в автомобильной промышленности: из них изготавливают рулевые колеса для легковых автомобилей и автобусов и другие изделия, к которым предъявляются повышенные требования в отношении морозо- и тропикостойкости. Ацетобутиратцеллюлозные этролы могут использоваться также при изготовлении различных деталей для авиационной промышленности.

Хорошие акустические свойства ацетобутиратцеллюлозных этролов позволяют использовать их и для изготовления корпусов приемников, телефонных аппаратов, деталей радиоаппаратуры.

Из ацетобутиратцеллюлозных этролов получают корпуса чернильниц к самописцам, корпуса авторучек, автокарандашей, шариковых ручек, оправы для очков, детали пылесосов, каблуки для дамской обуви, корпуса приборов и различных шкал и другие изделия.

Ацетобутиратцеллюлозные листовые и пленочные материалы, а также трубы могут применяться в тех же областях, что и аналогичные изделия из ацетилцеллюлозных материалов, если к ним предъявляются повышенные требования в отношении механических свойств, морозо-, тепло- и тропикостойкости.

Порошкообразные материалы на основе пластифицированного ацетобутирата целлюлозы могут использоваться для антикоррозионных покрытий металлов, наносимых методом вихревого напыления.

## Ацетопропионат и трипропионат целлюлозы

Ацетопропионат целлюлозы является смешанным сложным эфиром целлюлозы, получаемым при действии на активированную хлопковую целлюлозу пропионового ангидрида и уксусной кислоты в присутствии смешанного катализатора — серной и хлорной кислот в среде растворителя — метиленхлорида с последующим ча-

стичным омылением. После омыления продукт высаждают, промывают и сушат. Трипропионат целлюлозы получают аналогичным способом, но в качестве этерифицирующего агента используют только пропионовый ангидрид. Полученные эфиры целлюлозы по внешнему виду представляют собой волокнистую или порошкообразную массу белого цвета. Выпускаются по **ТУ № В-88—67**. Должны удовлетворять следующим требованиям:

Содержание, %	Ацетопропионат целлюлозы	Трипропионат целлюлозы
связанной пропионовой кислоты	46—55	64,5—66
связанной уксусной кислоты . .	13—16,5	—
связанных ионов $SO_4^{2-}$ , не более		0,01
Вязкость 5%-ного раствора в спирто-бензольной смеси (1:4), <i>спз</i>	Не менее 20	15—20
Удельная вязкость (0,25 г в 100 мл ацетона), не менее . . . . .	0,4	0,3
Уменьшение вязкости при прогреве при 180°С в течение 30 мин, % от исходной, не более . . . . .		20
Влажность, %, не более . . . . .		1
Свободная кислотность в пересчете на пропионовую кислоту, %, не более . . . . .		0,03

Ацетопропионат и трипропионат целлюлозы имеют более низкую температуру плавления, чем ацетаты целлюлозы, лучшую растворимость и термопластичность. Хорошо совмещаются с пластификаторами и легко перерабатываются. Эти продукты применяются главным образом для получения этролов, а также могут быть использованы для приготовления водостойких лаков. Плотность ацето- и трипропионатов целлюлозы 1,2 г/см<sup>3</sup>, температура плавления 190—220°С. Ацето- и трипропионаты целлюлозы растворимы в ацетоне, циклогексаноне, метилацетате, метилхлориде, тетрагидроэтане, нитрометане и других растворителях.

#### Ацетопропионатцеллюлозные и трипропионатцеллюлозные этролы

Ацетопропионатцеллюлозные и трипропионатцеллюлозные этролы (пропионатцеллюлозные этролы) представляют собой термопластичные массы, содержащие ацетопропионат или трипропионат целлюлозы, пластификаторы, стабилизаторы, красители и другие добавки.

Они отличаются высокой механической прочностью, поверхностной твердостью, стабильностью размеров и отсутствием неприятного запаха. По своим свойствам они занимают промежуточное положение между ацетилцеллюлозными и ацетобутиратцеллюлозными этролами (при одинаковых прочностных свойствах пропионатцеллюлозные этролы несколько тверже и имеют более высокую теплостойкость, чем ацетобутиратцеллюлозные).

В качестве пластификаторов пропионатцеллюлозных этролов применяют дибутилфталат, диоктилфталат, трифенилфосфат, ди- и триэтиленгликольдипропионат и др.

С увеличением степени этерификации целлюлозы пропионовой кислотой снижаются твердость, теплостойкость, сопротивление статическому изгибу и водопоглощение этролов.

Методы получения и переработки, применяемые красители для пропионатцеллюлозных этролов такие же, как и для ацетилцеллюлозных этролов (см. стр. 212, 213 и 216—218).

Ниже приведены основные физико-механические, электрические и теплофизические свойства пропионатцеллюлозных этролов\*:

Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,19—1,23
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>	
при растяжении . . . . .	200—800
» статическом изгибе . . . . .	300—700
Относительное удлинение при разрыве, % . .	15—40
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup>	
при комнатной температуре . . . . .	50—80
» —40°С . . . . .	5—20
Твердость по Бринеллю, кг/мм <sup>2</sup> . . . . .	4—10
Модуль упругости при изгибе, кг/см <sup>2</sup> . . . .	9,0·10 <sup>3</sup> —19,0·10 <sup>3</sup>
Удельное объемное электрическое сопротивление, ом·см . . . . .	5·10 <sup>12</sup> —4·10 <sup>16</sup>
Диэлектрическая проницаемость	
при 60 гц . . . . .	4,0—4,2
» 10 <sup>6</sup> гц . . . . .	3,5—3,7
Тангенс угла диэлектрических потерь	
при 60 гц . . . . .	0,005
» 10 <sup>6</sup> гц . . . . .	0,024—0,029
Электрическая прочность, кв/мм . . . . .	31,0—35,5
Водопоглощение, % . . . . .	1,0—2,0
Теплостойкость, °С	
по Вика . . . . .	65—120
» Мартенсу . . . . .	35—66
Удельная теплоемкость, ккал/(кг·град) . . .	0,3—0,4
Коэффициент теплопроводности, ккал/(м·час·град)	0,17—0,19
Коэффициент термического линейного расширения, град <sup>-1</sup> . . . . .	1,14·10 <sup>-4</sup> —1,45·10 <sup>-4</sup>

Пропионатцеллюлозные этролы могут использоваться для изготовления корпусов авторучек, автокарандашей и шариковых ручек, оправ корректирующих очков, корпусов приемников и другой радиоаппаратуры, клавишей счетных и пишущих машин, деталей легковых автомобилей (рулевых колес, кнопок, ручек, щитков),

\* Данные о химической стойкости пропионатцеллюлозных этролов см. на стр. 226.

электродеталей и многих других изделий технического и бытового назначения.

#### Ацетофталат целлюлозы

Ацетофталат целлюлозы является смешанным эфиром целлюлозы, уксусной и фталевой кислот, получаемым при действии на омыленную ацетилцеллюлозу фталевого ангидрида в среде растворителя в присутствии катализатора. По внешнему виду представляет собой белый со слегка сероватым оттенком продукт, растворимый в ацетоне, в смеси ацетон — этанол (7 : 3) и в водных растворах щелочей и соды. Выпускается по **ТУ № В-134—68**. Ацетофталат целлюлозы должен удовлетворять следующим требованиям:

Содержание, %	
фтальильных групп . . . . .	30—38
ацетильных групп . . . . .	18—23
свободной фталевой кислоты, не более	3
Влажность, %, не более . . . . .	6

Na- и NH<sub>4</sub>-соли ацетофталата растворимы в воде.

Ацетофталат применяется в качестве щелочерастворимого покрытия для таблеток и гранул, а также в качестве пленкообразующего щелочерастворимого материала при изготовлении фотополимерных печатных форм.

#### Целлофан

Целлюлозная пленка, или целлофан (**ГОСТ 7730—63**), получается вискозным способом, выпускается в окрашенном и неокрашенном, лакированном и нелакированном виде с номинальной массой 35—85 г/м<sup>2</sup>, двух марок: А и Б. Ширина пленки должна быть не менее 90 см. Целлофановая пленка должна удовлетворять следующим требованиям:

	А	Б
Предел прочности при растяжении, кг/мм <sup>2</sup> , не менее		
в продольном направлении . . . . .	7,5	6,0
» поперечном направлении . . . . .	3,5	3,0
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее		
в продольном направлении . . . . .	10	10
» поперечном направлении . . . . .	14	14
Содержание глицерина, % . . . . .	12—18	12—18
Влажность, % . . . . .	12	12
Водопроницаемость лакированной пленки за 24 ч, г/дм <sup>2</sup> , не более . . . . .	0,8	0,8
Паропроницаемость лакированной пленки за 24 ч, г/дм <sup>2</sup> , не более . . . . .	0,5	0,5
Количество лака, наносимого на обе стороны пленки, г/м <sup>2</sup> . . . . .	1,5—4,0	1,5—4,0
Адгезия, мин, не менее . . . . .	35	35
Прочность термосклеивания, Г, не менее . .	100	100

Пленка устойчива к действию жиров, содовых растворов и разбавленных растворов серной кислоты. Не способствует образованию плесени. С увеличением содержания глицерина в целлофане эластичность пленки возрастает, но вместе с тем значительно снижается ее прочность. Лакированная пленка обладает меньшей гигроскопичностью по сравнению с нелакированной. Плотность целлофановой пленки 1,40—1,55 г/см<sup>3</sup>.

Применяется для упаковки пищевых продуктов, промышленных товаров, в полиграфической промышленности и для комбинирования с другими синтетическими пленками (например, полиэтиленовой) и металлической фольгой.

#### ПРОСТЫЕ ЭФИРЫ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

Простые эфиры целлюлозы представляют собой, в основном, продукты О-алкилирования целлюлозы. Наибольшее распространение в технике получили этил-, карбоксиметил-, метил- и оксиэтилцеллюлоза.

В качестве исходного сырья для производства простых эфиров используются, как правило, древесная целлюлоза, едкий натр и соответствующий алкилирующий реагент. Так, для получения этилцеллюлозы в качестве алкилирующего реагента употребляют хлористый этил, карбоксиметилцеллюлозы — монохлоруксусную кислоту или ее натриевую соль, метилцеллюлозы — хлористый метил, оксиэтилцеллюлозы — окись этилена.

Процесс получения простых эфиров целлюлозы складывается из следующих технологических операций:

1. Обработка целлюлозного материала раствором щелочи определенной концентрации с последующим измельчением полученного продукта.
2. Выдерживание полученной щелочной целлюлозы при определенных условиях для регулирования вязкости растворов готового продукта.
3. Обработка алкилирующим реагентом.
4. Очистка продукта, сушка и измельчение.

#### Этилцеллюлоза \*

Этилцеллюлоза представляет собой белый или слегка желтоватый порошкообразный продукт, содержащий 44,0—50,0% этоксильных групп; степень замещения 2,20—2,60.

\* В США этилцеллюлоза называется этоцелом, этолозой.

Свойства этилцеллюлозы различных марок

Показатели	К			Н			НИ			ЛК	К
	50 слз	100 слз	150 слз	50 слз	100 слз	150 слз	50 слз	100 слз	150 слз		
	Твердые частицы белого цвета с желтоватым и сероватым оттенками										
Внешний вид	Твердые частицы белого цвета с желтоватым и сероватым оттенками										Частицы должны проходить через сито 3,2 (ГОСТ 3826-47), наличие комков не допускается
Степень замещения (этоксильное число по Цейзелю), %	45,3—46,8									46,5—49,0	45,3—46,8
Растворимость в спирто-бензольной смеси (1:4), %, не менее	98	98	98	98	98	98	98	98	98	99,4	99,2
Зольность, %, не более	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,35	0,40
Влажность, %, не более	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Вязкость в спирто-бензольной смеси (1:4) по вискозиметру Оствальда при 20°С, слз	40—80 81—120 121—180 40—30 81—120 121—180 40—80 81—120 121—180									—	40—100
Вязкость 10%-ного раствора в спирто-бензольной смеси по ВЗ-1, сек	—									5—12	—
Электрическая прочность пленки толщиной 30±3 мк при постоянном напряжении, кв.мм, не менее	—									—	130
Удельное объемное электрическое сопротивление при 20°С, ом·см, не ниже	—									—	5·10 <sup>13</sup>
Число фильтратов, не ниже	—									100	—

Этилцеллюлоза выпускается по МРТУ 6-05-1028 — 66 пяти марок:

ЛК — для лаков и эмалей различного назначения;  
К, Н, НИ — для изготовления моделей точного литья металлоформирующей оснастки, литьевых и прессовочных изделий и лаков;

К — конденсаторная (для радиодеталей) — для изготовления лаков, покрывающих конденсаторную бумагу.

Этилцеллюлоза марок К, Н, НИ выпускается трех типов средней вязкостью соответственно 50, 100 и 150 слз.

## Физико-химические и механические свойства этилцеллюлозы

Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,10—1,16
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>	
при растяжении	210—490
» статическом изгибе	280—700
Модуль упругости при растяжении, кг/см <sup>2</sup>	3,5·10 <sup>3</sup> —24,5·10 <sup>3</sup>
Удельная ударная вязкость с надрезом (по Изоду), кг·см/см	9,2—37,8
Твердость по Роквеллу	70—120
Теплостойкость по Мартенсу, °С	40—60
Коэффициент теплопроводности, ккал/(м·ч·град)	0,13—0,24
Коэффициент термического линейного расширения · 10 <sup>-5</sup> , град <sup>-1</sup>	9,9—19,8
Газопроницаемость, при 30°С, см <sup>3</sup> ·мм/(см <sup>2</sup> ·сек·см рт. ст.)	
N <sub>2</sub>	84·10 <sup>-10</sup>
O <sub>2</sub>	265·10 <sup>-10</sup>
CO <sub>2</sub>	430·10 <sup>-10</sup>
Показатель преломления	1,47
Водопоглощение за 24 ч, %	0,8—2,0
Воспламеняемость (толщина листа 0,127 см), мм/мин	12,7—38,1

## Электрические свойства этилцеллюлозы

Удельное объемное электрическое сопротивление, ом·см	1·10 <sup>12</sup> —1·10 <sup>14</sup>
Диэлектрическая проницаемость	
при 60 гц	3,2—3,6
» 10 <sup>3</sup> гц	3,0—3,5
» 10 <sup>5</sup> гц	2,8—3,2
Тангенс угла диэлектрических потерь	
при 60 гц	0,005—0,015
» 10 <sup>3</sup> гц	0,010—0,020
» 10 <sup>5</sup> гц	0,020—0,035
Электрическая прочность, кв/мм	70—100

## Режим переработки этилцеллюлозы

Степень уплотнения . . . . .	1,8—2,4
Режим прессования	
давление, $\text{кг/см}^2$ . . . . .	35—350
температура, $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	121—198
Режим литья	
давление, $\text{кг/см}^2$ . . . . .	420—2240
температура, $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	176—260
Температура экструзии, $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	148—232

## Зависимость свойств этилцеллюлозы от температуры

Показатели	Температура, $^{\circ}\text{C}$			
	-30	0	20	50
Модуль упругости при растяжении, $\text{кг/см}^2$ . . . . .	$33 \cdot 10^3$	$21 \cdot 10^3$	$12 \cdot 10^3$	—
Предел прочности при растяжении, $\text{кг/см}^2$ . . . . .	1080	712	400	—
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	5	9	15	—
Удельная ударная вязкость с надрезом (по Изоду), $\text{кг} \cdot \text{см/см}^2$ . . . . .	19	40	64	100

Температура воспламенения этилцеллюлозной пыли колеблется в пределах  $330\text{—}360^{\circ}\text{C}$ , давление взрыва  $7 \text{ кг/см}^2$ , осевшая и взвешенная в воздухе пыль взрывоопасна. Взвешенная в воздухе пыль имеет нижний предел взрываемости  $30 \text{ г/м}^3$ .

При использовании порошков необходимо применять меры предосторожности против скопления статических зарядов.

## Химические свойства этилцеллюлозы

Этилцеллюлоза растворима в органических растворителях; она термопластична. Свойства этилцеллюлозы определяются степенью замещения и степенью полимеризации.

На рис. 14 приведена зависимость температуры размягчения и плавления этилцеллюлозы от содержания этоксильных групп и степени замещения.

При одной и той же степени замещения более высокие температуры размягчения имеют высоковязкие сорта. Продукт со степенью замещения, соответствующий минимальной температуре размягчения и плавления, имеет максимальную растворимость.

## Растворимость этилцеллюлозы

Обозначения: Р — растворима; Н — нерастворима; О — ограниченно растворима; Ч — частично растворима

Растворитель	Содержание этоксильных групп, %			
	44,5—45,5	45,5—46,8	47,5—48,5	48,5—50
Спирты				
Метанол . . . . .	О	О	Р	Н
Этанол . . . . .	О	О	Р	Р
Бутанол . . . . .	Ч	Ч	Р	Р
Глицерин . . . . .	Н	Н	Н	Н
Эфиры, ацетали				
Метилцеллозольв . . . . .	Ч	Ч	Р	Н
Бутилцеллозольв . . . . .	—	—	Р	Р
Этиловый эфир . . . . .	Н	Н	Р	Р
Диоксан . . . . .	Р	Р	Р	Р
Этиленформаль . . . . .	Р	Р	Р	Р
Галогенсодержащие углеводороды				
Метиленхлорид . . . . .	Р	Р	Р	Р
Этиленхлорид . . . . .	Р	Р	Р	Р
Хлороформ . . . . .	—	Р	Р	Р
Четыреххлористый углерод . . . . .	Н	Ч	Р	Р
Углеводороды				
n-Гексан . . . . .	Н	Н	Н	Н
Бензол . . . . .	Н	Ч	Р	Р
Толуол . . . . .	Н	Ч	Р	Р
Кетоны				
Ацетон . . . . .	Ч	Ч-О	Р	Н
Метилэтилкетон . . . . .	Н	О-Р	Р	Р
Циклогексанон . . . . .	Ч	О	Р	Р
Азотсодержащие соединения				
Пиридин . . . . .	Р	Р	Р	Р
Диметилформамид . . . . .	Р	Р	Р	Р
Нитрометан . . . . .	Ч	—	Р	—
Нитробензол . . . . .	—	—	Р	—
Смеси растворителей				
Ацетон — метанол (4:1) . . . . .	—	—	—	—
Метиленхлорид — метанол (4:1) . . . . .	Р	Р	Р	Р
Толуол — этанол (4:1) . . . . .	Р	Р	Р	Р
Эфир — этанол (2:1) . . . . .	—	—	Р	—
Эфиры уксусной кислоты . . . . .	Н	Р	Р	Р
Уксусная кислота . . . . .	—	—	Р	—
Вода . . . . .	Н	Н	Н	Н

Пластификаторами этилцеллюлозы являются эфиры фталевой, стеариновой и фосфорной кислот, минеральные и модифицированные касторовые масла и др. Этилцеллюлоза совмещается в любых количествах с нитратом целлюлозы, метилцеллюлозой, большинством модифицированных и немодифицированных фенольных смол, кумаронинденовыми смолами, канифолью, алкидными смолами и др. Ограниченно совмещается с мочевино-формальдегидными смолами, поливиниловым спиртом и поливинилацетатом. Не реагирует с пигментами и красителями. Этилцеллюлоза устойчива к действию щелочей, солей, воды и слабых кислот, солнечных и УФ-лучей. При некоторых условиях этилцеллюлоза чувствительна к действию кислорода. Стойкость этилцеллюлозы к действию кислорода можно повысить введением соответствующих ингибиторов и антиоксидантов, например производных ароматических фенолов и аминов (октилфенол, дифениламин и др.), солей меди и эпоксикислот. В качестве стабилизаторов против действия УФ-света используются салол и его производные.

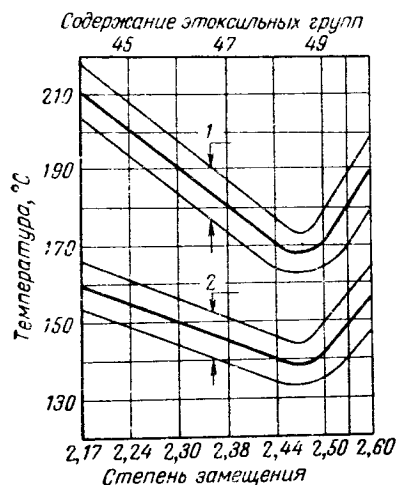


Рис. 14. Зависимость температур плавления и размягчения этилцеллюлозы от степени замещения и содержания этоксильных групп: 1 — температура плавления; 2 — температура размягчения.

солей меди и эпоксикислот. В качестве стабилизаторов против действия УФ-света используются салол и его производные.

#### Применение этилцеллюлозы

Благодаря хорошей совместимости с различными смолами и пластификаторами, а также способности сохранять свойства при низких температурах этилцеллюлоза широко используется для изготовления пластмасс, различных покрытий, специальных лаков и эмалей. В присутствии этилцеллюлозы происходит упрочнение композиций, с которыми она совмещается, уменьшается выпотевание пластификаторов. Пластмассы на основе этилцеллюлозы применяются для изготовления корпусов радиоприемников, рукояток для инструмента, зубных щеток, автомобильных и тракторных деталей.

Этилцеллюлоза используется в производстве оберточной бумаги, упаковочной пленки, искусственной кожи, для изоляции проводов, защитных типографских покрытий, лаков и клеев для отделки мебели. Этилцеллюлоза находит широкое применение в качестве съемного защитного покрытия для металлических деталей, наноси-

мого из горячего расплава. Обычно температура размягчения составляет 80—110°С, температура расплава — 160—190°С. Этилцеллюлоза также входит в состав различных формовочных порошков, используется в качестве пленкообразователя в фармакологии.

#### Карбоксиметилцеллюлоза \*

Карбоксиметилцеллюлозой (КМЦ) обычно называют натриевую соль целлюлозогликолевой кислоты (Na-КМЦ). Это порошкообразный или волокнистый продукт с насыпной массой 400—800 кг/м<sup>3</sup>. Применяемая в промышленности Na-КМЦ имеет степень замещения 0,4—1,4 и степень полимеризации 200—3000.

Технический продукт может содержать до 30% и более солей, главным образом хлористого натрия и гликолята натрия. Na-КМЦ обладает высокой гигроскопичностью.

Техническая Na-КМЦ выпускается по МРТУ 6-05-1098—67 восьми марок. Их основные свойства и области применения приведены в таблице на стр. 238.

Основные показатели физико-механических свойств твердой Na-КМЦ со степенью замещения 0,65—0,85 и непластифицированных пленок на ее основе приведены ниже:

Равновесная влажность при 25°С, %	
при 50%-ной относительной влажности . . . . .	14
» 84%-ной » » » . . . . .	38
Температура обугливания, °С . . . . .	252

#### Свойства непластифицированных пленок

Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,59
Предел прочности при растяжении, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	584—1055 *
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	8,3—14,3 *
Эластичность (по числу двойных изгибов) . . . . .	93—513 *
Эл. катодный заряд . . . . .	Отрицательный
Показатель преломления . . . . .	1,515

\* Минимальная величина характерна для продукта с низкой степенью полимеризации, максимальная — с высокой.

Очищенная Na-КМЦ выпускается по СТУ 110-21-793—64 двух сортов (А и Б) и должна отвечать следующим требованиям (стр. 240):

\* В США карбоксиметилцеллюлоза называется геркулесом КМС, карбозой, неллином и др.; в Англии — эдифасом, целлофасом, курлозой; в ФРГ — тиллозой, гелатином, глутофиксом и др.; во Франции — бланозой; в Югославии — луцелом; в Австрии — полифibreном; в Швеции — целлуфиксом, целлугелом и др.



**Свойства Na-КМЦ различных марок**

Показатели	Марки Na-КМЦ * и основные области их применения							
	0,85/250 нефтяная промышленность	0,85/350 нефтяная, текстильная и горнохимическая промышленность	0,85/500 нефтяная промышленность	0,75/400 химическая и текстильная промышленность	0,70/300 промышленность синтетических моющих средств	0,70/500 полуфабрикат для получения очищенного продукта для парфюмерной и электровакуумной промышленности	0,55/500 строительная промышленность и снличное производство	0,55/400 горнообога- тительная промышленность
Внешний вид . . . . .	Мелкозернистый, волокнистый или порошкообразный материал белого или кремового цвета							
Размер частиц . . . . .	Карбоксиметилцеллюлоза выпускается двух степеней крупности частиц: А — мелкозернистый и волокнистый продукт: не менее 90% продукта всех марок должно проходить через сито с размером отверстий ячеек в свету 8×8 мм по ГОСТ 3584—53; Б — порошкообразный продукт: не менее 90% продукта всех марок должно проходить через сито № 2 с размером отверстий ячеек в свету 2×2 мм по ГОСТ 3584—53							
Влажность, %, не более	15	15	15	15	15	15	20	20
Степень замещения . . . . .	Порошкообразный продукт всех марок выпускается с содержанием влаги не более 10%							
Содержание основного вещества в абсолютно сухом техническом продукте, %, не менее	0,87—0,90	0,80—0,90	0,80—0,90	0,65—0,80	0,65—0,75	0,65—0,75	0,45—0,65	0,45—0,65
	40	40	40	40	40	40	40	40
	Порошкообразный продукт — не менее 45% для всех марок							
Степень полимеризации, не менее . . . . .	200—300	300—450	500	400	250—350	500	500	500
Вязкость ** 0,5%-ного								

водного раствора КМЦ в пересчете на основное вещество, <i>снз</i> , не менее . . . . .	3—5	5—9	12	9	3—5	12	10	10
Содержание свободного натрия в абсолютно сухом техническом продукте, %, не более . . . . .	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Содержание карбонатов натрия в абсолютно сухом техническом продукте, %, не более		Не нормируется		10	15	15	25	25
Растворимость в воде в пересчете на абсолютно сухой технический продукт, %, не менее . . . . .	98	98	98	98	98	98	98	98
Водоотдача глинистого раствора ***, <i>мл</i> , не более . . . . .	10	5	4			Не нормируется		

\* Цифритель в наименовании марки Na-КМЦ обозначает среднюю степень замещения, знаменатель — степень полимеризации.  
 \*\* Показатель факультативный.  
 \*\*\* Водоотдача — это количество жидкости, которое отфильтровывается из глинистого раствора определенного состава, содержащего Na-КМЦ, через бумажный фильтр на воронке Бюхнера диаметром 75 мм за 30 мин при остаточном давлении не более 20 мм рт. ст.

	А	Б
Внешний вид . . . . .	Волокнистый или порошкообразный продукт белого цвета (допускается желтоватый оттенок) с величиной зерен не более 2 мм	
Растворимость . . . . .	Препарат должен растворяться в воде. Допускается наличие небольшого количества волоконцев непрореагировавшей целлюлозы	
Содержание влаги, %, не более . . . . .	24	24
Степень полимеризации, не менее . . . . .	500	450
Степень замещения . . . . .	0,7 ± 0,05	0,85 ± 0,05
pH 0,5 %-ного раствора при 20° С . . . . .	7 ± 0,3	7 ± 0,3
Содержание хлоридов в пересчете на NaCl, %, не более . . . . .		
Содержание железа в пересчете на Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %, не более . . . . .	0,05	0,05
	0,05	0,05

Na-КМЦ растворяется в воде, в 50%-ном водном этаноле и 40%-ном водном ацетоне; в других органических растворителях не растворяется. Продукт со степенью замещения ниже 0,4 растворяется в водных растворах щелочей.

Na-КМЦ совмещается с водорастворимыми смолами, например, с гуммиарабиком, трагакантом, козеином, крахмалом, желатином, пектином и др., а также с глицерином, некоторыми гликолями и их производными.

Очень важным свойством Na-КМЦ является способность образовывать высоковязкие водные растворы. Растворы получают простым перемешиванием сухого порошка в воде. Скорость дозирования и перемешивания должны регулироваться так, чтобы не образовывались большие комки нерастворенного материала. Вязкость растворов можно варьировать в широких пределах. Для получения высоковязкого раствора с минимальной концентрацией Na-КМЦ употребляется продукт с более высокой степенью полимеризации и наоборот.

Концентрированные растворы Na-КМЦ являются неньютоновскими жидкостями, псевдопластичны и могут иметь тиксотропные свойства.

Na-КМЦ в водных растворах является полиэлектролитом и обладает свойствами защитных коллоидов. Эффективность защитного действия зависит, главным образом, от степени замещения. В растворах Na-КМЦ обладает слабой поверхностной активностью (на границе раздела вода — парафиновое масло при концентрации Na-КМЦ, равной 0,3%, поверхностное натяжение составляет 44,0—46,5 дин/см). Растворы Na-КМЦ не вспениваются и эмульги-

руют хуже, чем растворы метилцеллюлозы. Они обладают преимущественно стабилизирующим действием.

При нагревании сухой Na-КМЦ выше 130° С ухудшается ее растворимость. Оптимальные условия хранения: pH от 7,0 до 9,0, отсутствие кислорода и солнечного света, температура не выше 20° С. При сильных отклонениях от указанного pH происходит деполимеризация Na-КМЦ, в результате которой снижается вязкость ее растворов. При охлаждении вязкость растворов Na-КМЦ не изменяется.

Na-КМЦ обладает более высокой биологической устойчивостью, чем природные водорастворимые полимеры типа крахмала или желатина. Высокоэффективными консервантами растворов Na-КМЦ против энзиматического действия бактерий и плесени являются феррилнитрат ртути, бензойная и сорбиновая кислоты, их производные, фенол и хлорированные фенолы, формальдегид, оксихинолин, иод и др.

Na-КМЦ пожароопасна, но осевшая пыль невзрывоопасна. При внутреннем приеме и действии на кожу Na-КМЦ нетоксична.

#### Применение Na-КМЦ

Na-КМЦ является в настоящее время самым широко применяющимся водорастворимым производным целлюлозы.

Одна из наиболее важных областей применения Na-КМЦ — это нефтедобывающая промышленность, в которой она используется как защитный коллоид глинистых растворов для бурения скважин. Крупным потребителем Na-КМЦ является производство моющих синтетических средств. Небольшая добавка Na-КМЦ (0,3—1%) к рецептурам моющих средств повышает эффективность их действия, устраняет повторное осаждение грязи при стирке. В больших количествах Na-КМЦ применяется в текстильной промышленности при шлихтовании и аппретировании и как загуститель печатных паст. В горнообогатительной промышленности Na-КМЦ используется при флотационном обогащении в качестве депрессора; в бумажной промышленности — как клеящая основа паст для обоев, при приготовлении покрытий на бумаге, а также в качестве добавки к бумажной массе для повышения прочности бумаги.

Na-КМЦ используется в качестве суспендирующего агента и связующего в керамической промышленности и как стержневой крепитель в литейном производстве. Применяется в парфюмерной промышленности при изготовлении кремов, шампуней, зубных паст и т. д.

КМЦ в виде свободной кислоты используется в качестве ионообменных сорбентов при биологических исследованиях.

## Метилцеллюлоза \*

Метилцеллюлоза представляет собой порошкообразный или волокнистый продукт белого или слегка желтоватого цвета без вкуса и запаха с довольно высокой степенью чистоты (зольность не выше 0,5%).

## Свойства метилцеллюлозы

Почти полностью замещенная метилцеллюлоза со степенью замещения 2,4—2,8 (37,6—43% метоксильных групп) растворима в органических растворителях, но нерастворима в воде; низkozамещенная метилцеллюлоза со степенью замещения 0,1—1,1 (2—19% метоксильных групп) растворима в 2—8%-ном растворе едкого натра; при степени замещения 1,4—2,0 (24—33% метоксильных групп) растворима в воде.

Наибольшее промышленное значение имеет водорастворимый продукт, содержащий 26—33% метоксильных групп.

Основные показатели свойств твердой водорастворимой метилцеллюлозы приведены ниже:

Кажущаяся плотность, $кг/м^3$ . . . . .	289—499
Плотность, $г/см^3$ . . . . .	1,29—1,31
Температура, °С	
плавления . . . . .	290—305
обугливания . . . . .	300—305
Водопоглощение при 25°С, %	
при 50%-ной относительной влажности . . . . .	3—5
при 75%-ной относительной влажности . . . . .	11
при 100%-ной относительной влажности . . . . .	40—50

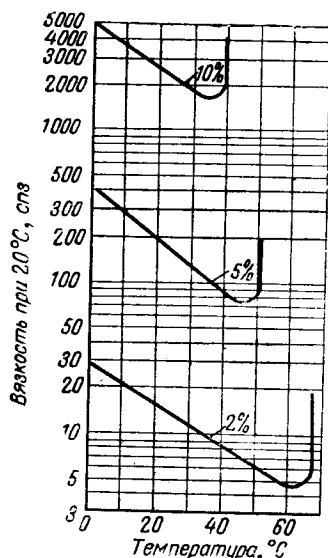


Рис. 15. Желатинизация растворов метилцеллюлозы. Цифры на кривых — концентрация растворов.

Водорастворимая метилцеллюлоза растворяется в бензиловом спирте, этиленхлоридине, пиридине, метилсалицилате, муравьиной, молочной и ледяной уксусной кислотах, анилине, частично в горячих гликолях, глицерине, полигликолях и их эфирах и этаноламе. Совместима с другими водорастворимыми эфирами целлюлозы, с природными водорастворимыми полимерами и поливиниловым спиртом. Нерастворима в горячей воде. Наибольшее техническое значение имеют водные растворы метилцеллюлозы. При приготовлении водных растворов для равномерного смачивания

\* В США метилцеллюлоза называется мегоцелом, целаколом; в ФРГ — тилозой; в Японии — метолозой; в Англии — метофасом, целаколом.

всех частиц необходимо сначала замочить продукт в небольшом ( $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{2}$  от всего необходимого объема) количестве горячей воды (80—90°С). Далее выдержать суспензию некоторое время, а затем добавить оставшееся количество воды в холодном виде или в виде кусков льда. Если холодную воду сразу смешать с порошком, то на поверхности частиц образуется гелеобразная пленка, которая способствует образованию комков, обуславливает медленную диффузию воды внутрь частиц и увеличивает время растворения.

Водные растворы метилцеллюлозы отличаются от растворов других водорастворимых полимеров тем, что они желатинизируются при нагревании. Температура желатинизации находится в пределах 35—55°С и зависит от концентрации и степени полимеризации продукта (рис. 15). Чем выше концентрация и вязкость раствора, тем ниже температура желатинизации. При охлаждении раствор возвращается к прежнему состоянию. При добавлении определенного количества солей к водным растворам метилцеллюлоза высаливается из раствора и температура желатинизации понижается.

Добавка мочевины повышает температуру желатинизации. Танин и фенол высаждают метилцеллюлозу из растворов.

Продукты с низким молекулярным весом (низкой вязкостью) обладают большей совместимостью.

В отличие от Na-КМЦ метилцеллюлоза обладает хорошими поверхностно-активными свойствами. Растворам свойственно сильное пенообразование, что вызывает необходимость применения в ряде случаев пеногасителей типа лаурилового спирта и некоторых полигликолей. Введение оксипропильных групп в макромолекулу метилцеллюлозы повышает ее термопластичность, температуру желатинизации, совместимость с органическими растворителями и солями. Температура плавления метилоксипропилцеллюлозы 240—260°С.

Ниже приведены показатели свойств водных растворов метилцеллюлозы и метилоксипропилцеллюлозы:

Показатели	Метилцеллюлоза (27,5—31,5% OCH <sub>3</sub> -групп)	Метилоксипропилцеллюлоза	
		27—29% OCH <sub>3</sub> -и 4—7,5% O <sub>3</sub> H <sub>6</sub> OH-групп	19—24% OCH <sub>3</sub> -и 4—12% O <sub>3</sub> H <sub>6</sub> OH-групп
Плотность при 20°С и 4 мм рт. ст., $г/см^3$			
1%-ный раствор . . . . .		1,0012	
5%-ный » . . . . .		1,0017	
10%-ный » . . . . .		1,0245	
Показатель преломления при 20°С (2%-ный раствор) . . . . .	1,336	1,337	1,336
Температура замерзания (2%-ный раствор), °С . . . . .	0	0	0
Поверхностное натяжение (25°С, 0,001—10%-ный раствор), $дин/см$ . . . . .	47—58	44—50	50—56

Продолжение

Показатели	Метилцеллюлоза (27,5—31,5% ОСН <sub>2</sub> -групп)	Метилоксипропилцеллюлоза	
		27—29% ОСН <sub>2</sub> и 4—7,5% ОСН <sub>2</sub> ОН групп	19—24% ОСН <sub>2</sub> и 4—12% ОСН <sub>2</sub> ОН-групп
Межфазное натяжение (парафиновое масло, 25° С, 0,0001—1 <sup>0</sup> / <sub>6</sub> -ный раствор), <i>дин/см</i> . . . . .	19—23	18—19	26—28
Удельная теплоемкость (10—25%-ный раствор, 20—90° С) <i>кал/(г·град)</i>	—	0,93 ± 0,05	—
Температура желатинизации (2%-ный раствор), °С . . . . .	56	65	80—90
pH раствора . . . . .	—	Нейтральный	—

Из метилпропилцеллюлозы и метилоксипропилцеллюлозы получают прозрачные прочные пленки (поливом, экструзией и т. д.). Пластификаторами обычно служат гликоли, их эфиры и полигликоли.

Пленки могут быть переведены в нерастворимое состояние обработкой лимонной кислотой, мочевино-формальдегидными и меламино-формальдегидными смолами.

Ниже приведены основные показатели физико-механических свойств пленок:

	Метилцеллюлоза	Метилоксипропилцеллюлоза
Предел прочности при растяжении (24° С и 50%-ная относительная влажность), <i>кг/см<sup>2</sup></i> . . . . .	600—800	700
Относительное удлинение при разрыве (24° С и 50%-ная относительная влажность), % . . . . .	10—15	45—50
Число двойных изгибов пленки толщиной 0,05 мм		
с нагрузкой . . . . .	12 000	11 000
без нагрузки . . . . .	32 000	25 000
Стойкость к маслам и большинству растворителей . . . . .	Хорошая	
Стойкость к действию ультрафиолетовых лучей . . . . .	Хорошая	
Газопроницаемость при 23° С <i>см<sup>3</sup>·мм/(см<sup>2</sup>·сек·см. рт. ст.)</i>		
N <sub>2</sub> . . . . .	1,74 · 10 <sup>-10</sup>	
O <sub>2</sub> . . . . .	5,04 · 10 <sup>-10</sup>	
CO <sub>2</sub> . . . . .	26,3 · 10 <sup>-10</sup>	

Водные растворы метилцеллюлозы стабильны при значениях pH, равных 2—12. Замораживание растворов обычно способствует повышению растворимости метилцеллюлозы.

Метилцеллюлоза более устойчива к микробиологическим воздействиям, чем природные водорастворимые полимеры. Мелкораз-

молотая метилцеллюлоза относится к легковоспламеняемым и взрывоопасным веществам. Температура воспламенения 360° С, нижний предел взрываемости 30 г/м<sup>3</sup>.

Токсикологические исследования показали, что метилцеллюлоза абсолютно безвредна для человека.

Метилцеллюлоза выпускается по **ТУ ВНИИСС № 62—66** пяти марок:

Показатели	А	Б	В	Г	Д
Внешний вид . . . . .	Волокнистая масса белого цвета с желтоватым или сероватым оттенком				
Содержание метоксильных групп, %	26—33				
Вязкость 1%-ного раствора, <i>спз</i> . . .	4—12	13—19	20—50	51—80	Выше 80
Растворимость в воде, %, не менее	98	98	96	96	95
Зольность, %, не более . . . . .	0,5	0,5	0,2	0,2	0,2
Содержание влаги, %, не более . . .	5	5	5	5	5
pH 1%-ного водного раствора . . .	6—7	—	—	—	—

#### Применение метилцеллюлозы

Водорастворимая метилцеллюлоза и ее смешанные эфиры находят самое разнообразное применение. Метилцеллюлоза используется для изготовления различных клеев (для кожи, обоев, слоистых материалов и др.). В сельском хозяйстве она употребляется в качестве основы при обрызгивании и опылении растений, а также как упаковочная водорастворимая пленка для гранулированных удобрений. Метилцеллюлоза применяется в керамическом производстве как связующий, пластифицирующий агент, повышающий устойчивость массы к усадке. Употребляется в строительных растворах и бетонах. В парфюмерной промышленности она применяется как стабилизатор кремов для бритья и шампуней. Метилцеллюлоза используется в качестве эмульгатора и стабилизатора для латексных красок, в многокрасочных лаках и в акварельных пастах. Широко используется в производстве бумаги (мелование и т. д.). Продукт с низкой вязкостью применяется при суспензионной и эмульсионной полимеризации. Метилцеллюлоза входит в состав композиций для снятия автомобильных лаков и покрытий. В текстильной промышленности — высококачественная шпалта и загуститель в печатных пастах, в табачной промышленности — связующее и пленкообразователь. Разнообразно применение метилцеллюлозы в фармацевтической и пищевой промышленности (покрытие таблеток и пилюль, безжировая основа мазей, компонент в слабительных, стабилизатор мороженого и т. д.).

## Оксиэтилцеллюлоза \*

Оксиэтилцеллюлоза представляет собой продукт взаимодействия окиси этилена с целлюлозой.

## Свойства оксиэтилцеллюлозы

Практическое значение имеет оксиэтилцеллюлоза с мольным показателем замещения 0,3—0,4 и 1,5—2,5 \*\*. Оксиэтилцеллюлоза с мольным показателем 0,3—0,4 представляет собой порошкообразное или волокнистое вещество без вкуса и запаха, растворимое в 2—10%-ном растворе едкого натра и 40%-ном растворе мочевины. Она нерастворима в воде и органических растворителях. Непластифицированные пленки из щелочерастворимой оксиэтилцеллюлозы имеют следующие показатели:

Плотность, $г/см^3$ . . . . .	1,49
Показатель преломления при 25° С . . . . .	1,534
Предел прочности при растяжении (25° С и 50%-ная относительная влажность), $кг/см^2$ . . . . .	800
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	6
Число двойных изгибов . . . . .	1340

Оксиэтилцеллюлоза с мольным показателем замещения 1,5—2,5 и содержанием оксиэтильных групп 28—40% имеет наибольшее техническое значение. Она представляет собой белое или слегка желтоватое порошкообразное вещество, растворимое в воде. Оксиэтилцеллюлоза характеризуется следующими показателями:

Кажущаяся плотность, $кг/м^3$ . . . . .	200—270
Температура обугливания, °С . . . . .	250
Влажность, % . . . . .	5
Содержание золы в пересчете на $Na_2SO_4$ , % . . . . .	4—6

Кроме воды продукт растворим в смесях этанол—вода (70 : 30; 60 : 40 и 30 : 70 по весу), в 90%-ной муравьиной кислоте и нерастворим в других органических растворителях.

Оксиэтилцеллюлоза некоторых марок растворяется в диметилформамиде, диэтилацетамиде и N-ацетилэтаноламине. Оксиэтилцеллюлоза обладает хорошей совместимостью в водных растворах с электролитами. Свойства растворов оксиэтилцеллюлозы приведены ниже:

Плотность (2%-ный раствор), $г/см^3$ . . . . .	1,0033
Показатель преломления (2%-ный раствор) . . . . .	1,336
Поверхностное натяжение, $дин/см$	
0,1%-ного раствора . . . . .	63,6
0,01%-ного » . . . . .	67,6
Межфазное натяжение, $дин/см$ . . . . .	27,4
pH . . . . .	6—8
Температура замерзания, °С . . . . .	0,0

\* В США оксиэтилцеллюлоза называется натрозолом и целозайсом.

\*\* Общее количество молей окиси этилена, присоединившихся к одному ангидроглюкозному звену макромолекулы целлюлозы.

Растворы оксиэтилцеллюлозы стабильны в широком интервале значений pH и температур. Добавление небольших количеств (0,01%) поверхностно-активных веществ повышает растворимость продукта. Растворы оксиэтилцеллюлозы почти не пенятся.

Ниже приведены некоторые свойства пленок, полученных на основе оксиэтилцеллюлозы:

Плотность (при 50%-ной относительной влажности), $г/см^3$ . . . . .	1,34
Показатель преломления при 25° С . . . . .	1,51
Содержание равновесной влаги, %	
при 23° С и 50%-ной относительной влажности . . . . .	6
при 23° С и 84%-ной относительной влажности . . . . .	29
при 23° С и 88%-ной относительной влажности . . . . .	41
Предел прочности при растяжении, $кг/см^2$ . . . . .	200—250

Удлинение пленок зависит от содержания влаги. Тенденция к слипанию наблюдается при 50%-ной относительной влажности.

## Применение оксиэтилцеллюлозы

Щелочерастворимая оксиэтилцеллюлоза может использоваться в качестве добавок к вискозным прядильным растворам для улучшения окрашиваемости волокна, как несмываемый аппрет, шликта, повышающая прочность нитей и связующее для нетканых материалов в текстильной промышленности. Добавка продукта к бумажной массе повышает прочность бумаги в мокром состоянии. Может применяться как флотореагент. Оксиэтилцеллюлоза используется для получения пленки (методом экструзии) с высокой стабильностью размеров.

Водорастворимая оксиэтилцеллюлоза употребляется в качестве загустителя для латексных красок. Она придает им стойкость к растрескиванию. Продукт используется также для эмульсионной полимеризации винилацетата. В текстильной промышленности — это высококачественная шликта, носитель пигмента в красящих пастах. Ее применяют в литографии, в качестве защитного коллоида в гальванопластике, как связующее в производстве керамики и стеклянных изделий, в литейном производстве.

Оксиэтилцеллюлоза отличается низкой токсичностью, не раздражает кожу, но может вызывать воспаление слизистой оболочки глаз. Ее можно употреблять в косметике и фармакологии, но не для инъекций. Оксиэтилцеллюлоза может использоваться в композициях, соприкасающихся с пищей, но ее нельзя употреблять в качестве пищевой добавки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Седлис В. И., Эфиры целлюлозы и пластические массы на их основе, Госхимиздат, 1958.
2. Аким Э. Л., Перепечкин Л. П., Целлюлоза, ацетилцеллюлоза, ацетатные волокна, Изд. «Лесная промышленность», 1964.
3. Патент СССР 149356 (1962); Бюлл. изобр., № 15 (1962).
4. Авт. свид. СССР 202914; Бюлл. изобр., № 20 (1967).
5. Роговни З. А., Шорыгина Н. Н., Химия целлюлозы и ее спутников, Госхимиздат, 1953.
6. Веселовский П. Ф., Высокомолекулярные соединения, 4, № 11, 1617 (1962).
7. Ренне В. Т., Пленочные конденсаторы с органическим синтетическим диэлектриком, Госэнергоиздат, 1963.
8. Сажин Б. И., Электропроводность полимеров, Изд. «Химия», 1965.
9. Химия и технология производных целлюлозы, Верхне-Волжское книжное изд., 1964.
10. Подгородецкий Е. К., Безопасная киноплёнка, Изд. «Искусство», 1959.
11. Козлов П. В., Физико-химия эфирцеллюлозных пленок, Госкиноиздат, 1948.
12. Козлов П. В., Брагинский Г. И., Химия и технология полимерных пленок, Изд. «Искусство», 1965.
13. Никитин Н. И., Химия древесины и целлюлозы, Изд. АН СССР, 1962.
14. Малинин Л. Н., Информационный бюллетень «Производство и переработка синтетических смол и стеклянных волокон», № 1, ГОСХИМ НИИПИМ, 1963.
15. Малинин Л. Н., Якунина К. Ф., Пласт. массы, № 9, 47—49 (1966).
16. Малинин Л. Н., Пласт. массы, № 4, 29 (1966).
17. Авт. свид. СССР 164672; Бюлл. изобр., № 16 (1964).
18. Сергеева З. И., Малинин Л. Н., Кулакова А. Е. и др., Пласт. массы, № 10, 64 (1967).
19. Печенкин А. Л., Евдокимова А. И., Сороченко А. А., Пласт. массы, № 3, 2 (1960).
20. Зарубежные промышленные полимерные материалы и их компоненты, Изд. АН СССР, 1963.

## СТЕКЛОПЛАСТИКИ

Стеклопластики представляют собой пластмассы, состоящие из стеклянного наполнителя и связующего. В качестве связующего используют обычно ненасыщенные полиэфиры, эпоксидные смолы, феноло-формальдегидные и кремнийорганические смолы, а также некоторые термопласты. В промышленности в настоящее время для производства стеклопластиков применяют главным образом стекловолокнистые наполнители.

Стеклопластики подразделяются на два больших класса: штапельные и непрерывные, которые отличаются друг от друга по способу получения и назначению.

Коротковолокнистые штапельные материалы, напоминающие в массе шерсть или хлопок, довольно редко используются в качестве наполнителей пластмасс. Для производства стеклопластиков применяют в основном непрерывное стеклянное волокно и изделия из него. Штапельное стеклянное волокно, имеющее сравнительно невысокую прочность и малую кажущуюся плотность (в массе), значительно уступает непрерывному волокну по армирующему действию. Вследствие малой кажущейся плотности изделия из него применяют главным образом для тепло- и звукоизоляции.

Непрерывное стеклянное волокно, обладающее феноменальной прочностью, способно давать высокий эффект упрочнения полимера подобно тому, как эту функцию выполняет металл в железобетоне. На основе этого волокна могут быть изготовлены различные виды стекловолокнистых наполнителей сравнительно высокой кажущейся плотности.

Благодаря наличию большого количества различных видов стекловолокнистых наполнителей, а также самых разнообразных связующих на основе органических и элементоорганических полимеров из стеклопластиков может быть получено множество композиционных материалов, различающихся по эксплуатационным свойствам и, следовательно, по областям применения.

В электротехнической промышленности стеклопластики применяются в качестве электроизоляционных и конструктивных материалов для изготовления коллекторов электрических машин, пазовой изоляции, траверс, панелей, изоляции проводов, деталей и корпусов приборов, крышек, штанг, реек и т. д. Стеклопластики для

этих целей изготавливаются в виде листов, цилиндров, трубок, профильных изделий, прессматериалов, гибких материалов — стеклолакотканей, стеклобандажных лент, обмоточных слоев из стеклотканей и связующих, формованных крупногабаритных изделий.

Широкое применение нашли стеклопластики в авиационной промышленности и реактивной технике, в которых используются такие свойства стеклопластиков как высокая удельная прочность и повышенная теплостойкость, стойкость к вибрационным нагрузкам и локальность поражения. Их используют для изготовления элементов фюзеляжа, обтекателей антенн, оперения, контейнеров мягких бензобаков, деталей внутренней отделки самолетов, корпусов реактивных двигателей и прочих изделий.

Возможность изготовления из стеклопластиков изделий практически любых размеров и форм позволила применить их в судостроении. Налаживается массовое производство лодок и катеров, а также теплоходов с палубой и надстройками, целиком выполненными из стеклопластиков. Антимагнитные свойства, высокая удельная прочность, стойкость к коррозии и другие специфические качества позволяют использовать стеклопластики и в кораблестроении.

Стеклопластики широко применяют в строительстве зданий гражданского и промышленного типа (кровля, стеновые панели, витражи, облицовочные материалы, санузлы). Они используются также в различных областях машиностроения, из которых следует особенно отметить автомобильную промышленность, вагоностроение, станкостроение (кузова автомашин, крыши и сиденья автобусов и вагонов, цистерны, контейнеры и т. п.).

Очень перспективно применение стеклопластиков в угольной промышленности (корпуса гидравлических стоек, решетки угольных конвейеров, верхняки шахтных крепей, водоотливные трубы и пр.).

Из стеклопластиков изготавливают трубы различного диаметра, которые могут быть использованы в нефтегазовой, химической и других отраслях промышленности.

Стеклопластики применяют также для производства товаров народного потребления и спортивного инвентаря (прогулочные и спортивные лодки, удилица спиннинговые и телескопические, шесты для прыжков, луки).

В сельском хозяйстве стеклопластики применяют при сооружении теплиц, емкостей для ядохимикатов и т. п.

В данной главе описаны свойства стекловолоконных армирующих наполнителей, а также рассмотрены основные виды композиций и типовых изделий из стеклопластиков. Связующие, применяемые в производстве стеклопластиков, рассмотрены очень кратко, поскольку их свойства подробно описываются в соответствующих разделах справочника.

## СТЕКЛОВОЛОКНИСТЫЕ АРМИРУЮЩИЕ НАПОЛНИТЕЛИ

### Элементарное стеклянное волокно и первичная стеклонить

Непрерывное стеклянное волокно получают преимущественно методом механического вытягивания из расплавленной стекломассы, вытекающей через отверстия фильер стеклоплавильного устройства\*.

Современные стеклоплавильные сосуды имеют 204 фильеры, что позволяет одновременно вытягивать до 204 элементарных волокон, которые после прохождения формирующего устройства объединяются в первичную нить. В зависимости от того, сколько элементарных волокон должно содержаться в первичной нити, для получения того или иного вида стекловолоконного наполнителя применяют сосуды, содержащие 51, 102 и 408 фильер.

Стекловолоконное волокно имеет все положительные качества, присущие стеклу — негорючесть, высокую теплостойкость, хорошие электрические характеристики, прозрачность. Плотность, коэффициент преломления, коэффициент термического линейного расширения и удельная теплоемкость весьма близки к показателям этих свойств для массивного стекла.

Физические свойства массивного стекла и стеклянного волокна из алюмоборосиликатного стекла

Физические свойства	Стекло	Стекловолоконное
Плотность при 30° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	2,59	2,54
Коэффициент термического линейного расширения (от 25 до 200° С), град <sup>-1</sup> . . . . .	6 · 10 <sup>-6</sup>	5 · 10 <sup>-6</sup>
Удельная теплоемкость (от 25 до 100° С), кал/(г · град) . . . . .	0,20	0,19
Показатель преломления . . . . .	1,552	1,548

Стекловолоконное волокно имеет гладкую поверхность и строго цилиндрическую форму, в связи с чем его тонину достаточно охарактеризовать диаметром поперечного сечения.

Превращение массивного стекла в волоконное состояние в случае получения непрерывного волокна из расплава сопровождается появлением новых качеств, из которых особенное значение приобретают гибкость и прочность при растяжении. Стеклянные волокна диаметром 12 мк настолько гибки, что могут быть переработаны в любое текстильное изделие вплоть до трикотажа.

\* Менее совершенным является штабиковый способ изготовления непрерывного волокна; он редко применяется в производстве армирующих материалов, так как получаемые волокна имеют малую прочность.

Громадное увеличение прочности стеклянных волокон по сравнению с массивным стеклом, является важнейшим достоинством метода получения непрерывного стекловолокна из расплава стекла. Так, предел прочности при растяжении волокон, вырабатываемых в обычных производственных условиях из алюмоборосиликатного стекла\*, возрастает более чем в 40 раз, достигая величины порядка 250 кг/мм<sup>2</sup>.

Из стекловолокнистых армирующих материалов на основе волокон диаметром 4—14 мк, взятых из разных партий, получаются стеклопластики, практически не отличающиеся по прочности. Это значит, что за счет уменьшения диаметра волокна пока не удается повысить прочность стеклопластика. Данное обстоятельство имеет определенное значение в экономике и технологии производства стекловолокна и стеклопластиков.

Прочность стеклянных волокон зависит от состава стекла. Волокна, вырабатываемые из щелочного стекла (до 15% окислов щелочных металлов), имеют пониженную прочность, хотя они и обладают большей химической стойкостью по сравнению с волокнами из бесщелочного стекла.

При правильном выборе состава стекла и оптимальных условий выработки волокна можно получить высокопрочные волокна для армирования пластмасс (получены волокна с пределом прочности при растяжении более 300 кг/мм<sup>2</sup> и модулем Юнга, превышающим 10 000 кг/мм<sup>2</sup>).

Важное значение приобретает получение жаростойких волокон, например кремнеземистых на основе щелочного стекла, с дальнейшим удалением составляющих окислов путем кислотной обработки (за исключением SiO<sub>2</sub>).

#### Армирующая способность и армирующее действие стекловолокнистых материалов

Под армирующей способностью подразумевается максимально возможное упрочняющее действие наполнителя в композиции, выражаемое через максимально возможную прочность стеклопластика, определяемое расчетным путем на основании данных о прочности наполнителя и связующего в условиях идеального их соприкосновения. Армирующее действие выражается реально достигаемыми значениями прочности стеклопластика, которые, как правило, значительно ниже расчетных.

Определение армирующей способности стекловолокнистых наполнителей можно показать на примере вычисления предела прочности стеклопластика при растяжении или модуля Юнга.

Для определения максимально возможной прочности так называемого однонаправленного стеклопластика при растяжении вдоль

\* Наибольшее распространение в производстве непрерывного волокна получило так называемое бесщелочное или алюмоборосиликатное стекло (стекло Е).

оси волокна можно воспользоваться расчетом прочности стержня, состоящего из двух разнородных пластин. При этом допускается, что: 1) в стеклопластике волокна наполнителя расположены строго параллельно друг другу в направлении растягивающей нагрузки; 2) при наложении нагрузки связующее и волокна работают одновременно и имеют одинаковое удлинение; 3) стеклопластик, стеклянное волокно и связующее имеют линейную зависимость деформации от напряжения.

Максимально возможная прочность однонаправленного стеклопластика при растяжении (армирующая способность)  $\sigma_{сп.}^*$  рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{сп.}^* = \frac{(\sigma_{ст.} - \sigma_{св.}) \gamma_{св.} \beta_p}{\alpha_p \gamma_{ст.} + \beta_p \gamma_{св.}} + \sigma_{св.}$$

где  $\sigma_{ст.}$ ,  $\sigma_{св.}$  — пределы прочности при растяжении элементарного волокна и отвержденного связующего;  $\gamma_{ст.}$ ,  $\gamma_{св.}$  — плотности элементарного волокна и отвержденного связующего;  $\beta_p$ ,  $\alpha_p$  — содержание стеклянного волокна и связующего в композиции (в вес. %).

Если содержание наполнителя и связующего выражено в объемных процентах, формула приобретает более простой вид:

$$\sigma_{сп.}^* = \frac{1}{100} (\sigma_{ст.} \beta_V + \sigma_{св.} \alpha_V)$$

Зная максимально возможное значение предела прочности при растяжении однонаправленного стеклопластика, можно рассчитать величины пределов прочности стеклопластиков при укладке волокон во взаимно перпендикулярном направлении в определенном соотношении.

Прочность стеклопластиков в любом направлении действия растягивающей силы предложено вычислять по формуле:

$$\sigma_\varphi = \left[ \cos 2\varphi \left( \frac{\cos^2 \varphi}{\sigma_0} - \frac{\sin^2 \varphi}{\sigma_{90}} \right) + \frac{\sin^2 2\varphi}{\sigma_{45}} \right]^{-1}$$

где  $\varphi$  — угол, при котором определяется предел прочности;  $\sigma_0$ ,  $\sigma_{45}$ ,  $\sigma_{90}$  — пределы прочности стеклопластиков под углами 0°, 45° и 90° к избранному направлению.

На практике определение армирующей способности стекловолокнистых наполнителей фактически невозможно без знания минимально возможного содержания связующего в композиции. Это в свою очередь делает необходимым определение смолемкости наполнителей, т. е. того содержания связующего, которое будет достаточным для заполнения всех воздушных пор наполнителя с целью получения монолитного материала. Количество связующего должно быть минимальным, так как превышение его содержания приводит к снижению прочности стеклопластика, поскольку прочность связующего в десятки раз меньше прочности элементарных стеклянных волокон.



Для определения смолемкости различных стекловолоконистых наполнителей предложен метод, состоящий в измерении кажущейся плотности наполнителя  $G_V$ .

Отношение кажущейся плотности стекловолоконистого наполнителя к плотности стекла  $\frac{G_V}{\gamma_{ст.}} \cdot 100$  отвечает объемному содержанию стекла в стеклопластике, а выражение  $\left(1 - \frac{G_V}{\gamma_{ст.}}\right) 100$  — минимальному содержанию связующего в нем, необходимому для заполнения всех воздушных пор стекловолоконистого наполнителя, т. е.

$$\beta_V = \frac{\sigma_V}{\gamma_{ст.}} 100 \quad \alpha_V = \left(1 - \frac{G_V}{\gamma_{ст.}}\right) 100$$

Воспользовавшись выражением для максимального значения предела прочности стеклопластика при растяжении, получим:

$$\sigma_{ст.}^* = G_V \frac{\sigma_{ст.}}{\gamma_{ст.}} + \sigma_{св.}$$

Таким образом, предел прочности при растяжении стеклопластика прямо пропорционален кажущейся плотности стекловолоконистого наполнителя и удельной прочности элементарного стеклянного волокна. При этом прочность связующего считается величиной постоянной, а в случае обычно применяемых связующих этой величиной вообще можно пренебречь (ошибка не превышает 4—7%). При одном и том же составе стекла следует считать, что предел прочности при растяжении стеклопластика прямо пропорционален кажущейся плотности наполнителя, причем коэффициентом пропорциональности служит удельная прочность элементарного волокна, т. е.

$$\sigma_{ст.}^* = k G_V$$

где  $k$  — удельная прочность элементарного стекловолокна.

Для стеклопластиков, изготавливаемых методами прямого прессования или контактного формования, кажущуюся плотность наполнителя можно определять с помощью ручного лабораторного пресса. Образец материала определенных размеров, сложенный в несколько слоев закладывают между верхней и нижней плитой пресса и подвергают сжатию (до  $100 \text{ кг/см}^2$ ). Разделив массу испытуемого образца на его рассчитанный объем при некотором давлении, получают показатель кажущейся плотности материала. Большинство видов стекловолоконистых наполнителей в данном случае имеет гиперболическую зависимость кажущейся плотности материала от внешнего давления:

$$G_V = aF^n$$

где  $a, n$  — константы, зависящие от вида стекловолоконистого наполнителя;  $F$  — давление на пакет.

По армирующей способности и максимально возможному пределу прочности стеклопластика при растяжении вдоль расположения волокон стекловолоконистые наполнители различных видов можно разместить в следующий ряд:

штапельные стекловолоконистые материалы и волокно ВВ < холсты из непрерывных нитей типа ХЖКН < холсты из рубленых нитей < стеклоткани полотняного и сатинового переплетений нитей < кордные стеклоткани < стеклонити и стекложгуты < первичные стеклонити < элементарные волокна.

Ниже приведены примеры определения максимального значения предела прочности стеклопластика типа СВМ и стеклотекстолита марки КАСТ.

Для стеклопластика типа СВМ характерно однонаправленное расположение волокон, схематически изображенное на рис. 1. В данном случае при идеальной упаковке волокон независимо от диаметра волокна кажущаяся плотность наполнителя составит около  $2,25 \text{ г/см}^3$  при плотности стекла  $2,5 \text{ г/см}^3$ .

Учитывая, что прочностью отвержденного связующего типа БФ, составляющей около  $500 \text{ кг/см}^2$ , можно пренебречь и принимая прочность стекловолокна  $22\,000 \text{ кг/см}^2$ , определяем максимальное значение предела прочности стеклопластика:

$$\sigma_{ст.}^* \approx 2,25 \frac{22\,000}{2,5} \approx 19\,800 \text{ кг/см}^2$$

Для стеклотекстолита марки КАСТ наполнителем служит стеклоткань марки Т. На рис. 2 приведен график зависимости кажущейся плотности некоторых стеклонаполнителей от внешнего давления.

Поскольку прессование стеклотекстолита производится при давлении  $40 \text{ кг/см}^2$ , кажущаяся плотность ткани при этом давлении составляет примерно  $1,7 \text{ г/см}^3$ . Максимальная прочность в пересчете на однонаправленный материал в этом случае составляет:

$$\sigma \approx 1,7 \frac{22\,000}{2,5} \approx 15\,000 \text{ кг/см}^2$$

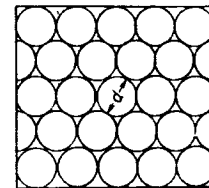


Рис. 1. Схема расположения волокон в стеклопластике типа СВМ.

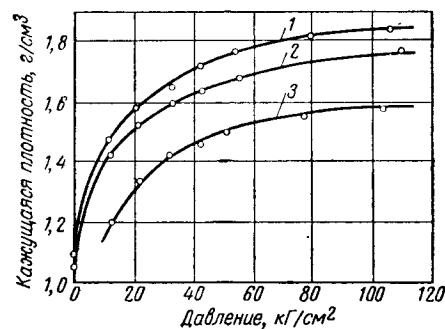


Рис. 2. Зависимость кажущейся плотности стеклонаполнителей от давления: 1 — стеклоткань марки Т; 2 — стеклоткань марки Э; 3 — холст из рубленых нитей (жесткий).

Так как стеклоткань марки Т имеет соотношение нитей по основе и утку 1,6:1, то прочность по основе и утку стеклотекстолита должна составлять в идеальном случае соответственно около 9 000 и 6000 кг/см<sup>2</sup>.

В действительности получаемые значения предела прочности стеклопластиков при растяжении далеко уступают расчетным. Здесь действует ряд факторов, из которых следует назвать следующие:

1. Содержание связующего в реальном стеклопластике значительно превышает расчетное, что влияет на снижение показателя численной прочности стеклопластика.

2. Волокна наполнителя в стеклопластике располагаются не строго параллельно друг другу, в связи с чем действует фактор неодновременности их работы при наложении растягивающей нагрузки.

3. Наличие микропор в стеклопластике как следствие несовершенства совмещения связующего с наполнителем, которое может приводить к преждевременному разрушению ввиду концентрации напряжений в местах пустот, а также неодновременность разрушения компонентов стеклопластика.

В данном случае большое значение приобретает качество связующего, его технологические и физико-химические свойства. Стеклопластики на основе одного и того же наполнителя, но разных связующих имеют различные прочностные характеристики, причем наилучшие результаты достигаются пока при использовании эпоксидных смол и их модификаций. На практике достижение показателей, соответствующих армирующей способности наполнителя, представляет пока сложную проблему. В обычных стеклопластиках суммарная прочность стеклянных волокон используется на 50—70%. Но при тщательном изготовлении кольцевых тонких образцов с применением некрученых первичных нитей и оптимальных условий намотки могут быть получены эпоксидные стеклопластики с прочностью весьма близкой к армирующей способности наполнителя.

Стекловолоконистые армирующие материалы можно разделить на два больших класса: тканые и нетканые. Экономически и технологически применение в качестве армирующих наполнителей тканых материалов с использованием крученых стеклонитей вряд ли оправдано. Однако в настоящее время тканые материалы изготавливаются в больших количествах для производства различных видов стеклопластиков.

Производство нетканых материалов является очень перспективным и с каждым годом расширяется все больше. По-видимому, в недалеком будущем их роль в промышленном производстве стеклопластиков станет доминирующей.

## НЕТКАНЫЕ НАПОЛНИТЕЛИ

### Первичные стеклянные нити

Первичные стеклянные нити получают непосредственно при выработке непрерывного стеклянного волокна. Они состоят из комплекса элементарных волокон, которые вытягиваются через отверстия фильера стеклоплавильного устройства. Применяются в основном для получения прессматериалов, вырабатываемых на тех предприятиях, где производится стекловолокно, так как их транспортировка затруднена. На их основе производятся прессматериалы типа АГ-4с (ЛОС, АГ-4нс), ДСВ, армированные полиамиды, а также прессматериалы типа СВМ (в последнем случае выработка первичной нити совмещается с получением композиционного материала).

Стеклонити характеризуются метрическим номером (количество метров нити в 1 г), величиной диаметра элементарного волокна и крепостью (величина разрывного усилия). Первичные нити служат исходным сырьем для получения крученых нитей и стекложгутов.

### Крученые стеклонити

Производство крученых стеклонитей связано с операциями размотки и кручения первичной стеклонити, а затем трощения и одновременно кручения этих нитей в несколько переходов для достижения определенного метрического номера и обязательным получением компенсированного продукта по крутке. Некомпенсированные по крутке стеклонити (т. е. нити, способные к самопроизвольному скручиванию при свободном сматывании с початка) пока не применяются для производства стеклопластиков. Обычно величина крутки нитей не превышает 100—150 кручений на 1 м длины.

Катушки с кручеными стеклонитями удобно транспортируются, занимают сравнительно мало места, хорошо разматываются, хотя при получении высокопрочных и дешевых стеклопластиков операция крутки первичных стеклонитей является нежелательной.

Промышленность вырабатывает широкий ассортимент крученых стеклянных нитей, которые используются для получения изоляции проводов и кабелей при одновременном нанесении связующего, намоточных изделий из стеклопластиков и полуфабрикатов — прессматериалов типа АГ-4с или 33-18с и др.

Крученые стеклонити служат также сырьем для получения стеклянных тканей.

### Стекложгуты

Стекложгуты\* получают трощением нескольких первичных стеклонитей, сматываемых одновременно с бобин и формируемых

\* Иногда их называют ровингамн.

в бухты на специальных жгутовых установках. Наиболее распространены стекложгуты с числом сложенных первичной стеклонити, содержащей 204 filamentных нитей диаметром 9—11 мк каждая, равным 10, 20, 40 и 60.

Применяются для изготовления изделий из стеклопластиков методами намотки, напыления и протяжки, а также служат сырьем для получения холстов из рубленых нитей и жгутовых тканей.

### Стеклохолсты (стекломаты)

Стеклохолсты представляют собой рулонные материалы с хаотической укладкой первичных нитей или отрезков первичных нитей в плоскости листа и скрепленных между собой либо клеящим веществом (так называемые жесткие холсты), либо механической связкой при помощи специальной иглопрошивочной машины и подложечного материала (марля, холсты ВВ).

Жесткие холсты применяются преимущественно для контактного формования изделий, мягкие — для изделий, получаемых прессованием. Изделия из стеклохолстов имеют среднюю механическую прочность.

Для химического связывания жестких холстов необходимо чтобы «связка» сочеталась со связующим, тогда при контактном формовании изделий сложной формы будет достигаться хорошая драпируемость армирующего материала.

В последние годы разработана технология изготовления холстов непосредственно из непрерывных стеклонитей без нарубания их на отрезки (холсты марки ХЖКН). Это один из наиболее дешевых армирующих материалов.

На основе холстов изготавливают также рулонные прессматериалы (препреги) с применением различных связующих.

### Стеглосрезы (однонаправленное волокно)

Стеглосрезы или однонаправленное волокно получают прямым срезом с бобин пучка намотанных волокон непосредственно после их выработки на стеклопрядильном агрегате. Стоимость этих наполнителей невысока. Применяются они пока в производстве стекловолоконитов типа АГ-4в или ЗЗ-18в. Поставляются в виде пучка волокон ограниченной длины, соответствующей диаметру бобины, на которую принимается первичная стеклонить.

Стеглосрезы могут содержать на поверхности волокон органические присадки.

### Холсты ВВ

Холсты ВВ получают методом вытягивания волокон диаметром до 20 мк потоком воздуха или пара из расплава стекломассы через отверстия фильер и хаотической укладки на сетку конвейера

### Нетканые стекловолоконистые наполнители Стеклонити

Наименование	ГОСТ или ТУ	Стекло	Метрический номер нити м/с	Примечание
Нити стеклянные крученые КН-11	ГОСТ 8325—61 МРТУ 6-11-59—67	Е	150—32 5,5	Различный ассортимент
КН-11к	ТУ № 119—64	№ 11, обработанное кислотой	5,5	Короткомерная
НС-150/2	МРТУ 11-34—65	То же	75	Для прессматериала АГ-4с
Нити и волокна стеклянные однонаправленные	ГОСТ 10727—62	Е	—	Стеглосрезы для прессматериала АГ-4в
Нити первичные стеклянные однонаправленные	ВТТ С-16—66	Е	24	Для прессматериалов типа ЛОС и АГ-4ис
Нити первичные стеклянные однонаправленные	ВТТ С-42—67	Е	24	Для армированных полимеров амидов

### Стекложгуты

Наименование	ТУ	Стекло	Количество сложенных первичной нити	Примечание
ЖС-1; ЖС-2; ЖС-3; ЖС-4; ЖС-5; ЖС-6 ЖСР-24/60	МРТУ 6-11-60—67 ТУ № 154—66	Е Е	Соответственно 60; 40; 30; 20; 15; 10 60	Метрический номер первичной нити равен 24 м/с

### Стеклохолсты

Наименование	ТУ	Стекло	Связка	Примечание
ВВП ХМ ХЖК-1,0-1-11 ХЖК-1,0-ГС ХЖКН	СТУ 77-10-223—65 ТУ № 143—65 ТУ № 155—66 ТУ № 181—67 ВТУ 88—63	Щелочное Е Е Е Е	Полвинилцеллюлоза Формикалнитин Целлюлозные ленточки Соноламер винилцеллюлоза с лубрицирующим составом Полвинилцеллюлоза	— Для прессматериалов Для претретов и контактного формования — Из непрерывных нитей

и склейки в лист. Они применяются в производстве стеклопластиков для получения малопрочных изделий типа облицовочных и декоративных листов (стеклопластики типа глакрезит), в качестве подложечного материала для изготовления мягких холстов из рубленых нитей, а также для создания декоративного поверхностного слоя при изготовлении стеклопластиков на основе других армирующих наполнителей.

#### Прочие нетканые наполнители

Для получения некоторых видов прессматериалов, прессмасс (премиксов) и армированных термопластов могут применяться отрезки первичных нитей, получаемые нарубанием стекложгутов.

Помимо указанных выше нетканых материалов в производстве стеклопластиков применяются стеклорожки, получаемые вытягиванием волокон диаметром до 20 мк и намоткой их на барабан большого диаметра с последующим срезанием пучка волокон и растяжкой в холст ограниченной длины.

Стеклорожки могут применяться для изготовления тех же стеклопластиков, что и холсты ВВ.

В таблице на стр. 259 приводятся данные о некоторых видах нетканых наполнителей.

#### ТКАНЫЕ НАПОЛНИТЕЛИ

Тканые стекловолокнистые материалы широко применяются в производстве изделий из стеклопластиков благодаря их хорошим технологическим свойствам.

На основе стеклотканых материалов можно получить стеклопластики довольно высокой механической прочности, так как их кажущаяся плотность достигает 1,8—2,0 г/см<sup>3</sup>.

Сами композиции на основе стеклотканей и связующих носят общее название — стеклотекстолитов. Однако в литературе стеклотекстолитами обычно называют листовые стеклопластики на основе стеклотканей.

Стеклотканые материалы в зависимости от ширины рулона и плотности нитей по основе и утку условно разделяются на собственно стеклоткани, стеклотенты и стеклосетки.

Стеклотканые материалы используются в электротехнической промышленности для изготовления гибкой изоляции (стеклолакоткани, стекломиканиты, стеклослюдиниты), которые лишь условно можно отнести к стеклопластикам. Стеклоткани применяют также для изготовления листовых стеклотекстолитов, намоточных изделий и крупногабаритных изделий различной формы.

Промышленность вырабатывает довольно широкий ассортимент стеклотканых материалов, различающихся по толщине, виду нанесенного покрытия на стеклонити, составу стекла, виду переплетения нитей и другим характеристикам. Тканые материалы

#### Характеристика основных видов стеклотканей, применяемых для изготовления стеклопластиков

Марка ткани	ГОСТ или ТУ	Вид переплетения	Стекло	Метрический номер нити основа/утка	Иллюстр. нитей основа/утка
Т		Полотняное	Е	9,3	16/10
Э-0,1	ГОСТ 8481-61	→	Е	40,0	20/22
АСТТ (б)-С	МРТУ 6М-814-61	Сатиновое 8/3	Е	9,3	22/13
АСТТ (б)-С <sub>2Р</sub>	МРТУ 6-11-16-64	Сатиновое 5/3	Е	9,3	22/13
АСТТ (б)-С <sub>2</sub> О	МРТУ 6-836-М-62	Сатиновое 8/3	Е, обработанное ГВС-9	9,3	22/13
ТС-8/3-250	МРТУ 6-05-916-63	Сатиновое 8/3	Е	19,8	36/20
УК-Т	МРТУ 6-11-28-65	Полотняное	№ 11	19,8	10/14
ТС-8/3-Т	МРТУ 6-11-27-65	Полотняное	→	19,8	36/20
КТ-11-Э-0,2	ТУ № 130-65	Полотняное	№ 11, обработанное кислотой	10	10/10
УК-1	МРТУ 6-11-42-66	→	Е	18/6	10/12
Э-0,12	МРТУ 6-11-68-67	→	Е	23/23	17/17
КТ-11	МРТУ 6-11-58-67	→	№ 11, обработанное кислотой	9,1	9/8
ТСЖ-0,7 (жгутовая)	МРТУ 6-05-899-63	→	Е, обработанное ГВС-9	0,6/1,2	2/3
ТЖС-0,56-0 (жгутовая)	МРТУ 6-11-62-67	→	Е	1,0	4/3
ТЖС-0,56 (жгутовая)	ТУ № 163-66	→	Е	10	4/3
УТС	ТУ № 3-65	→	Сатин	80/150	20/12
Э-40	МРТУ 6-11-7-64	→	Е	2/24	20/28
ТЖСК-0,4 (кордная)	ТУ 204-67	→	Е	9,1	3/8
СТСС	ТУ № 177-67	Сатиновое 8/3	Щелочное	—	22/13
ТСФЩ	—	—	—	—	—

Примечание. Вес 1 ж<sup>2</sup> ткани Q (в е) можно определить приближенно по формуле:

$$Q = \left( \frac{P_0}{N_0} + \frac{P_y}{N_y} \right) 100$$

где P<sub>0</sub>, N<sub>0</sub> и P<sub>y</sub>, N<sub>y</sub> — плотность и метрический номер нитей основы и утка.

выпускаются толщиной от 20—25 мк до нескольких миллиметров, масса 1 м<sup>2</sup> материала 25—800 г и более. Для их изготовления применяют крученые стеклонити и стекложгуты.

Тканые материалы — довольно дорогие наполнители. Иногда их заменяют на нетканые материалы соответствующей структуры, обеспечивающие необходимую прочность изделий.

Характеристики некоторых видов стеклотканей приведены на стр. 261.

### ЗАМАСЛИВАТЕЛИ, АППРЕТЫ, КЛЕЯЩИЕ ПРЕПАРАТЫ. ТЕРМОХИМИЧЕСКАЯ ОТДЕЛКА СТЕКЛОТКАНЕЙ

#### Замасливатели стекловолокна

В процессе выработки стеклянные волокна почти всегда подвергаются замасливанию, состоящему в нанесении на их поверхность определенных смесей органических или элементоорганических веществ из расплава, раствора или эмульсии (суспензии). В случае непрерывного волокна текстильного назначения эта операция необходима для придания первичной нити способности к переработке в то или иное текстильное изделие.

Замасливатели выпускаются в широком ассортименте, однако они не обеспечивают должного совмещения стеклянного волокна и связующего, так как содержат вещества, препятствующие адгезии связующего к стеклу. Поэтому со стекловолокнистых материалов, полученных с применением этих веществ, замасливатель в дальнейшем (если это необходимо) должен удаляться, а иногда наносится и новое покрытие — аппрет, способствующее лучшему совмещению стекла и связующего.

Применяются три вида замасливателей, придающих определенные технологические свойства стеклонити текстильного назначения: застывающий парафиновый замасливатель, парафиновая эмульсия и спиртово-канифольный замасливатель.

Парафиновый замасливатель, представляющий собой в обычных условиях твердую смесь парафина и продукта этерификации олеиновой кислоты и триэтаноламина, наносится на стеклонити из расплава в количестве до 20% от массы получаемой стеклонити. Этот замасливатель применяется в настоящее время в весьма ограниченных количествах и в ближайшие годы должен быть полностью заменен другими замасливателями. Изделия на основе парафинового замасливателя, как правило, подвергаются отмывке в бензине и его содержание доводится до 1% и менее.

Парафиновая эмульсия представляет собой эмульсию парафина, стеарина, трансформаторного масла и вазелина в водном растворе препарата ДЦУ (дициандиазид-формальдегидная смола в уксуснокислой среде). Эмульгатором служит препарат ОС-20

(невоногенный продукт обработки гомологов высших жирных спиртов окисью этилена). Наличие 1,5—2% этого замасливателя на поверхности стеклянных волокон заметно снижает прочность стеклопластиков при длительной выдержке в воде. При изготовлении из стеклопластиков ответственных изделий замасливатель удаляют с поверхности волокон с одновременным нанесением соответствующих аппретов.

Спиртово-канифольный замасливатель применяется при получении кремнеземистых материалов на основе щелочного стекла с последующим удалением щелочей кислотной обработкой. Он представляет собой раствор канифоли или ее эфиров в этаноле с пластификатором, например дибутилфталатом.

Очень перспективны так называемые прямые замасливатели, назначение которых зависит от вида применяемого связующего. Такие замасливатели лучше совмещаются со смолами и потому во многих случаях их можно не удалять и не заменять на аппреты. Некоторые прямые замасливатели описаны ниже:

Замасливатели	Компоненты	Назначение
А-41	А-41, ДЦУ, ДБС, сольвар	Для стеклотканей под полиэфирные смолы
№ 289	ПН-6П, ДБС, ГВС-9, ОС-20	Для рассыпающихся стекложгутов и полиэфирных стеклопластиков с повышенной прозрачностью
№ 9	ПВА, ДБФ, ГВС-9, волан, продукт № 3	Для рассыпающихся жгутов, применяемых при напылении стеклопластика на форму
№ 3	ПВА, ДБС, волан, ВТЭС, продукт № 3	Для рассыпающихся жгутов, применяемых при изготовлении жестких холстов
№ 78	АГМ-9, ТЭГ-1, ДЭГ-1	Для нитей, жгутов, тканей под эпоксидные и фенольные смолы
№ 752	АДЭ-3, ДБС, латекс бутадиен-акрилонитрильный, сольвар, ОС-20	Для тканей под эпоксидно-фенольные смолы
№ 30	ГВС-9, полиэфир 7-20, сольвар, ДБС, ОС-20, ДЦУ	Для светопрозрачного рулонного стеклопластика на основе сетки СЭ-6

#### Аппреты

Удаление замасливателя и нанесение на поверхность стеклянных волокон аппретов — одна из важнейших операций в подготовке стекловолокнистых материалов для изготовления ответственных конструктивных изделий из стеклопластиков. Эта операция осуществляется в том случае, когда прямые замасливатели не дают желаемых результатов.

Аппретированию подвергают главным образом стеклоткани, так как аппретировать другие виды наполнителей технологически очень трудно.

В качестве аппретирующих веществ применяются главным образом органосилановые соединения. Органосилановый аппрет выбирается так, чтобы его углеводородный радикал мог взаимодействовать со связующим, а алкоксисилановая группировка замыкалась бы через кислородный мостик на кремневый остаток поверхности стекла (в результате реакции с ОН-группой).

Ниже приводятся характеристики некоторых видов аппретов:

Аппреты	Химическая формула или название	Назначение
ГВС-9 АГМ-9	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_4\text{OC}_2\text{H}_5)_3$ $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$	Полиэфирные стеклопластики Феноло-формальдегидные стеклопластики
ВТЭС Волян АГМ-3	$\text{CH}_2=\text{CH}-\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$ Метакрилатохромхлорид Аминогексаметиленамино-метилтриэтоксисилан	Полиэфирные стеклопластики То же Эпоксидные и эпоксиодно-фенольные стеклопластики
АДЭ-3	Диэтиламинометилентриэтоксисилан	Стеклопластики на основе немодифицированных и модифицированных фенольными и кремнийорганическими смолами эпоксидных смол

Нанесение аппретов осуществляется вместе с операцией удаления замасливателя на специальном оборудовании при определенных режимах. Удаление замасливателя в основном производится быстрым нагреванием (до 500°С) стеклоткани.

Удаление замасливателя термическим путем и нанесение аппрета в едином процессе называют термохимической отделкой стеклотканей.

#### Клеящие препараты

Клеящие препараты используются главным образом в производстве стеклохолстов. В основном применяются поливинилацетатная эмульсия, полистирольный латекс и др.

Препараты	ГОСТ или ТУ	Назначение
Латекс полистирольный	МРТУ 6-05-1015-66	Холст из рубленых нитей марки ХЖК-1,0-Г-П
Дисперсия сополимера винилацетата с дибутилмаленатом	ТУ № П-158-67	Холст из рубленых нитей марки ХЖК-1,0-Г-С
Поливинилацетатная эмульсия	ГОСТ 10002-62	Холст из непрерывных нитей марки ХЖКН

#### СВЯЗУЮЩИЕ ДЛЯ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

Связующие для стеклопластиков получают на основе различных органических или элементоорганических смол. В состав связующего помимо полимеров и их смесей могут входить активные или неактивные растворители, инициаторы и ускорители отверждения, различные минеральные и органические добавки (наполнители), ингибиторы, красители, пигменты и другие ингредиенты. (Однако часто под термином «связующее» понимают именно основное вещество — смолу.)

В зависимости от назначения стеклопластика к связующему предъявляются различные требования.

Для стеклопластиков электроизоляционного назначения связующее является основным материалом, образующим изоляционный слой, и от его монолитности зависят важнейшие электрические характеристики стеклопластика. Стекловолоконистый наполнитель в данном случае выполняет лишь роль упрочняющего теплостойкого каркаса, который не должен ухудшать изолирующие свойства связующего.

В высокопрочных конструкционных стеклопластиках должны применяться связующие, обеспечивающие достаточную жесткость изделия и возможно большую одновременность работы элементарных волокон армирующего материала.

От химической природы и вязкости связующего в значительной мере зависят не только свойства получаемого стеклопластика, но и выбор оптимальной технологии изготовления изделий и экономика производства.

В настоящее время в отечественной промышленности стеклопластиков применяют главным образом феноло-формальдегидные, эпоксидные, полиэфирмалеинатные, полиэфиракрилатные и кремнийорганические смолы, ацетали и линейные полиамиды\*.

Чистые феноло-формальдегидные смолы, применяемые в виде спиртовых растворов, водных эмульсий и порошков, используются для изготовления стеклотекстолита электротехнического назначения, а также листовых облицовочных и декоративных стеклопластиков сравнительно невысокой механической прочности. Они применяются также в модифицированном виде с добавками поливинилбутирала и других компонентов для изготовления конструкционных стеклотекстолитов и прессматериалов. Фенольные смолы являются пока наиболее распространенным видом связующего в промышленности стеклопластиков, однако с развитием производства ненасыщенных полиэфирных смол их удельный вес в общем балансе связующих будет понижаться.

\* Их свойства описаны в соответствующих разделах справочника.

Эпоксидные смолы отличаются хорошей адгезией к стеклу. При использовании связующих на их основе получают самые высокопрочные стеклопластики. В чистом виде эпоксидные смолы для производства стеклопластиков используются сравнительно редко, большей частью они модифицируются феноло-формальдегидными, полиэфирными или кремнийорганическими смолами. Благодаря способности отверждаться при комнатной температуре и атмосферном давлении их применяют для изготовления крупногабаритных изделий сложных форм. В качестве отвердителей эпоксидных смол (при холодном отверждении) используются некоторые амины, например полиэтиленполиамин. При горячем отверждении отвердителями могут служить ангидриды малеиновой и фталевой кислот, феноло-формальдегидные смолы, триэтанол-аминотитанат.

Широкое использование эпоксидных смол осложняется сравнительно высокой их стоимостью и малыми масштабами производства.

Современные непрерывные и механизированные способы изготовления изделий из стеклопластиков в виде профилей, труб, листов, серийных изделий, изготовление в массовом масштабе крупногабаритных конструкций, производство прессмасс, прозрачных и трудногорючих стеклопластиков немислимо без широкого применения ненасыщенных полиэфиров. Ненасыщенные полиэферы могут отверждаться как при комнатных температурах, (при атмосферном давлении), так и при нагревании без выделения летучих. В качестве сшивающих агентов применяют стирол, аллиловые эфиры фталевой и циануровой кислот, некоторые эфиры метакриловой кислоты. Инициаторами отверждения служат органические перекиси (гидроперекись изопропилбензола, перекись бензоила, перекись метилэтилкетона, перекись циклогексана, перекись дикумила), введение которых в количестве до 2% достаточно для горячего отверждения (80—130°С) полиэфера. При дополнительном введении до 4—6% ускорителя (восстановителя) типа нафтената (октоата) кобальта отверждение полиэфера происходит при комнатной температуре.

Для улучшения стекания смолы с вертикальных стенок при формировании изделий в полиэфирные смолы вводят различные тиксотропные добавки. Наибольшее распространение получил аэросил (тонкодисперсный порошок аморфной кремниевой кислоты). Иногда применяют белую сажу или углекислый кальций.

Для глубинного или поверхностного окрашивания полиэфирных стеклопластиков можно применять двуокись титана, цинковые белила, газовую сажу, крапплак красный, ультрамарин, свинцовый кроун, свинцовый сурик, окись хрома и др. Краситель вводят обычно в виде пасты (на 2—6 вес. ч. полиэфирной смолы 1 вес. ч. красителя).

Для изменения усадки, эластичности, снижения расхода полимера, придания специфических свойств стеклопластику в связующие вводят и другие добавки — гипс, асбест, металлический порошок, волокнистые материалы органического происхождения, каолин, древесную муку и др.

Кремнийорганические смолы (полиорганосилоксаны) применяются главным образом для изготовления термостойких стеклопластиков электротехнического назначения. Их часто модифицируют эпоксидными связующими, так как они обладают сравнительно малой адгезией к стеклу. Широкое применение кремнийорганических смол также ограничивается их довольно высокой стоимостью.

Очень перспективно использование в качестве связующих различного вида термопластов. Разработан и внедрен в промышленное производство процесс получения стеклопластиков на основе капрона и полиамида П-68.

## СТЕКЛОПЛАСТИКИ

Стеклопластики выпускают в промышленности в виде полуфабрикатов или изделий. В первом случае полуфабрикаты перерабатываются в изделия обычными способами, используемыми при переработке пластмасс. Во втором случае изделия получают непосредственно из исходных материалов, когда операции совмещения их и переработки соединены в один технологический цикл. При этом в случае необходимости изделие подвергают механической обработке.

Стеклопластиковые полуфабрикаты выпускаются в виде прессовочных или литьевых материалов.

Иногда прессовочные материалы не являются товарной продукцией, а служат промежуточным сырьем для получения изделий (главным образом в производстве стеклотекстолитов).

В настоящее время ещё не разработана достаточно полная классификация стеклопластиков по какому-либо признаку. Поэтому в данной главе стеклопластики рассматриваются в виде определенных групп композиционных материалов или типовых изделий.

### Прессовочные материалы

Прессматериалы составляют важнейшую часть всего объема продукции промышленности стеклопластиков. Более половины изделий из стеклопластиков выпускаются методами прямого или литьевого прессования.

Принцип получения стеклопластикового прессматериала заключается в совмещении связующего и стекловолоконного наполнителя с образованием композиции, удобной для дальнейшей переработки в изделие методами прямого или литьевого прессования.

Существует несколько способов совмещения стекловолоконных наполнителей и связующих.

**Прессматериалы типа СВАМ.** Стекловолоконный анизотропный прессматериал (СВАМ), являющийся одним из первых отечественных стеклопластиков, получают непосредственно в процессе выработки первичной стеклонити, применяя связующее в качестве замасливателя. Стеклоплавильное устройство с фильтровой пластиной совершает возвратно-поступательное движение вдоль направления оси приемного устройства, выполненного в виде барабана диаметром 1000 мм, так что укладка нитей на барабане осуществляется по ширине 3000 мм.

После намотки определенного числа слоев пропитанной нити однонаправленный материал срезается. В развертке он представляет собой квадратный лист размером 3000 × 3000 мм<sup>2</sup>. Повернув лист на 90° относительно оси барабана и вновь закрепив на нем, можно дополнительно намотать определенное число слоев пропитанной нити и получить стеклошпон с взаимно перпендикулярным расположением волокон. После сушки до определенного содержания летучих стеклошпон можно перерабатывать в изделия методом прямого прессования.

**Стеклошпон конструкционный электротехнический (СТУ 30-14361—65).** Выпускается в виде листов прямоугольной формы размером 2800 × 2600 мм<sup>2</sup> (±5 мм), толщиной 0,1—0,7 мм. Содержание связующего колеблется от 22 до 35% и может изменяться по согласованию с заказчиком. Количество продольных и поперечных слоев волокон в листах с перекрестной структурой может изменяться в пределах от 1:1 до 15:1.

В зависимости от типа связующего выпускаются различные марки стеклошпона:

	Связующее
СШ-ЭР . . . . .	Эпоксидно-фенольное с применением фенольных смол резольного типа
СШ-ТФЭ-Р . . . . .	Тетрафурилэпоксидная смола и фенольная смола резольного типа
СШ-ЭН . . . . .	Эпоксидно-фенольная смола с применением фенольной смолы новолачного типа
СШ-БФ . . . . .	Бутваро-фенольное связующее
СШ-Р-2м . . . . .	Феноло-формальдегидная смола, модифицированная анилином и бутваром

На основе указанных марок стеклошпонов выпускаются листовые стеклопластики следующих марок (СТУ 30-14362—65):

СВАМ-ЭР	— на основе шпона СШ-ЭР
СВАМ-ТФЭ-Р	— на основе шпона СШ-ТФЭ-Р
СВАМ-ЭН	— на основе шпона СШ-ЭН
СВАМ-БФ	— на основе шпона СШ-БФ
СВАМ-Р-2м	— на основе шпона СШ-Р-2м

При одинаковом числе продольных и поперечных слоев волокон в стеклопластике свойства листовых материалов гарантируются показателями, приведенными на стр. 271.

Листы выпускаются длиной до 1000 мм и шириной до 500 мм при толщине 0,5—50 мм по согласованию с заказчиком.

На основе шпонов, изготовленных на клее БФ-4 и эпоксидно-фенольной смоле (СТУ 30-14363—65), выпускаются фольгированные листовые стеклопластики марок СВАМ-БФ-1Ф (фольгирован

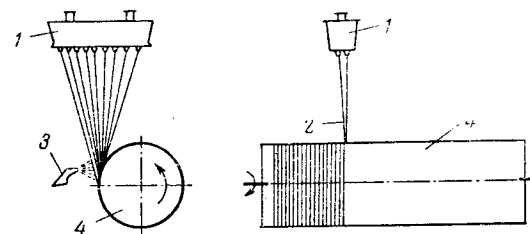


Рис. 3. Принципиальная схема намотки СВАМ:  
1 — стеклоплавильный сосуд; 2 — волокна; 3 — навязатель смолы;  
4 — барабан.

с одной стороны), СВАМ-БФ-2Ф (фольгирован с двух сторон), СВАМ-БФ-1Ф П и СВАМ-БФ-2Ф П (пониженной теплостойкости) и СВАМ-ЭФ-2Ф (фольгирован с двух сторон). Толщина листов — 0,2—3,0 мм. Фольга — красномедная электролитическая, оксидированная пленкой толщиной 0,05 мм.

На рис. 3 представлена принципиальная схема получения стеклошпона.

**Прессматериалы типа АГ-4с.** Представляют собой однонаправленную ленту, получаемую на основе крученых стеклянных нитей и анилинно-феноло-формальдегидной смолы, модифицированной бутваром (Р-2м).

Определенное число крученых стеклонитей сматывается со шпуль, установленных на шпулярнике, ориентируется в ленту и



направляется в пропиточную ванну. По выходе из ванны лента направляется в сушильное устройство и после удаления растворителя непрерывно наматывается в рулон на приемном устройстве.

Аналогично получают рулонные прессматериалы марок 33-18с, П-50с, П-75с, П-2-3, П-2-6с и ряд других на основе различных видов связующих и крученых стеклонитей.

В последнее время начал выпуск прессматериала марки АГ-4ис, отличающегося от АГ-4с видом наполнителя. В качестве наполнителя применяются первичные стеклянные нити метрического номера 22—24 м/г (диаметр элементарного волокна 9—11 мк). Его показатели несколько превосходят показатели физико-механических свойств прессматериала АГ-4с; кроме того, он дешевле последнего. Правда, его переработка методом литьевого

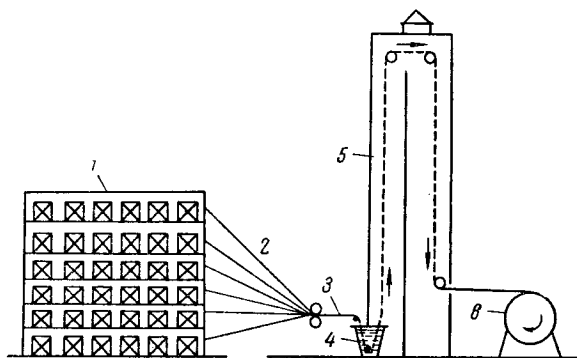


Рис. 4. Принципиальная схема получения прессматериала типа АГ-4с или ЛОС:

1 — шпулярник; 2 — крученые или первичные нити; 3 — лента; 4 — пропиточная ванна; 5 — сушильная камера; 6 — приемное устройство.

прессования несколько затруднена. В отличие от прессматериалов типа АГ-4с на основе крученых нитей ленточные прессматериалы на основе первичных нитей иногда называют ЛОС (лента однонаправленная стеклянная).

Принципиальная схема получения прессматериалов типа АГ-4с и ЛОС представлена на рис. 4.

Показатели свойств отпрессованных образцов приведены в таблице на стр. 274—275.

Прессматериалы типа АГ-4с предназначены для получения высокопрочных изделий методом прямого прессования или намотки. Они могут быть использованы в виде нарубленной крошки или короткомеров для прямого и литьевого прессования изделий средней механической прочности.

**Прессматериалы типа АГ-4в.** Представляют собой стекловолокнит на основе срезов первичной стеклонити и смолы Р-2м. Специально подготовленный стекловолокнистый наполнитель смешивается со смолой в смесителях типа Вернера — Пфляйдерера с последующей выгрузкой и сушкой продукта. Поставляется в виде волокнистой массы или в таблетированном виде. Применяется для изготовления изделий средней прочности методом прямого или литьевого прессования. Подобным образом готовят волокниты других марок на основе различных связующих. Свойства некоторых видов волокнитов приведены в таблице на стр. 274—275.

**Прессматериалы типа ДСВ.** Дозирующиеся стекловолокниты (ДСВ) получают пропиткой первичных стеклянных нитей метрического номера 22—24 м/г в два и четыре сложения различными связующими. После высушивания пропитанная нить рубится на отрезки определенной длины, в результате чего получаемый прессматериал обладает сыпучестью. Этим он выгодно отличается от прессматериала типа АГ-4в. Кроме того, он имеет несколько повышенные и более стабильные показатели физико-механических свойств.

Свойства листовых материалов СВМ

Показатели	СВМ-Р-2м	СВМ-БФ	СВМ-ЭН	СВМ-ТФЭ-Р	СВМ-ЭР
Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,8—2,0	1,8—2,0	1,8—2,0	1,8—2,0	1,8—2,0
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup> , не менее					
при растяжении . . . . .	3500	3500	4500	3500	4500
» сжатии параллельно но слоям . . . . .	4500	3500	4500	3500	4500
» изгибе . . . . .	5000	5000	6500	5000	7000
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> не менее . . . . .	180	300	500	400	500
Теплостойкость по Мартенсу, °С, не ниже . . . . .	300	65	200	250	200
Водопоглощение за 24 ч, %	0,10	0,5	0,15	0,5	0,15
Удельное электрическое сопротивление					
объемное, ом·см . . . . .	10 <sup>13</sup>	10 <sup>13</sup>	10 <sup>14</sup>	10 <sup>14</sup>	10 <sup>13</sup>
поверхностное, ом . . . . .	10 <sup>13</sup>	10 <sup>13</sup>	10 <sup>13</sup>	10 <sup>14</sup>	10 <sup>13</sup>
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 <sup>6</sup> гц	0,02	0,03	0,015	0,015	0,02
Диэлектрическая проницаемость при 10 <sup>6</sup> гц . . . . .	7,5	7,0	7,0	6,5	7,7
Электрическая прочность для листов толщиной до 2 мм включительно, кв.мм . . . . .	20	35	25	35	35

В промышленности освоен выпуск ДСВ на основе анилино-феноло-формальдегидной смолы, модифицированной бутваром (Р-2м), двух марок — ДСВ-2-Р-2м и ДСВ-4-Р-2м, свойства которых приводятся в таблице на стр. 274—275.

Прессматериал ДСВ обладает хорошей текучестью, что позволяет получать изделия сложной формы с толщиной стенки до 0,2—0,3 мм.

**Прессматериалы типа РСТ.** Представляют собой порошкообразные продукты совмещения феноло-формальдегидных смол и других полимеров с мелко нарубленным стеклянным волокном.

Выпускаемый в промышленности пресспорошок Фенолит РСТ предназначен для изготовления различных изделий, применяемых в радиоэлектронике и электронной технике, а также изделий с повышенной стойкостью к воде и агрессивным средам.

**Предварительно смешанные материалы (премиксы).** Представляют собой пастообразные композиции на основе смол контактного типа, рубленых стеклонитей и других наполнителей.

Перерабатываются при сравнительно низких давлениях и температурах в изделия различного профиля. В промышленности освоен выпуск премикса на основе ненасыщенной полиэфирной смолы марки ПСК-1.

**Предварительно пропитанные материалы (препреги).** В отличие от премиков выпускаются в виде рулонов. Получаются на основе стеклотканей или стеклохолстов и предназначаются для изготовления крупногабаритных деталей повышенной прочности методом прямого прессования.

**Прессматериалы на основе стеклотканей и обычных резольных смол.** Представляют собой в основном полуфабрикаты для получения стеклотекстолитов на основе стеклотканей и различных связующих.

Получаются пропиткой стеклотканей на пропиточных машинах вертикального типа.

**Прессматериалы на основе холста марки ХЖКН.** Эти рулонные прессматериалы получают на основе холстов из непрерывных нитей, вырабатываемых так называемым однопроцессным способом (при варке стекла, минуя процесс получения стеклошариков).

Для производства прессматериалов используются феноло-формальдегидные смолы, наносимые на холст в порошкообразном виде.

Разработано получение рулонного прессматериала в едином цикле однопроцессного способа, начиная от варки стекла и кончая получением готового прессматериала с полной механизацией процесса.

В таблице на стр. 274—275 приводятся основные виды прессматериалов и свойства стеклопластиков на их основе.

### Стеклотекстолиты

Стеклотекстолиты представляют собой преимущественно листовые слоистые стеклопластики, полученные на основе стеклотканей, пропитанных тем или иным связующим, горячим прессованием пакетов, набранных из нарезанного на листы рулонного прессматериала, на этажных гидравлических прессах. Оптимальное содержание связующего составляет 30—40 вес. %. Толщина листа определяется наборным коэффициентом листов пропитанной ткани. Режимы прессования определяются заранее в зависимости от вида смолы и толщины изделия (температура, давление, количество подпрессовок, продолжительность выдержки).

Для обычных или модифицированных феноло-формальдегидных смол давление прессования составляет не менее 40 кг/см<sup>2</sup>, максимальная температура прессования 140—150°С, продолжительность выдержки 7—8 мин на 1 мм толщины получаемого стеклотекстолита.

Благодаря сравнительно большому содержанию стекла стеклотекстолиты обладают высокой механической прочностью и применяются в качестве конструкционных материалов. Прочностные характеристики стеклотекстолитов могут изменяться в зависимости от плотности стеклонитей по основе или утку ткани, их метрического номера, вида переплетения, поверхностной обработки, метода изготовления листов и др. Однако коэффициент использования суммарной прочности элементарных волокон в стеклотекстолитах обычно не превышает 50—60%, вследствие чего их прочность при растяжении значительно ниже предельно возможной. Предел прочности стеклотекстолита при растяжении в направлении основы или утка ткани определяется по формуле:

$$\sigma_{\text{сп. (о, у)}} = \frac{P n \Delta_{\text{o, y}} N}{t 10} K$$

где  $\sigma_{\text{сп. (о, у)}}$  — прочность стеклотекстолита вдоль основы или утка, кг/см<sup>2</sup>;  $P$  — прочность (крепость) элементарного волокна, кг;  $n$  — число элементарных волокон в нити;  $\Delta_{\text{o, y}}$  — плотность нитей в ткани по основе или утку;  $N$  — число слоев ткани в стеклотекстолите;  $t$  — толщина стеклотекстолита, см;  $K$  — коэффициент использования суммарной прочности волокон, устанавливаемый экспериментально, %.

Практика показывает, что за счет изменения структуры тканей (применение тканей сатинового плетения вместо полотняного или тканей кордной структуры) можно несколько повысить коэффициент суммарной прочности волокон.

Значительное влияние на прочность стеклотекстолитов оказывает вид связующего и состояние поверхности стекла в наполнителе. Наиболее прочные материалы образуются на основе модифицированных эпоксидных смол.

## Физико-механические свойства прессматериалов

Марка прессматериала	ГОСТ или ТУ	Связующее	Внешний вид	Плотность, г/см <sup>3</sup>	
АГ-4в	ГОСТ 10087-62	То же	Волокнит, брикет	1,7-1,9	
ДСВ-2-Р-2м л о п	МРТУ 6-11-74-67	»	Сыпучий игольчатый материал	1,7-1,85	
				1,7-1,85	
				1,7-1,85	
ДСВ-4-Р-2м л о п	-	»	То же	1,7-1,85	
				1,7-1,85	
				1,7-1,85	
РСТ	ВТУ П-294-64	Феноло-формальдегидная смола	Пресс порошок	-	
П-50с	ТУ МБО.023.051	Модифицированная феноло-формальдегидная смола	Лента	2,0	
П-75с	»	То же	»	2,0	
АГ-4ЛС	ТУ МБО.023.053	»	»	-	
33-18с	ТУ МБО.023.040	Модифицированная эпоксидная смола	»	1,9	
33-18в	ТУ МБО.023.040	То же	Волокнит	1,9	
П-2-1	ТУ МБО.023.084	»	Лента	-	
П-1-2	ТУ МБО.023.105	Термореактивное связующее	Волокнит	1,95	
П-2-3	ТУ МБО.023.085	Модифицированная эпоксидная смола	Лента	2,0	
П-2-5	ТУ МБО.023.112	То же	»	2,0	
П-2-6в	ТУ МБО.023.099	»	Волокнит	2,0	
П-2-6с	ТУ МБО.023.099	»	Лента коричневого цвета	2,0	
П-2-7с	ТУ МБО.023.065	Эпоксидно-фенольная смола	Лента желтого цвета	-	
П-3-1	ТУ МБО.023.096	Модифицированная феноло-формальдегидная смола	Куски неопределенной формы	2,5	

## и стеклопластиков на их основе

Удельная прочность, кг/см <sup>2</sup>			Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup>	Темперостойкость по Мартену, °С	Удельное электрическое сопротивление		Температура диэлектрических потерь при 10 <sup>6</sup> гц	Диэлектрическая проницаемость при 10 <sup>6</sup> гц	Электрическая прочность при 50 гц, кВ/мм	Применение
при растяжении	при изгибе	при сжатии			объемное, ом·см	поверхностное, ом				
5 000	2 500	-	150	280	10 <sup>12</sup>	10 <sup>12</sup>	0,05	5,0	13	Для конструктивных деталей
800	1 200	1 300	30	280	10 <sup>12</sup>	10 <sup>12</sup>	0,05	8,0	13	Для конструктивных и электротехнических деталей
-	1 600	1 300	45	280	10 <sup>12</sup>	10 <sup>12</sup>	0,05	8,0	13	То же
800	2 300	1 300	60	280	10 <sup>12</sup>	10 <sup>12</sup>	0,05	8,0	13	»
-	2 800	1 300	80	280	10 <sup>12</sup>	10 <sup>12</sup>	0,05	8,0	13	»
-	1 200	1 300	35	280	10 <sup>12</sup>	10 <sup>12</sup>	0,05	8,0	13	»
-	2 000	1 300	50	280	10 <sup>12</sup>	10 <sup>12</sup>	0,05	8,0	13	»
-	2 700	1 300	70	280	10 <sup>12</sup>	10 <sup>12</sup>	0,05	8,0	13	»
-	600	-	-	110	10 <sup>13</sup>	10 <sup>13</sup>	0,06	-	-	Для электротехнических деталей
2 000	1 800	-	400	200	-	-	-	-	-	Для конструктивных деталей
6 500	1 500	-	500	120	-	-	-	-	-	То же
2 500	1 500	-	150	-	-	-	0,04	5,0	-	Для электротехнических деталей
9 000	6 000	-	600	190	10 <sup>14</sup>	10 <sup>14</sup>	0,01	5,0	20	Для высокопрочных деталей
-	2 000	1 500	200	180	10 <sup>14</sup>	10 <sup>14</sup>	0,01	5,0	20	Для конструктивных деталей
10 000-11 000	-	3 400-3 500	600-700	-	-	-	-	-	-	Для высокопрочных деталей
-	800	1 200	18	200	10 <sup>12</sup>	10 <sup>12</sup>	0,02	5,6	12	Для конструктивных деталей
13 000	7 500	-	600	280	10 <sup>15</sup>	10 <sup>15</sup>	0,02	6,0	13	Для высокопрочных деталей
10 000	6 500	4 000	-	-	-	-	-	-	-	То же
-	1 500	1 000	150	220	-	-	-	-	-	Для конструктивных и электротехнических деталей
9 000	5 000	2 500	400	280	10 <sup>15</sup>	10 <sup>15</sup>	0,22	5,5	-	То же
9 000-12 500	7 000-8 000	3 000-4 000	450-600	-	-	-	-	-	-	Для высокопрочных деталей
-	-	-	35	-	10 <sup>10</sup>	10 <sup>10</sup>	0,04	12,4-15,2	-	Для конструктивных и радиотехнических деталей

Марка прессматериала	ГОСТ или ТУ	Связующее	Внешний вид	Плотность $г/см^3$
П-3-3	ТУ МБО 023.144	Модифицированная кремнийорганическая смола	Волокнит	—
П-3-3	ТУ МБО.023.144	То же	»	—
П-5-2	МРТУ 6-05-1041-67	»	»	1,63—1,8
П-5-5	ТУ МБО.023.115	»	»	1,8
П-5-6	ТУ МБО.023.114	»	»	1,8
П-5-7	ТУ МБО.023.124	»	Пропитанная ткань	1,75—1,85
П-5-8	ТУ МБО.023.123	»	То же	1,8
П-5-9	ТУ МБО.023.174	»	Волокнит	1,5
П-5-12	ТУ МБО 023.182	»	»	1,3—1,5
П-5-13	ТУ МБО.023.183	»	Пропитанная ткань	1,3—1,5
РТП-100	ТУ МБО.023.090	Кремнийорганическая смола	Волокнит	1,75—1,90
РТП-170	МРТУ 6-05-1087-67	То же	»	1,7—1,85
РТП-200	МБО.023.138	»	»	1,75—1,85
ПСК-1	ТУ СП-31-66	Полиэфирная смола	Паста	—
Фенолит РСГ	ГОСТ 5689-65	Феноло-формальдегидная смола	Порошок	—
ВЭП-1	ВТУ П-35-704-64	Феноло-кремнийорганическая смола	Лента	1,7—1,8

Продолжения

Предел прочности, $кг/см^2$			Удельная ударная вязкость $кг·см/см^2$	Теплостойкость по Мартенсу $°C$	Удельное электрическое сопротивление		Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^6$ гц	Диэлектрическая проницаемость при $10^6$ гц	Электрическая прочность при $50$ гц, $кв/мм$	Применение
при растяжении	при изгибе	при сжатии			объемное $ом·см$	поверхностное $ом$				
—	400	250	40	—	$10^{13}$	$10^{13}$	0,01	4,5	—	Для деталей, работающих при повышенной температуре
—	400	250	100	—	$10^{13}$	$10^{13}$	0,01	4,5	—	То же
—	1 400	1 300	50	—	—	—	—	—	—	»
—	1 200	200	90	—	—	—	—	—	—	»
—	1 500	1 200	50	—	—	—	—	—	—	»
—	1 800	1 200	—	—	—	—	—	—	—	Для деталей, работающих при высокой температуре кратковременно
—	900	700	—	—	—	—	—	—	—	То же
—	700	900	—	—	—	—	—	—	—	»
—	700	1 300	—	—	—	—	—	—	—	»
800	—	—	—	—	—	—	—	—	—	»
—	700	500	100	200	$10^{13}$	$10^{13}$	0,03	5—6	5	Для электродеталей, работающих при высокой температуре
—	700	400	60	—	$10^{12}$	$10^{12}$	0,025	4,5—5,5	4,5	То же
—	600	600	80	—	$10^{14}$	$10^{14}$	0,015	3,6—4,4	6,0	»
400	800	900	—	180	$10^{13}$	$10^{13}$	0,02	4,2	10,0	Для деталей различного назначения
250—400	500—600	1 100—1 700	—	110—125	—	—	—	—	—	Для электро-радиодеталей
—	1 400	—	—	—	—	—	0,003	3,5—5,0	—	Для конструктивных деталей

Физико-механические и электрические свойства стеклотекстолитов

Показатели	Стеклотекстолит электротехнический листовый (ГОСТ 12652-67)						
	СТ	СТ-Б	СТ-1	СТ-П	СТЭФ	СТЭФ-1	СТК
Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,6-1,85	1,6-1,85	1,6-1,85	1,6-1,9	1,6-1,9	1,8-1,9	1,6-1,8
Содержание смолы, вес. %	-	-	-	-	-	-	-
Толщина, мм . . . . .	1,5-30	1,5-30	0,5-30	0,5-3,5	1,5-30	0,5-30	0,5-30
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>							
при растяжении . . . . .	700 (по утку)	700 (по утку)	750 (по утку)	1000 (по утку)	1750 (по утку)	2000 (по утку)	900 (по утку)
« сжатия . . . . .	-	-	-	-	-	-	-
« изгиба . . . . .	950 (по утку)	950 (по утку)	1000 (по утку)	-	2200 (по утку)	2400 (по утку)	-
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> . . . . .	12-35	12-35	15-45	-	40-140	50-150	-
Теплостойкость по Мартену, °С . . . . .	185	185	185	-	185	185	225
Удельное электрическое сопротивление							
объемное, ом·см . . . . .	5·10 <sup>10</sup>	5·10 <sup>10</sup>	5·10 <sup>10</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>11</sup>
поверхностное, ом . . . . .	10 <sup>9</sup> -10 <sup>11</sup>	5·10 <sup>9</sup> -10 <sup>11</sup>	5·10 <sup>9</sup> -10 <sup>11</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>12</sup>	-
Тангенс угла диэлектрических потерь . . . . .	-	-	-	-	0,03 (при 50 гц)	0,03	-
Диэлектрическая проницаемость . . . . .	-	-	-	-	-	-	-
Электрическая прочность, кв/мм . . . . .	10-12	10-12	10-12	12	20	20	10-12

278

Стеклопластики

Продолжение

Показатели	Стеклотекстолит конструкционный (ГОСТ 10292-62)			СКМ-1 (ТУ ОЭП 503-001-57)	СК-ФР (ВТУ УХП 230-60)	ВФГС (ТУ 35.ХП.814-65)	СКМФ-20	СКМФ-50	СКМ-9	СКС-7
	КАСТ	КАСТ-В	КАСТ-Р							
Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .	Не более 1,9	Не более 1,85	Не более 1,85	Не более 1,77	Не более 1,8	1,63-1,75	-	-	-	-
Содержание смолы, вес. %	-	-	-	38-43	21-24	26,2-32	-	-	-	-
Толщина, мм . . . . .	0,5-1,2	0,5-35	1,5	0,5-2,5	0,5-30	0,8-35	-	-	-	-
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>										
при растяжении . . . . .	2700-3000 (по основе); 1600-1700 (по утку)	2100-2800 (по основе); 1100-1600 (по утку)	2800 (по основе); 1700 (по утку)	1600 (по основе)	3200 (по основе); 1600 (по утку)	3200-3400 (по основе); 1600 (по утку)	2000 (по основе); 3000 (по утку)	3200 (по основе); 3800 (по утку)	-	-
« сжатия . . . . .	-	400	-	-	-	785	3000-3500	1100-1900	-	900-1000
« изгиба . . . . .	-	1400*	-	400	1950	2500****	2000-3000	1800-2700	1200-1300	1700-2000
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> . . . . .	75** (по основе); 55 (по утку)	60-115*** (по основе); 50-85 (по утку)	70 (по основе); 60 (по утку)	60 (по основе); 55 (по утку)	90 (по основе); 60 (по утку)	90-125 (по основе); 65-100 (по утку)	200-250	200-250	170	90-100
Теплостойкость по Мартену, °С . . . . .	-	-	-	215	370	200-240	-	-	-	-
Удельное электрическое сопротивление										
объемное, ом·см . . . . .	-	-	-	10 <sup>12</sup> -10 <sup>13</sup>	8·10 <sup>13</sup>	3·10 <sup>13</sup>	10 <sup>15</sup>	2·10 <sup>15</sup>	2·10 <sup>15</sup>	2·10 <sup>15</sup>
поверхностное, ом . . . . .	-	-	-	10 <sup>13</sup> -10 <sup>14</sup>	1,2·10 <sup>14</sup>	-	10 <sup>15</sup>	2·10 <sup>15</sup>	5,9·10 <sup>15</sup>	2·10 <sup>14</sup>
Тангенс угла диэлектрических потерь . . . . .	-	-	-	0,001-0,01	0,033	0,007	0,003-0,004	0,0036	0,0032	0,0016
Диэлектрическая проницаемость . . . . .	-	-	-	4,1-4,9	4,18	5,3	3,6-4,5	4,8	3,8-4,0	4,3
Электрическая прочность, кв/мм . . . . .	-	-	-	11	3,25	-	5-10	-	4-6	5

\* Для толщины 15-35 мм.  
\*\* Для толщины 1,2 мм.  
\*\*\* Для толщины 1,2-4 мм.  
\*\*\*\* Для толщины 11-35 мм.

Стеклопластики

279

В качестве связующих для стеклотекстолитов электротехнического назначения чаще всего применяют обычные и модифицированные феноло-формальдегидные и кремнийорганические смолы (например, метилфенилполисилоксаны), модифицированные эпоксидными или глифталевыми смолами.

Для стеклопластиков конструкционного назначения применяются модифицированные поливинилбутиралем феноло-формальдегидные смолы (лаки БФ), совмещенные эпоксидные смолы, полиэфиракрилаты и некоторые другие.

В качестве наполнителей для стеклотекстолитов электротехнического назначения используются тонкие ткани и сетки (преимущественно марки Э). Для конструкционных стеклотекстолитов применяются ткани марок Т, АСТТ(б)-С и др.

В таблице на стр. 278—279 приведены характеристики стеклотекстолитов некоторых марок.

#### Стеклопластики на основе термопластичных смол

В последние годы получило развитие важное направление в производстве стеклопластиков — армирование стекланным волокном термопластов с получением гранулированных материалов, перерабатываемых в изделия обычным способом — литьем под давлением.

Введение до 30% стекловолоконного наполнителя в некоторые термопласты значительно улучшает их эксплуатационные характеристики (прочность, модуль упругости, морозостойкость и др.) и позволяет применять их в качестве конструкционных материалов для изготовления ответственных деталей.

В настоящее время производство стеклопластиков на основе полиамидов осуществляется двумя способами — введением рубленого стекловолокна непосредственно при синтезе полимера и введением непрерывного волокна в полимер при его экструзии с последующим гранулированием продукта.

Ниже приведены характеристики армированных полиамидов.

#### Свойства стеклопластиков на основе полиамидов

Показатели	Полиамид П-68*	Капрон марки Б*	СП-68 (МРТУ 6-11-81-67)	КС-30/9 (ТУ П-385-64)	П-68ВС (ТУ 510-66)
Плотность, г/см <sup>3</sup> . . .	1,1	1,14	1,28—1,3	1,3—1,32	1,35
Прочность, кг/см <sup>2</sup>					
при растяжении	400—500	500—800	1200—1400	1300—1600	1000—1400
» сжатии . . .	700—900	900—950	1100—1200	1100—1200	1000—1200
» изгибе . . .	800—1000	700—1000	1800—2200	2100—2500	1500—2000
» срезе . . .	500	530—550	700—750	700—750	800

Продолжение

Показатели	Полиамид П-68*	Капрон марки Б*	СП-68 (МРТУ 6-11-81-67)	КС-30/9 (ТУ П-385-64)	П-68ВС (ТУ 510-66)
Модуль упругости, кг/см <sup>2</sup>					
при растяжении	1,2 · 10 <sup>4</sup>	2 · 10 <sup>4</sup>	6,4 · 10 <sup>4</sup>	7,1 · 10 <sup>4</sup>	6,0 · 10 <sup>4</sup>
» изгибе . . .	1,9 · 10 <sup>4</sup>	2,0 · 10 <sup>4</sup>	5,5 · 10 <sup>4</sup>	5,4 · 10 <sup>4</sup>	9,0 · 10 <sup>4</sup>
Твердость по Бригеллю, кг/мм <sup>2</sup> . . .	12—15	12—15	20—21	20—21	20—25
Теплостойкость по Мартенсу, °С . . .	50—60	50—55	180—200	195—205	140—170
Усадка, % . . . . .	1,2—2,0	2—2,5	0,4—0,5	0,45	0,4—0,6

\* Даны для сравнения.

Очень перспективен выпуск стеклопластиков на основе сополимеров стирола, поликарбоната, полиформальдегида, полипропилена и некоторых других термопластов.

#### ПРОИЗВОДСТВО ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ НА ОСНОВЕ НЕНАСЫЩЕННЫХ ПОЛИЭФИРНЫХ СМОЛ

Производство стеклопластиков на основе полиэфиров имеет очень важное значение. В ближайшие годы выпуск полиэфирных стеклопластиков превысит выпуск стеклопластиков на основе других видов связующего. Это обусловливается технологическими особенностями ненасыщенных полиэфиров и их эксплуатационными свойствами.

Ниже рассматриваются некоторые технологические принципы изготовления изделий на основе ненасыщенных полиэфиров.

#### Метод контактного формования

Метод контактного формования широко распространен в производстве крупногабаритных изделий или изделий сложных форм. Пользуясь этим методом, можно сравнительно легко и быстро изготавливать такие изделия, как корпус катера с палубой и надстройками. При этом применяются дешевые формы из дерева или других материалов, например гипса, стеклопластика, керамики, металла и т. п.

При контактном формовании одна из поверхностей изделия соприкасается непосредственно с поверхностью формы, другая — открыта. В зависимости от того, какая поверхность изделия — внутренняя или внешняя должна быть гладкой, выбирают форму

в виде пуансона или матрицы. Поверхность формы должна быть отполирована, если требуется получить ее зеркальной.

Контактное формование обычно начинают с подготовки поверхности формы — ее тщательно обжаривают и наносят так называемый разделительный слой, которым обычно служит раствор поливинилового спирта в смеси этилового спирта и воды. При высыхании растворителя поливиниловый спирт образует разделительную пленку, препятствующую прилипанию смолы к поверхности формы. Затем на высохший разделительный слой наносят прослойку полиэфирной смолы с добавками инициатора и ускорителя, способного к быстрой желатинизации (толщина слоя 0,5—1 мм), служащую в дальнейшем внешней стороной изделия.

После желатинизации этого слоя приступают к формованию стеклопластиковой оболочки изделия. Для этого раскроенный стекловолокнистый материал выкладывают и разравнивают специальными вальками поверх декоративного слоя и тщательно пропитывают полиэфирной смолой при помощи кисти или другим способом. После этого накладывают второй слой наполнителя, которым обычно служат холсты или ткани из стеклянного волокна, вновь их пропитывают смолой и прикатывают вальками. Наслоение ведут до тех пор, пока не будет достигнута заданная толщина изделия. Таким образом, получается конструкция из слоистого стеклопластика.

Если в полиэфирную смолу входит ускоритель и инициатор, то отверждение ее происходит при комнатной температуре. Процесс отверждения можно ускорить нагреванием слоистой массы. При стыковании заготовок стекловолокна, как правило, применяется соединение внахлест. Величина нахлестки выбирается в зависимости от условий эксплуатации изделия, но не менее 20 мм при работе слоев на сдвиг.

После отверждения смолы изделие подвергают заключительной механической обработке, а освобожденную форму вновь возвращают в производственный цикл. Обрезка краев изделия до нужных размеров осуществляется вращающимися дисками из высокотвердых материалов или виброножами.

#### Напыление стеклопластика на форму

Метод контактного формования с напылением осуществляется с помощью специальных приспособлений — пистолетов-напылителей, выбрасывающих на форму стекловолокнистый наполнитель (в виде отрезков первичных нитей стекловолокна) одновременно со связующим. При этом инициатор и ускоритель можно подавать в связующее отдельно; в случае необходимости можно вводить также тиксотропную добавку. Этот метод имеет ряд недостатков: загрязненность рабочего места, антисанитарные условия работы, значительные потери материалов.

Метод контактного формования с напылением рекомендуется использовать при покрытии больших поверхностей, например крупных бетонных конструкций, а также при конвейерном способе изготовления крупногабаритных изделий в закрытом пространстве.

#### Метод предварительного формования заготовок из стекловолокнистого наполнителя

По этому методу предварительно формуют заготовку из стекловолокна, которую затем пропитывают смолой и формуют. Заготовки получают обычно напылением на перфорированную (сетчатую) форму рубленого стекложгута с одновременным нанесением клеящего вещества (например, поливинилацетатной эмульсии). Из формы отсасывается воздух и вращением ее достигают равномерного нанесения слоя рубленых нитей определенной толщины. После сушки полученную склеенную заготовку из рубленых нитей снимают с перфорированной формы и направляют в матрицу пресса. Затем добавляют определенное количество полиэфирной смолы, плиты пресса смыкают и получают изделия.

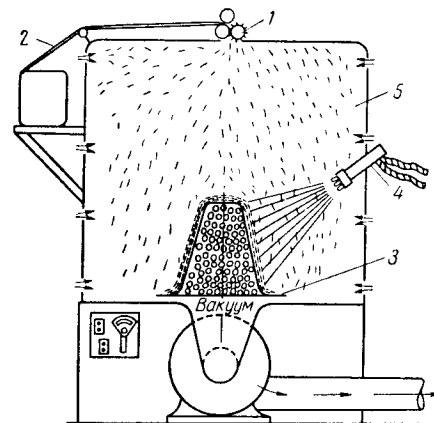


Рис. 5. Схема установки для получения заготовок из стеклопластика: 1 — рубящее устройство; 2 — стекложгуты; 3 — стол и перфорированная форма; 4 — распылитель клеящего вещества; 5 — камера напыления волокон.

По другому варианту заготовки получают на установках закрытого типа. Установки имеют вращающийся стол для перфорированных форм, смонтированный на телескопическом устройстве. Одновременно с рубленным волокном на перфорацию подается клеящий раствор. Затем на форму насасывается волокно.

После сушки полученной заготовки, ее снимают с перфорированной формы и укладывают в матрицу пресса. Затем добавляют определенное количество полиэфирной смолы и смыкают плиты пресса. На рис. 5 показана схема установки для получения заготовок. Заготовки из стекловолокна можно получать и другими методами, например осаждением рубленых волокон в растворе клеящего вещества с последующей сушкой полученного слоя на перфорированной форме.

Иногда непосредственно выкраивают заготовки из стекломатов, для чего применяют прошитый (мягкий) мат. Заготовку укладывают в матрицу, добавляют полиэфир и смыкают плиты пресса.

Метод предварительного формования заготовок позволяет получать более прочные изделия и с более точными размерами, чем метод контактного формования.

#### Методы формования изделий под давлением

Для улучшения качества изделий часто применяют обжатие формованного изделия в процессе отверждения полиэфирной смолы при помощи различных устройств.

Большое распространение получил так называемый способ вакуумного мешка, заключающийся в том, что после выкладки по форме стекловолоконистого наполнителя, пропитанного смолой, он покрывается тонкой пленкой, герметически прижимаемой к фланцам формы. После этого через специальные каналы из пространства между пленкой и поверхностью изделия отсасывается воздух. Пленка плотно обжимает изделие в момент отверждения смолы. В качестве пленочного материала обычно используют специальные сорта резин.

Рис. 6. Принципиальная схема получения изделий методом просасывания связующего:

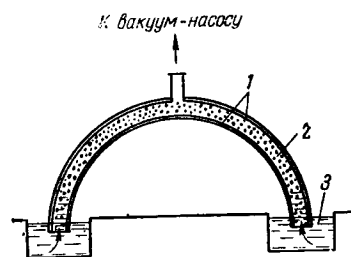
1 — формы; 2 — стекловолоконистый наполнитель; 3 — связующее.

Чтобы предотвратить контактирование резины со смолой, иногда применяют специальную прокладку (гибкий пуансон) из тонкого стеклопластика, выполненную по форме изделия и помещаемую между открытой частью сформованного изделия и резиновым мешком. При этом у изделия получается гладкая поверхность без отпечатка складок резинового мешка.

#### Метод просасывания смолы

Этот способ, называемый иногда методом двойных форм, применяется для формования крупногабаритных изделий, например, лодок. Он заключается в том, что выложенный на матрицу или пуансон стекловолоконистый наполнитель накрывают второй формой и между матрицей и пуансоном через стекловолоконистый материал просасывают полиэфирную смолу. Смолы вытесняет воздух из межволоконистого пространства и заполняет поры; в результате образуется сравнительно монолитное изделие. В смолу вводят такое количество инициатора и ускорителя, чтобы срок ее жизни соответствовал бы циклу получения изделия. После разъема форм и небольшой механической обработки изделие готово.

На рис. 6 представлена принципиальная схема данного процесса.



#### Механизированные способы производства некоторых типовых изделий из стеклопластиков

Применение смол, отверждающихся без выделения летучих, позволило осуществить ряд непрерывных процессов получения некоторых видов изделий из стеклопластиков, например листов, профилей, труб и различных крупногабаритных изделий.

#### Производство плоских и гофрированных листов из стеклопластиков непрерывным способом

Установка для производства плоских и гофрированных плит из стеклопластиков бесконечной длины содержит три основных узла. Первый узел предназначен для получения слоя холста из рубленых

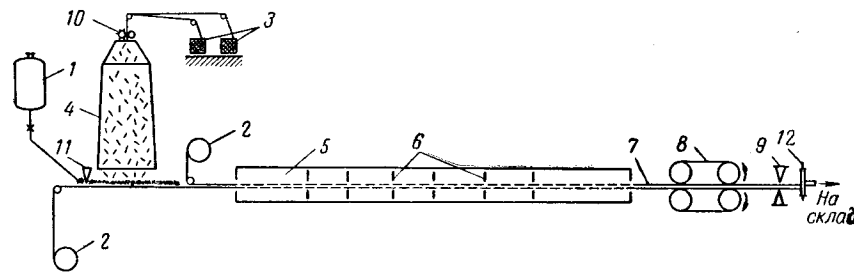


Рис. 7. Схема установок для изготовления листового полиэфирного стеклопластика с продольным гофром:

1 — дозатор связующего; 2 — целлофан; 3 — стекложгут; 4 — камера осаждения рубленых нитей; 5 — камера формования гофра и полимеризации смолы; 6 — формующие гребенки; 7 — стеклошифер; 8 — тянущее устройство; 9 — продольно-режущее устройство; 10 — поперечно-режущее устройство; 11 — калибрующее устройство для нанесения смолы; 12 — поперечно-режущее устройство.

нитей и пропитки его связующим. Второй узел оборудован устройством для формования листа и отверждения смолы. Третий узел служит для обработки получаемого листа и превращения его в товарную продукцию.

Схема установки для получения продольно гофрированных или плоских листов показана на рис. 7.

Нити жгута нарубаются на отрезки и укладываются на движущуюся целлофановую или полиамидную пленку с предварительно нанесенным слоем полиэфирной смолы горячего отверждения. После наложения второго разделительного слоя движущийся пакет поступает в полимеризационную камеру. При прохождении специального формующего устройства листу придается определенная форма. По выходе из полимеризационной камеры лист проходит тянущее устройство и поступает на обрезку. Нарезка листов и обрезка их краев производятся автоматически. Полиамидная пленка перед нарезанием листа снимается и повторно используется в цикле.



Листовые гофрированные полиэфирные стеклопластики выпускаются различной высоты и толщины шага волны. Листы могут быть окрашены в самые разнообразные цвета. Светопрозрачность листов достигает 80%, предел прочности при растяжении —  $1000 \text{ кг/см}^2$ .

Применение специальных самозатухающих смол высокой светопрозрачности и светостабилизаторов позволяет широко использовать стеклопластики в строительстве.

Разновидностью указанного способа является производство листов с поперечной волной, которая получается при помощи специального формующего устройства типа гусениц.

Разработано оборудование для получения светопрозрачных плоских листов, формируемых на стальной непрерывно движущейся ленте.

#### Производство профильных изделий методом протяжки

Методом протяжки получают разнообразные профильные изделия различной формы поперечного сечения — прямоугольники, уголки, тавры, швеллера, цилиндры, трубки и т. п. Эти изделия имеют высокую прочность при растяжении вдоль волокон, достигающую  $130 \text{ кг/мм}^2$  и выше.

Стекложгуты после прохождения пропиточной ванны со связующим направляются в формующую головку, в которой им придается определенная форма сечения. Здесь же происходит частичная полимеризация смолы. Число стекложгутов выбирается так, чтобы при уплотнении их в формующей головке было возможно осуществить протяжку через канал головки с сохранением определенного содержания связующего.

Дальнейшую полимеризацию смолы проводят в тепловой камере, длина которой определяется скоростью протяжки.

Протяжка профилей осуществляется тянущим устройством, установленным на выходе изделия из тепловой камеры. В конце установки могут находиться приспособления для механической поверхностной обработки профилей и нарезное устройство. Для поперечной обмотки некоторых профилей по выходе из формующей головки иногда приспособляют намоточный механизм.

Профили из стеклопластиков применяют в производстве электроизолирующих деталей (рейки, клинья), спортивного инвентаря (удилища, лыжные палки) и конструкционных стержней.

#### Изготовление изделий методом намотки

Метод намотки стекловолокнистого армирующего материала на оправку с предварительной, одновременной или последующей пропиткой связующим и дальнейшим его отверждением является одним из перспективных процессов механизированного производства мно-

гих видов изделий, который может осуществляться в периодическом или непрерывном исполнении.

Этот метод целесообразно применять для изготовления различных труб, емкостей, конусов и изделий, имеющих контур тел вращения. Соединив вместе несколько оправок и намотав на них материал, при окончательном отверждении смолы можно сделать разрез по линии соединения форм и получить одновременно два или более однотипных изделия.

В настоящее время разработаны способы получения труб сравнительно высокой механической прочности непрерывным и периодическим методом. Нанесением специального футеровочного слоя их герметизируют и придают химическую стойкость. Однако изготовление изделий методом намотки осуществляется пока в полупромышленном масштабе. Это объясняется различными причинами, из которых особое значение приобретают вопросы экономики и длительной прочности.

Трубы из стеклопластиков используют в условиях действия агрессивных сред и при повышенном внутреннем давлении или при повышенной температуре, т. е. там, где металлические трубы или трубы из термопластичных материалов быстро корродируют либо их применение практически невозможно. При этом большое значение имеет соединение труб и их разводка.

Трубы диаметром до  $150 \text{ мм}$  используются для изготовления различных конструкций (лестницы, штанги), применяемых при работе с высоковольтными сетями.

Методом намотки из стеклопластиков можно получать корпуса реактивных двигателей, железнодорожные цистерны, трубы для нефтегазопроводов, различного вида емкости для химически агрессивных продуктов и т. д.

#### Механическая обработка стеклопластиков

Стеклопластики могут подвергаться всем видам механической обработки, хотя она и сопряжена с определенными трудностями. Это в первую очередь высокое абразивное действие стекла, вызывающее сравнительно быстрый износ инструмента. Неправильно выбранные режимы резания слоистых стеклопластиков могут привести также к расслаиванию изделий. Образующаяся при механической обработке стеклопластиков пыль оказывает вредное действие на кожный покров и дыхательные пути человека.

Сравнительно тонкие листы из стеклопластика (не более  $2,5 \text{ мм}$ ) удобно резать гильотинными или вибрационными ножницами. При большом содержании связующего в стеклопластике можно использовать ленточные пилы с цементированными зубьями. Резку стеклопластиков производят также дисковыми пилами, например медными кругами с алмазными вставками. При резке стеклопластиков используют абразивные круги, например карборундовые.

В процессе резки необходимо интенсивно охлаждать инструмент и обрабатываемую поверхность изделия путем обдува, либо (если это не приводит к ухудшению эксплуатационных свойств изделия) водой или эмульсиями.

Стеклопластики толщиной до 2,5 мм можно штамповать с помощью штампов, изготовленных из специальных сталей.

При сверловке стеклопластиков толщиной до 5 мм применяют сверла из быстрорежущей стали. Более износостойкими являются карбидные и азотированные сверла. Во избежание их перегрева рекомендуется более частый их вывод из отверстия. Особую осторожность следует соблюдать при сверлении стеклопластиков вдоль слоев наполнителя, так как при этом возможно расслоение изделия.

Фрезеровку, точение и другие виды механической обработки можно осуществлять на соответствующих станках резцами и фрезами из быстрорежущей стали или инструментом с карбидными вставками. Обрезку припусков изделий из полиэфирных стеклопластиков по кромкам можно производить электролобзиком. С помощью вариофлекса зачищают поверхность стеклопластика, пользуясь абразивными, фибровыми или войлочными (с наклейкой наждачной бумаги) кругами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Киселев Б. А., Стеклопластики, Госхимиздат, 1961.
2. Андреевская Г. Д., Высокопрочные ориентированные стеклопластики, Изд. «Наука», 1966.
3. Сб. «Непрерывное стеклянное волокно» под ред. М. Г. Черняка, Изд. «Химия», 1965.
4. Гуляев А. С., Новый стекловолокнистый прессматериал АГ и его изготовление, ФВНИТИ, М., 1959.
5. Сб. «Некоторые новые виды пластмасс», МДНТП им. Дзержинского, № 4, 1961.
6. Егоров Н. Г., Щеглов Л. Л., Львов Б. С., Стекловолокнистые прессматериалы, Бюлл. техн.-экон. информации, № 10, ГОСИНТИ, (1966).
7. Сб. «Термореактивные прессовочные материалы», ВИАМ ОНТИ, 1967.
8. Сб. «Производство и применение стеклопластиков и изделий из них», ЛДНТП, 1968.
9. Сб. «Прессовочные и литьевые материалы», МДНТП им. Дзержинского, 1968.
10. Стеклопластики, перевод с англ. под ред. Я. Д. Аврасина, Издательство, 1961.

#### ПОЛИАРИЛАТЫ

**П**олиарилаты представляют собой сложные гетероцепные полиэферы на основе двухатомных фенолов и ароматических дикарбоновых кислот.

Полиарилаты могут быть получены взаимодействием дианетатов двухатомных фенолов с дикарбоновыми кислотами, из диалкиловых эфиров дикарбоновых кислот и двухатомного фенола, взаимодействием хлорангидрида дикарбоновой кислоты с двухатомным фенолом или фенолятом двухатомного фенола.

В промышленности полиарилаты получают из дихлорангидридов ароматических дикарбоновых кислот и двухатомных фенолов двумя методами:

1) поликонденсацией в инертной среде (180—220° С) в высококипящем растворителе (динил, дитоллилметан, совол, хлорнафталин и др.);

2) межфазной поликонденсацией при комнатной температуре.

В качестве сырья для получения полиарилатов обычно используют дихлорангидриды изофталевой или терефталевой кислот, а также смесь указанных дихлорангидридов; фенолфталеин, дифенилолпропан или Na-соль дифенилолпропана.

Полиарилаты выпускаются следующих марок.

**Полиарилат Д-3 (ТУ НИИПМ № П-467—66).** Представляет собой сложный гетероцепной полиэфир линейного строения (мол. вес 70 000—100 000), полученный методом межфазной поликонденсации при взаимодействии дифенилолпропана с дихлорангидридами изофталевой и терефталевой кислот. По внешнему виду это гранулы светло-желтого или коричневого цвета или мелкодисперсный порошок.

Полиарилат Д-3 должен удовлетворять следующим требованиям:

Удельная вязкость 0,5-ного раствора полимера в смеси тетрагидроэтана с фенолом (40:60), не менее	0,8
Содержание, %, не более	
свободного хлора	0,1
влаги	0,2
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup> , не менее	
при растяжении	100
» статическом изгибе	1000
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> , не менее	20
Удельное объемное электрическое сопротивление, ом·см, не менее	1·10 <sup>13</sup>

Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^3$ гц, не более . . . . .	-0,015
Диэлектрическая проницаемость, не более . . . . .	-3,5
Электрическая прочность, кв/мм, не менее . . . . .	100
Температура плавления, °С . . . . .	275—280

Полиарилат Д-3 применяется для изготовления литьем под давлением или литьевым прессованием изделий конструкционного назначения, применяемых в электротехнической промышленности, радиоэлектронике, машиностроении, приборостроении, а также для изготовления антифрикционных материалов. Верхний предел рабочих температур 155—175°С.

Полиарилат Д-3 хранят в запаянных бидонах из белой жести или заваренных полиэтиленовых мешках, уложенных в крафтцеллюлозные мешки в сухом закрытом складском помещении\*.

**Полиарилат Д-4 (ТУ НИИПМ № П-436—65).** Представляет собой полиэфир, полученный при взаимодействии дифенилолпропана с дихлорангидридами изофталевой и терефталевой кислот по методу межфазной поликонденсации (мол. вес 50 000—70 000). Выпускается двух марок:

марка А — в виде мелкодисперсного или комкообразного белого порошка;

марка Б — в виде гранул без воздушных пузырей и посторонних механических включений, от желтого до светло-коричневого цвета.

Полиарилат Д-4 должен удовлетворять следующим требованиям:

	Марки	
	А	Б
Удельная вязкость 0,5%-ного раствора полимера в смеси тетрахлорэтана с фенолом (40:60), не менее . . . . .	0,5	0,5
Содержание, %, не более		
свободного хлора . . . . .	0,1	0,1
минерального остатка . . . . .	0,2	0,1
влаги . . . . .	0,2	0,2
Предел прочности пленки* при растяжении, кг/см <sup>2</sup> , не менее . . . . .	500	700
Относительное удлинение пленки при разрыве, %, не менее . . . . .	10	5
Удельное объемное электрическое сопротивление при 20°С, ом·см, не менее . . . . .	$1 \cdot 10^{15}$	$1 \cdot 10^{16}$
Тангенс угла диэлектрических потерь, не более		
при $10^3$ гц . . . . .	$2,5 \cdot 10^{-2}$	—
» $10^4$ гц . . . . .	—	$8 \cdot 10^{-3}$
Электрическая прочность, кв/мм, не менее . . . . .	100	100
Температура плавления, °С . . . . .	255—275	250—265

\* Испытание проводится на пленке, полученной из раствора (для марки А) и экструзией (для марки Б).

\* Условия хранения других полиарилатов аналогичны условиям хранения полиарилата Д-3.

Полиарилат Д-4 марки А применяют для изготовления термостабильных при 175—200°С в течение 5000 ч пленочных диэлектриков, получаемых методом полива из раствора, лаков, пропитывающих составов, связующих для стеклопластиков, литьевых изделий, а также в качестве полупродукта для изготовления антифрикционных и абразивостойких материалов общего и специального назначения.

Полиарилат Д-4 марки Б применяется для изготовления тонкой (6—20 мк) конденсаторной пленки Д-4Э методом экструзии.

**Полиарилат Ф-2 (ТУ ИНЭОС и НИИПМ № 02—65).** Представляет собой сложный гетероцепной полиэфир на основе фенолфталеина и дихлорангидрида терефталевой кислоты.

Выпускается в виде мелкодисперсного порошка белого цвета без посторонних включений. Допускается наличие незначительного количества кусков размером не более  $10 \times 10$  мм.

Полиарилат Ф-2 должен удовлетворять следующим требованиям:

Приведенная вязкость 0,5%-ного раствора полимера в тетрахлорэтано при 25°С, не менее . . . . .	0,8
Содержание, %, не более	
летучих . . . . .	0,1
хлора . . . . .	Отсутствие
Зольность, %, не более . . . . .	0,12
Предел прочности пленки при растяжении, кг/см <sup>2</sup> , не менее . . . . .	800
Относительное удлинение пленки при разрыве, %, не менее . . . . .	30
Удельное объемное электрическое сопротивление, ом·см, не менее	
при 20°С . . . . .	$1 \cdot 10^{16}$
» 175°С . . . . .	$1 \cdot 10^{14}$
» 200°С . . . . .	$1 \cdot 10^{13}$
Диэлектрическая проницаемость при $10^3$ гц, не более . . . . .	3,5
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^3$ гц, не более . . . . .	$5-8 \cdot 10^{-3}$
Температура плавления, °С . . . . .	320—340

Полиарилат Ф-2 применяется для изготовления пленочных материалов электроизоляционного назначения, волокон, радиационно-стойких фильтрующих материалов, пропитывающих составов.

Изделия из полиарилата Ф-2 можно эксплуатировать при 200°С и кратковременно при 250°С.

**Полиарилат Ф-1.** Представляет собой полиэфир на основе фенолфталеина и дихлорангидрида изофталевой кислоты.

Выпускается в виде порошка белого цвета без посторонних включений, допускается наличие кусков размером  $10 \times 10$  мм.

Полиарилат Ф-1 предназначается для изготовления электроизоляционных деталей конструкционного назначения методом литьевого прессования. Верхний предел рабочих температур 200°С,

**Полиарилат Д-4С.** Представляет собой порошкообразный полиарилат Д-4 марки А, стабилизированный дибуоксидом титана. Должен удовлетворять следующим требованиям:

Плотность, $г/см^3$ , не более	1,217
Предел прочности, $кг/см^2$ , не менее	
при растяжении	500
» изгибе	600
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ , не менее	80
Удельное объемное электрическое сопротивление, $ом \cdot см$ , не менее	$1 \cdot 10^{11}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^3$ $гц$ , не менее	$1 \cdot 10^{-2}$
Температура плавления, $^{\circ}C$	250—260

Полиарилат Д-4С предназначается для получения литевых электроизоляционных изделий сложной конфигурации с высокой ударной прочностью, способных работать при температурах до  $180^{\circ}C$ .

Физико-механические свойства полиарилатов, полученных литевым прессованием, приведены ниже.

Показатели	Д-3	Д-4	Д-4С	Ф-1	Ф-2
Плотность, $г/см^3$	1,197	1,197	1,217	1,267	1,168
Предел прочности, $кг/см^2$					
при растяжении	850—900	450—500	500—600	350—450	400—450
» сжатии	900—1 200	800—1 000	900—1 100	600—700	800—900
» статическом изгибе	1 000—1 200	500—600	600—750	450—550	550—650
Модуль упругости при растяжении, $кг/см^2$	6 000—7 000	8 000—10 000	10 000—12 000	4 000—4 500	3 500—4 000
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$	50—80	30—50	80—100	18—20	20—25
Относительное удлинение при разрыве, %	10	10	15	20	15
Твердость по Бринеллю, $кг/мм^2$	20—25	19—20	25—30	18—20	20—25
Водопоглощение за 24 ч, %	0,02	0,02	0,15	0,10	0,05
Коэффициент трения	--	0,1	--	0,35	--

Свойства полиарилата Д-4, полученного литьем под давлением, приведены ниже:

Предел прочности, $кг/см^2$	
при растяжении	800—900
» изгибе	1200—1300
» сжатии	900—1200
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$	100—120

### ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИАРИЛАТОВ

Отличительной особенностью полиарилатов является незначительное изменение диэлектрических свойств в широком диапазоне температур (от  $-60$  до  $+200^{\circ}C$  и выше). Тангенс угла диэлектрических потерь для полиарилатов на основе дифенилпропана в

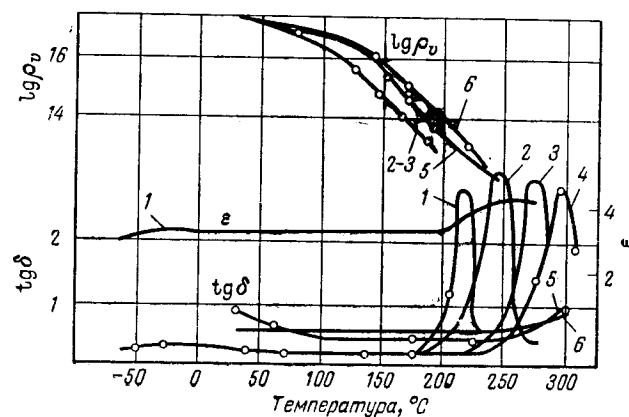


Рис. 1. Зависимость электрических свойств полиарилатных пленок от температуры:

1 — полиарилат Д-4 (И/Т-50/50); 2 — полиарилат типа Д-4 (И/Т = 15/85); 3 — полиарилат Д-2; 4 — полиарилат ИТГ; 5 — полиарилат Ф-1; 6 — полиарилат Ф-2.

интервале от  $-60$  до  $+200^{\circ}C$  не превышает  $4 \cdot 10^{-3}$  —  $5 \cdot 10^{-3}$ , а для полиарилатов на основе фенолфталеина —  $5 \cdot 10^{-3}$  —  $8 \cdot 10^{-3}$  при температурах от  $-60$  до  $+250^{\circ}C$ . Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь, диэлектрической проницаемости и удельного объемного электрического сопротивления различных полиарилатов от температуры представлена на рис. 1.

Длительное (5000 ч) воздействие температур  $150$ — $200^{\circ}C$ , ультрафиолетового излучения (800 ч), ионизирующих излучений (доза  $1000$   $Мрад$ ) практически не оказывает влияния на диэлектрические свойства полиарилатов.

Показатели электрических свойств литевых полиарилатов приведены в таблице на стр. 294.

## Электрические свойства литьевых полиарилатов

Показатели	Д-4	Д-4С	Ф-1	Ф-2
Удельное поверхностное электрическое сопротивление, <i>ом</i>				
в исходном состоянии	$6,5 \cdot 10^{12}$	$1,5 \cdot 10^{13}$	$4,6 \cdot 10^{13}$	$5,0 \cdot 10^{13}$
после пребывания в дистиллированной воде в течение 24 ч . . . . .	$6,0 \cdot 10^{12}$	$1,5 \cdot 10^{13}$	$4,6 \cdot 10^{13}$	$5,0 \cdot 10^{13}$
после пребывания в дистиллированной воде в течение 7 суток	$5,5 \cdot 10^{12}$	$6,0 \cdot 10^{12}$	$4,2 \cdot 10^{13}$	$4,5 \cdot 10^{13}$
после старения при 150°С в течение 1000 ч . . . . .	$8,6 \cdot 10^{12}$	$9,4 \cdot 10^{12}$	$4,6 \cdot 10^{13}$	$5,1 \cdot 10^{13}$
Удельное объемное электрическое сопротивление, <i>ом · см</i>				
в исходном состоянии	$5,1 \cdot 10^{14}$	$4,4 \cdot 10^{14}$	$5,0 \cdot 10^{15}$	$8,5 \cdot 10^{15}$
после пребывания в дистиллированной воде в течение 24 ч . . . . .	$5,0 \cdot 10^{14}$	$4,3 \cdot 10^{14}$	$8,0 \cdot 10^{15}$	$8,2 \cdot 10^{15}$
после пребывания в дистиллированной воде в течение 7 суток	$5,0 \cdot 10^{14}$	$4,0 \cdot 10^{14}$	$5,5 \cdot 10^{15}$	$4,0 \cdot 10^{15}$
после старения при 150°С в течение 1000 ч . . . . .	$4,5 \cdot 10^{14}$	$4,8 \cdot 10^{14}$	$2,0 \cdot 10^{15}$	$3,2 \cdot 10^{15}$
после пребывания на воздухе с 98%-ной относительной влажностью . . . . .	$5,0 \cdot 10^{14}$	$4,2 \cdot 10^{14}$	$5,5 \cdot 10^{15}$	$5,0 \cdot 10^{15}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 <sup>5</sup> гц				
в исходном состоянии	$1,81 \cdot 10^{-2}$	$1,76 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
после пребывания в дистиллированной воде в течение 24 ч . . . . .	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$1,78 \cdot 10^{-2}$	$1,10 \cdot 10^{-2}$	$1,10 \cdot 10^{-2}$
после пребывания в дистиллированной воде в течение 7 суток	$1,80 \cdot 10^{-2}$	$1,80 \cdot 10^{-2}$	$1,15 \cdot 10^{-2}$	$1,12 \cdot 10^{-2}$
после старения при 150°С в течение 1000 ч . . . . .	$1,83 \cdot 10^{-2}$	$1,93 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$
после пребывания на воздухе с 98%-ной относительной влажностью . . . . .	$1,81 \cdot 10^{-2}$	$1,80 \cdot 10^{-2}$	$1,10 \cdot 10^{-2}$	$1,10 \cdot 10^{-2}$
после воздействия ионизирующего излучения (1000 Mrad) . . . . .	$1,85 \cdot 10^{-2}$	$1,78 \cdot 10^{-2}$	$1,15 \cdot 10^{-2}$	$1,19 \cdot 10^{-2}$

Продолжение

Показатели	Д-4	Д-4С	Ф-1	Ф-2
Электрическая прочность				
в исходном состоянии	3,8	3,9	4,0	4,2
после пребывания в дистиллированной воде в течение 24 ч . . . . .	3,8	3,9	4,0	4,2
после пребывания в дистиллированной воде в течение 7 суток	3,9	4,0	4,5	4,5
после пребывания на воздухе с 98%-ной относительной влажностью . . . . .	3,9	4,0	4,1	4,2
после воздействия ионизирующего излучения (1000 Mrad) . . . . .	3,75	4,0	4,0	4,2

## ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИАРИЛАТОВ

Полиарилаты характеризуются высокой термической стойкостью и повышенной морозостойкостью. Показатели теплофизических свойств полиарилатов приведены ниже.

## Теплофизические свойства литьевых полиарилатов

Показатели	Д-3	Д-4	Ф-1	Ф-2
Температура, °С				
плавления . . . . .	260—275	255—275	300—310	320—340
начала окисления . . . . .	270	270	280	290
разложения . . . . .	450	450	500	500
воспламенения . . . . .	810	810	890	850
Теплостойкость по Вика, °С . . . . .	210	210	268	280
Коэффициент теплопроводности, <i>ккал/(м · ч · град)</i> . . . . .	—	0,17	0,2	—
Удельная теплоемкость, <i>ккал/(кг · град)</i> . . . . .	—	0,27	0,29	—
Морозостойкость, °С . . . . .	—100	—100	—100	—100
Верхний предел рабочих температур, °С . . . . .	155—175	155—175	200—220	250

## ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛИАРИЛАТОВ

Полиарилаты обладают высокой химической стойкостью, которая обусловлена жесткоцепной структурой их макромолекул.

Полиарилаты на основе терефталевой и изофталевой кислот и таких двухатомных фенолов, как гидрохинон, дифенилолпропан, резорцин, практически не растворяются в большинстве органических

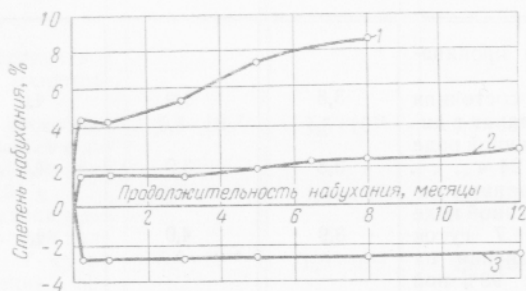


Рис. 2. Набухание пленок на основе полиарилатов в бензине «Калоша»: 1 — Ф-2П; 2 — Д-4П; 3 — ДФ-55П.

растворителей. Смешанные полиарилаты (Д-3, Д-4) растворяются в тетрачлорэтано, а также в смесях его с фенолом (60 : 40 или 80 : 20). В спиртах и алифатических углеводородах они не растворяются и не набухают. Полиарилаты Ф-1 и Ф-2 хорошо растворяются в ряде органических растворителей (хлороформ, дихлорэтан, тетрачлорэтан, тетрагидрофуран, хлорбензол). Введение фосфора в макромолекулу полимера увеличивает растворимость полиарилата.

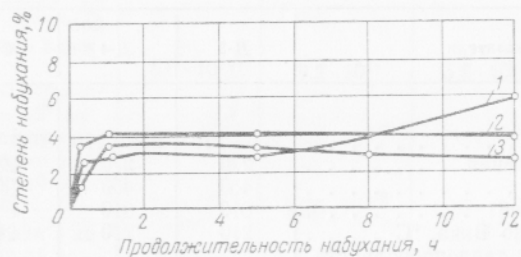


Рис. 3. Набухание пленок на основе полиарилатов в трансформаторном масле: 1 — ДФ-55П; 2 — Ф-2П; 3 — Д-4П.

Полиарилаты Д-3, Д-4, Ф-2 обладают стойкостью к длительному воздействию минеральных и органических кислот различной концентрации (за исключением концентрированной серной кислоты), некоторых окислителей и разбавленных щелочей, масел и различных видов топлива. Растворы  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  или  $\text{NaHCO}_3$  не оказывают на полиарилаты заметного действия. Полиарилаты на основе дифенилол-

пропана выдерживают многочасовое (до 200 ч) воздействие некоторых концентрированных кислот при  $100^\circ\text{C}$ . Концентрированные растворы щелочей, и в первую очередь аммиак, разрушают полиарилаты. При повышенных температурах ( $180\text{—}195^\circ\text{C}$ ) под действием *m*-крезола полиарилаты частично деструктурируются.

Полиарилаты устойчивы к действию хлорангидридов ароматических дикарбоновых кислот. Дифенилолпропан и изофталевая кислота вызывают при  $200\text{—}220^\circ\text{C}$  деструкцию полиарилатов. Данные о химической стойкости пленок и лаковых покрытий на основе полиарилатов различного строения приведены на рис. 2, 3 и в таблицах на стр. 208—209 и 300—301.

Положительным свойством полиарилатов является их высокая термическая стойкость. Из рис. 4 видно, что газовыделение у них начинается при  $350\text{—}400^\circ\text{C}$  и составляет всего 2,5—5%. Заметное газовыделение у полиарилатов наступает при температуре выше  $400^\circ\text{C}$ . Разложение полимеров происходит при  $500\text{—}550^\circ\text{C}$ .

Продуктами деструкции являются углекислый газ и окись углерода (для Ф-1 и Ф-2) и метан (для Д-3 и Д-4). Энергия активации распада полиарилатов Ф-1 и Ф-2 составляет 36—41 ккал/моль, Д-3 и Д-4—51—60 ккал/моль.

Эффективными стабилизаторами при высокотемпературной переработке полиарилатов (окисление полимеров происходит при температуре выше  $250^\circ\text{C}$ ) являются полисопряженные олигомеры, такие как полифенилен, полиазофенилен и др., а также соединения с ароматическими конденсированными ядрами, содержащие парамагнитную фракцию (активированные антрацен, пиррен, коронен и др.).

Полиарилаты обладают высокой стойкостью к действию ультрафиолетового излучения. На рис. 5 и 6 показаны кривые светопропускания пленок полиарилатов различного строения. Полиарилатные пленки толщиной 50 мк, полученные методом полива из раствора, в области до 300 мк поглощают УФ-лучи, в области от 400 до 700 мк пропускают до 85% УФ-лучей. В зависимости от строения полимерной цепи полиарилата светостойкость пленок при интенсивности УФ-облучения, равной  $22\text{ ккал}/(\text{см}^2 \cdot \text{г})$ , при  $70^\circ\text{C}$  составляет 600—800 ч. Снижение механической прочности наблюдается через 500—600 ч облучения, запас прочности при этом составляет 25—35%. Увеличение интенсивности излучения на светостойкость полиарилатов существенно не влияет. При облучении УФ-светом диэлектрические свойства не меняются.

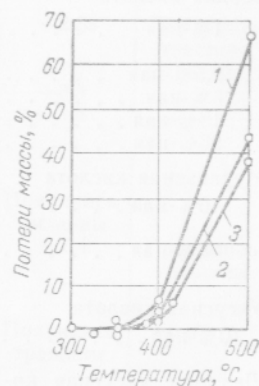


Рис. 4. Зависимость глубины разложения полиарилатов от температуры при нагревании в течение 60 мин: 1 — Д-4; 2 — Ф-2; 3 — Ф-1.

## Изменение массы пленок на основе

Среда	Д-4П				
	1 сутки	10 суток	30 суток	3 месяца	5 месяцев
Серная кислота					
1 %-ная . . . . .	0	0	-2,98	-2,7	-2,7
2,5 %-ная . . . . .	+0,7	-1,4	-2,42	-2,7	-3,7
5 %-ная . . . . .	-0,4	-1,5	-2,2	-2,7	-3,2
10 %-ная . . . . .	-0,4	-1,7	-3,2	-3,4	-4,43
96 %-ная . . . . .					Пленка
Муравьиная кислота					
10 %-ная . . . . .	-0,47	-1,4	-3,1	-4,0	-4,4
85 %-ная . . . . .	-0,36	-0,96	-7,5	-7,8	-9,0
Уксусная кислота					
10 %-ная . . . . .	-0,42	-1,05	-3,4	-4,0	-4,6
Ледяная уксусная кислота					
. . . . .	-1,3	-4,5	-4,5	-4,1	-5,5
Азотная кислота					
10 %-ная . . . . .	-0,4	-0,4	-3,6	-4,8	-7,6
56 %-ная . . . . .	+3,56	+0,42	+0,42		Пленка разрушилась
Соляная кислота					
36 %-ная . . . . .	+0,16	+1,8	+1,88	+1,8	+1,81
Хромпик 10 %-ный . . . . .	-0,7	-2,5	-4,0	-4,13	-4,57
Едкое кали					
1 %-ное . . . . .	-0,7	-2,5	-12	-10,4	-11
2,5 %-ное . . . . .	+1	-8,2	-14,9	-22,1	-
10 %-ное . . . . .	-0,8	-6	-22	-45	-66
20 %-ное . . . . .	+0,5	-18	-42		Пленка разрушилась через 3 мес
40 %-ное . . . . .	+5,5				Пленка разрушилась через 10 суток
Аммиак 27 %-ный . . . . .					Пленка разрушилась через 1 сутки
Петролейный эфир . . . . .	+1,6	+5,3	+5,8		Появились трещины через 1 месяц
Нормальный гептан . . . . .	-	-	-	-	-
Ацетон . . . . .					Пленка набухла через 1 сутки
Бензол . . . . .					Пленка разрушилась через 1 сутки
Хлорбензол . . . . .					То же

## полиарилатов Д-4 (Д-4П) и Ф-2 (Ф-2П)

	Ф-2П						
	12 месяцев	1 сутки	10 суток	30 суток	3 месяца	5 месяцев	12 месяцев
	-2,7	+2,9	+2,8	+2,89	+4,3	+2,89	Появились трещины
	-5,04	+2,86	+2,71	+2,71	+2,14	+1,7	То же
	-6,1	+5,8	+0,8	+0,73	+2,2	+3,3	>
	-8,1	+5,7	-1,1	-2,20	-3,2	-3,3	>
	разрушилась до испытаний						
	-5,9	+0,77	+6,0	+5,3	+7,5		Появились трещины
	-9,8	+11,0	+16,1	+17,8	-4,2	-7,4	Появились трещины
	-8,0	+2,5	+4,4	+5,3	+7,5		Появились трещины
	-9	+12,7	+12,1	-16,6			Появились трещины
	-12,8	-	-	-	-	-	
	Разрушилась до испытаний						
	+2,15	+14,3					
	-5,46	+4,1					Появились трещины
	-11	+0,5					
	-	+1	-8,2	-14,9	-22		Появились трещины
	Разрушилась через 5 суток	+4,8					
	-73,2						
	Пленка разрушилась до испытаний						
	Пленка растворилась через 10 суток						
	Пленка разрушилась через 1 сутки						
	0						
		1,5	+5,8	+7,8			+8,7
	+1,5		+7,5	+5,5	+7,4	+4	+6,8
	Пленка раскрошилась через 1 сутки						
	Пленка растворилась при погружении						
	То же						

## Изменение массы полиарилат

Среда	ДФ-55П				
	изменение массы, %				
	1 сутки	10 суток	30 суток	3 месяца	5 месяцев
Серная кислота					
1%-ная . . . . .	+1,1	0	-2,4	-	-3,2
2,5%-ная . . . . .	+2,7	0	-0,9	-	-3,2
5%-ная . . . . .	+3,2	0	-0,9	-	-1,8
10%-ная . . . . .	+3,4	0	-1,7	-5,7	-
96%-ная . . . . .				Пленка раствори	
Муравьиная кислота					
10%-ная . . . . .	+1,1	-1,5	-3,1	-	-
85%-ная . . . . .	+3,6	+0,5	-1,5	-	-1,55
Уксусная кислота					
10%-ная . . . . .	+3,9	-0,5	-2,2	-11,7	Появились трещины
Ледяная уксусная кислота . . . . .	+8,04	+3,4	-	-	-
Азотная кислота					
10%-ная . . . . .	+1,6	-1,0	-1,1	Появились трещины	-
56%-ная . . . . .	+9,4	+3	Появились трещины	-	-
Соляная кислота					
36%-ная . . . . .	+4,3	+1,7	+1,7	-	-0,4
Хромпик 10%-ный . . . . .	+1,1	0	-1,2	-	-1,97
Едкое кали					
1%-ное . . . . .	+1,5			Пленка разрушилась через	
2,5%-ное . . . . .	+2,5			1,5	
10%-ное . . . . .	-2,7			Появились трещины через 10	
20%-ное . . . . .	-3,7			суток	
Аммиак 27%-ный . . . . .					
Бензол . . . . .				Пленка разруши	
Хлорбензол . . . . .				Пленка разруши	
Петролейный эфир . . . . .	-4,5	-4,5	-4,5	-5,7	-8,13
Диметилформамид . . . . .	-	-	-	-	-
Диоксан . . . . .	-	-	-	-	-
n-Гептан . . . . .	-1,9	-4,6	-4,6	-7,3	-7,8
Ксилол . . . . .	-	-	-	-	-
Хлороформ . . . . .	-	-	-	-	-
Четыреххлористый углерод . . . . .	-	-	-	-	-
Метиленхлорид . . . . .	-	-	-	-	-

\* ДФ-55П — пленка на основе полиарилата ДФ-55, полученного из дихлорангидрида терефталевой кислоты на основе полиарилата, полученного из смеси дихлорангидридов фенилфосфорной и терефталевой

## ных пленок ДФ-55П и Д-8П \*

	ДФ-55П						Д-8П							
	изменение массы, %						изменение массы, %							
	12 месяцев	1 сутки	10 суток	30 суток	3 месяца	5 месяцев	12 месяцев	1 сутки	10 суток	30 суток	3 месяца	5 месяцев	12 месяцев	
масля при погружении	-8,74	-2,1	-0,83	-1,67	-0,41	-0,41	+0,41	-8,74	-2,1	-0,83	-1,67	-0,41	-0,41	+0,41
	-6,3	-0,5	-3,03	+1,0	-0,35	-0,35	+1,4	-6,3	-0,5	-3,03	+1,0	-0,35	-0,35	+1,4
	-2,0	+0,32	0	+0,3	+1,5	+0,3	+0,7	-2,0	+0,32	0	+0,3	+1,5	+0,3	+0,7
	-7,7	0	-3,3	0	-0,4	-0,4	+1,42	-7,7	0	-3,3	0	-0,4	-0,4	+1,42
	-13,5	-1,0	0	0	+3,5	+1,0	+1,0	-13,5	-1,0	0	0	+3,5	+1,0	+1,0
	-2,7	+10,4	+5,7	+8,9	+10,1	+7,6	+5,02	-2,7	+10,4	+5,7	+8,9	+10,1	+7,6	+5,02
	-	+0,47	+1,0	0	+2,8	+2,4	+5,7	-	+0,47	+1,0	0	+2,8	+2,4	+5,7
	39,0	+9,7	+15,4	+14,2	+13,0	+17,8	+8,8	39,0	+9,7	+15,4	+14,2	+13,0	+17,8	+8,8
	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	-	-0,49	-1,5	+3,7	+1,97	+0,85	+0,48	-	-0,49	-1,5	+3,7	+1,97	+0,85	+0,48
	-13,4	+2,7	+1,42	+0,51	+1,54	Появились трещины		-13,4	+2,7	+1,42	+0,51	+1,54	Появились трещины	
	-4,6	-0,42	0	-0,43	-1,3	+1,7		-4,6	-0,42	0	-0,43	-1,3	+1,7	Появились трещины
10 суток		+2,4	-0,6	0	-2,7	-1,4	0		+2,4	-0,6	0	-2,7	-1,4	0
месяца		+1,1	-3,3	-2,5	-7,2	-19,5	-		+1,1	-3,3	-2,5	-7,2	-19,5	-
суток		+0,7	-4,8	-13	-54	Пленка разрушилась			+0,7	-4,8	-13	-54	Пленка разрушилась	
суток		-13	+15	-16	Появились трещины через 3	месяца			-13	+15	-16	Появились трещины через 3	месяца	
лась через 1 сутки														
лась при погружении														
же														
	-8,4	-1,5	+0,5	+0,5	+0,5	+0,5	+3,9							
	-	-	-	-	-	-	-							
	-9,2	-3,1	-1,0	-0,18	-1,6	+3	+5,6							
	-	+20	+27	+44	+42	-	+20,4							
женни														
	-	-0,9	+0,9	+0,9	+5	+3,3	+4,3							
женни														

талевои кислоты и смеси дифенилолпропана и фенолфталеина (см. стр. 307—308); Д-8П — пленка левои кислот и дифенилолпропана.



Полиарилаты обладают высокой устойчивостью к ионизирующим излучениям. При нейтронном облучении полиарилатных пленок Д-4П и Ф-2П интегральной дозой  $3 \cdot 10^{16}$  н/см<sup>2</sup> с интенсивностью  $3 \cdot 10^{12}$  н/(см<sup>2</sup>·сек) пленки сохраняют гибкость и прочность. Разрушение пленок наступает при облучении дозой  $3 \cdot 10^{17}$  н/(см<sup>2</sup>·сек).

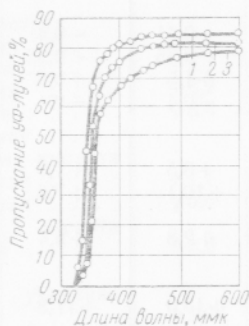


Рис. 5. Зависимость пропускания УФ-лучей пленками на основе полиарилата Д-4 от содержания изофталевой и терефталевой кислот:  
1 - И : Т = 50 : 50; 2 - И : Т = 25 : 75;  
3 - И : Т = 15 : 85.

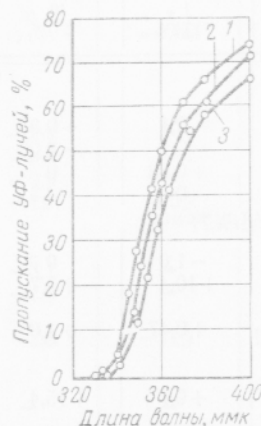


Рис. 6. Зависимость пропускания УФ-лучей полиарилатными пленками типа Ф-2П от соотношения изофталевой и терефталевой кислот и фенолфталеина:  
1 - И : Т : Ф = 0,5 : 0,5 : 1;  
2 - И : Т : Ф = 0,4 : 0,6 : 1;  
3 - И : Т : Ф = 0,3 : 0,7 : 1.

Полиарилаты горят, но не поддерживают горения (относятся к самозатухающим материалам).

#### ПЕРЕРАБОТКА ПОЛИАРИЛАТОВ

Полиарилаты являются термопластичными материалами и, следовательно, могут подвергаться различным способам формования в вязкотекучем состоянии: литьевое прессование, литье под давлением, экструзия и др. Но при этом следует учитывать, что наличие жесткоцепных макромолекул, переход в вязкотекучее состояние в узком интервале температур, граничащем с температурами деструкции полимера, создают определенные трудности переработки полиарилатов.

Перед формованием полиарилаты должны быть тщательно высушены. Сушку рекомендуется проводить в сушильных или вакуум-сушильных камерах при 100—120° С в течение 4—6 ч. Допустимое

содержание влаги в полимере 0,1—0,2%. Переработка невысушенных полиарилатов ухудшает их прочностные показатели, приводит к образованию поверхностных дефектов (раковин, пузырей, разводов и т. д.).

При установлении технологических параметров переработки необходимо иметь в виду, что успешное формование полиарилатов можно проводить в условиях строгого контроля температур формования и ограничения времени пребывания полиарилатов при высоких температурах. Температура формования не должна превышать температуру плавления больше чем на 20—30° С. Вязкость расплавов полиарилатов составляет  $10^4$ — $10^5$  пз, поэтому при формовании требуется высокое давление.

Формование небольших партий изделий со сложной арматурой (электро- или радиодетали) может осуществляться методом литьевого прессования по следующему режиму:

	Д-4	Ф-1	Ф-2
Температура нагревательной камеры, °С . . . . .	280—300	330—350	360—380
Температура формы, °С . . . . .	120—160	220—230	240—250
Давление, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	1200—1500	1500—1700	1500—1700

Перед загрузкой в нагревательную камеру желательно предварительно нагреть полимер до 110—120° С. Это позволит сократить продолжительность разогрева полиарилата и цикл формования.

Литье под давлением дает лучшие результаты при использовании литьевых машин с червячной пластикацией, позволяющих значительно сократить продолжительность пластикации и получить однородный расплав. При литье под давлением полиарилата Д-4 температура пластикации 260—300° С, температура формы 100—140° С. При литье на машинах с червячной пластикацией давление составляет 900—1200 кг/см<sup>2</sup>, а при литье на плунжерных литьевых машинах оно может достигать 1500 кг/см<sup>2</sup>. Поскольку полиарилаты имеют высокую вязкость расплавов и текучесть их при заполнении формы быстро снижается, рекомендуется применять короткие литники большого диаметра. Усадка полиарилатов составляет 0,6—1%.

После окончания работы на литьевой машине следует отключить обогрев и выдавить из цилиндра находящийся в нем материал. Внутренние напряжения, возникающие в некоторых случаях при литье полиарилатов, могут быть сняты дополнительным прогревом полимера в термощкафу или в кремнийорганической жидкости № 5 при 120—140° С в течение 2—4 ч с последующим медленным охлаждением.

При переработке полиарилата Д-4С возможно регулировать температуру и давление формования в более широких пределах, что особенно важно для получения литьем под давлением изделий

сложной конфигурации. Режимы переработки полиарилатов Д-4 и Д-4С методом литья под давлением представлены ниже.

Режимы литья под давлением полиарилатов Д-4 и Д-4С на термопластавтомате ТП-16М

Марка полиарилата	Вид образца	Масса отливки, г	Температура, °С			Давление, кг/см <sup>2</sup>	Продолжительность, сек			
			цилиндра предластикатора	материального цилиндра	формы		пластики	выдержки под давлением	охлаждения в форме	цикла
Д-4	Лопатка	10	270	260-270	150-160	1050	70	15-20	70	90-95
	Брусок	12	270	260-270	150	1100	90	12	70	105
	Диск	11	270-280	270	140-150	1100	65-70	12	90	85-90
Д-4С	Лопатка	10	270	265	140	950	60	12	65-70	80
	Брусок	12	270-275	260-270	145	850-950	55-60	12	60	75
	Диск	11	270	265	140	850-950	60	12	60	80

Экструзию полиарилатов применяют для получения гранулированного полимера и формования пленочных материалов (пленка Д-4Э). При экструзии могут использоваться однозаходные червяки с постоянным шагом и переменной глубиной нарезки со степенью сжатия 1:3. Длина червяка должна быть 15-20 D. Экструзию проводят при 240-300°С.

Абразивостойкие прессконпозиции АСМ на основе полиарилатов наносят на поверхность металлов (сталь, дуралюмин) и неметаллических материалов (стеклопластики) методом газопламенного напыления.

#### ПЛЕНОЧНЫЕ ДИЭЛЕКТРИКИ НА ОСНОВЕ ПОЛИАРИЛАТОВ

На основе полиарилатов получают пленочные материалы двух типов:

1. Электротехнические пленки толщиной 20-100 мк и выше. К материалам этого типа относятся неориентированные пленки Д-4П, Ф-2П и ДФ-55П, получаемые методом полива из раствора.

2. Конденсаторные пленки толщиной 6-20 мк (пленка Д-4Э, полученная методом экструзии с последующей ориентацией).

Пленка Д-4П (ТУ НИИПМ № П-560-67). Представляет собой электроизоляционный материал, полученный из 10-15%-ного раствора полиарилата Д-4 марки А в метилхлориде. Выпускается толщиной 20, 50 и 100 мк и должна быть прозрачной, гладкой, наличие инородных включений и жировых пятен не допускается. Может быть от бесцветной до светло-желтого цвета.

Пленка Д-4П должна удовлетворять следующим требованиям:

Содержание летучих, %, не более	0,5
Предел прочности при растяжении, кг/см <sup>2</sup>	500-1200*
Относительное удлинение при разрыве, %, не менее	5
Удельное объемное электрическое сопротивление, ом·см, не менее	
при 20°С	1·10 <sup>15</sup>
» 155°С	1·10 <sup>13</sup>
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 <sup>3</sup> гц, не более	8·10 <sup>-3</sup>
Диэлектрическая проницаемость при 10 <sup>3</sup> гц	2,5-3,5
Электрическая прочность при 20°С, кВ/мм, не менее	100

\* В зависимости от толщины пленки.

Физико-механические и электрические свойства полиарилатной пленки Д-4П

Условия испытаний	Предел прочности при растяжении, кг/см <sup>2</sup>	Относительное удлинение при разрыве, %	Удельное объемное электрическое сопротивление, ом·см	Диэлектрическая проницаемость	Тангенс угла диэлектрических потерь		Электрическая прочность, кВ/мм
					при 10 <sup>6</sup> гц	при 10 <sup>3</sup> гц	
Исходные данные	650	10	1,3·10 <sup>16</sup>	2,5	1,65·10 <sup>-2</sup>	4,0·10 <sup>-3</sup>	125
После пребывания в воде в течение							
1 суток	650	10	1,31·10 <sup>16</sup>	2,5	1,65·10 <sup>-2</sup>	4,6·10 <sup>-3</sup>	110
10 суток	630	14	1,4·10 <sup>16</sup>	2,5	1,67·10 <sup>-2</sup>	4,7·10 <sup>-3</sup>	100
30 суток	600	16	4,5·10 <sup>16</sup>	2,6	2,0·10 <sup>-2</sup>	4,8·10 <sup>-3</sup>	90
После пребывания на воздухе с 95%-ной влажностью	640	14	1,6·10 <sup>16</sup>	2,5	4,5·10 <sup>-2</sup>	5,6·10 <sup>-3</sup>	95
После кипячения в воде	—	—	2,5·10 <sup>14</sup>	—	5,8·10 <sup>-2</sup>	1,2·10 <sup>-2</sup>	50
После термостарения при 150°С в течение							
1000 ч	650	5	1,3·10 <sup>16</sup>	2,5	1,5·10 <sup>-2</sup>	4,2·10 <sup>-3</sup>	166
при 200°С в течение							
2000 ч	671	5	1,2·10 <sup>16</sup>	3,0	1,9·10 <sup>-2</sup>	5·10 <sup>-3</sup>	138
После светостарения в течение 600 ч (ртутный облучатель)	320	5	2,9·10 <sup>16</sup>	2,9	6·10 <sup>-3</sup>	—	130
После воздействия атмосферных условий в течение 6 месяцев	700	14	1,4·10 <sup>16</sup>	2,7	1,67·10 <sup>-2</sup>	4,65·10 <sup>-3</sup>	100
После воздействия ионизирующих излучений (1000 Мрад)	550	10	1,3·10 <sup>16</sup>	2,5	1,65·10 <sup>-2</sup>	4,0·10 <sup>-3</sup>	125

Полиарилатную пленку Д-4П хранят в герметичной упаковке в сухом закрытом складском помещении\*. Не допускается попадание на пленку воды, масел, различных растворителей и химикатов.

Физико-механические и электрические свойства пленки Д-4П приведены в таблице на стр. 305 (данные о химической стойкости пленки см. стр. 298).

Полиарилатная пленка Д-4П предназначена для использования в электротехнической промышленности в качестве межслоевой, межобмоточной, пазовой и лепестковой изоляции высоковольтных трансформаторов, обмоточных проводов, высоковольтных кабелей и прочих изделий, имеющих температуру эксплуатации от  $-60$  до  $+180^{\circ}\text{C}$  и кратковременно ( $1000$  ч) до  $200^{\circ}\text{C}$ .

Пленка Д-4П бензо- и маслястойка, хорошо совмещается с эпоксидной смолой ЭД-П.

**Пленка Ф-2П (ТУ НИИПМ № П-623—68).** Представляет собой электроизоляционный материал, полученный из 10%-ного раствора полиарилата Ф-2 в метилхлориде (приведенная вязкость не менее 0,8). Выпускают пленку толщиной 20, 50 и 100 мк. Пленка должна быть прозрачной, гладкой, без воздушных пузырей, жировых пятен и инородных включений.

Физико-механические и электрические свойства пленки Ф-2П представлены ниже.

Физико-механические и электрические свойства полиарилатной пленки Ф-2П

Условия испытаний	Предел прочности при растяжении $\text{кг/см}^2$	Относительное удлинение при разрыве %	Удельное объемное электрическое сопротивление $\text{ом}\cdot\text{см}$	Тангенс угла диэлектрических потерь		Электрическая прочность $\text{кв/мм}$
				при $10^6$ гц	при $10^3$ гц	
Исходные данные . . . . .	818	10	$1,2 \cdot 10^{15}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-3}$	100
После пребывания в воде в течение						
1 суток . . . . .	—	—	$1,1 \cdot 10^{15}$	$1,41 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-3}$	100
10 суток . . . . .	—	—	$6,3 \cdot 10^{13}$	$1,41 \cdot 10^{-2}$	$1,51 \cdot 10^{-2}$	100
30 суток . . . . .	—	—	$5,9 \cdot 10^{12}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	$5,21 \cdot 10^{-2}$	101
После термостарения в течение 720 ч						
при $200^{\circ}\text{C}$ . . . . .	350	8	$3,3 \cdot 10^{16}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$4,3 \cdot 10^{-3}$	90—100
» $250^{\circ}\text{C}$ . . . . .	250	4	$3,4 \cdot 10^{16}$	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$	95
После воздействия ионизирующих излучений (1000 Мрад) . . . . .	750	10	$1,2 \cdot 10^{16}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-3}$	100

\* Условия хранения других пленочных материалов аналогичны условиям хранения пленки Д-4П.

Полиарилатная пленка Ф-2П предназначена для использования в электротехнической промышленности в качестве межобмоточной, межслоевой, пазовой и лепестковой изоляции трансформаторов, обмоточных проводов кабелей, предназначенных для эксплуатации в условиях от  $-60$  до  $+200^{\circ}\text{C}$  и кратковременно ( $200$  ч) до  $250^{\circ}\text{C}$ ; в радиоэлектронике применяется для изготовления датчиков, работающих при температурах до  $250^{\circ}\text{C}$ . Пленка Ф-2П устойчива к действию трансформаторного масла и ионизирующих излучений.

**Пленка ДФ-55П.** Представляет собой электроизоляционный материал, полученный из 10%-ного раствора полиарилата ДФ-55—продукта конденсации смеси фенолфталеина и диана с дихлорангидридом терефталевой кислоты в смеси метилхлорида с хлороформом (80 : 20).

Пленку ДФ-55П выпускают толщиной 20, 50 и 100 мк. Она должна быть прозрачной, от бесцветной до слабо-желтого цвета, не содержать воздушных пузырей, посторонних включений и жировых пятен.

Физико-механические и электрические свойства пленки ДФ-55П представлены ниже.

Физико-механические и электрические свойства полиарилатной пленки ДФ-55П

Условия испытаний	Предел прочности при растяжении $\text{кг/см}^2$	Относительное удлинение при разрыве %	Удельное объемное электрическое сопротивление $\text{ом}\cdot\text{см}$	Тангенс угла диэлектрических потерь		Электрическая прочность $\text{кв/мм}$
				при $10^6$ гц	при $10^3$ гц	
Исходные данные . . . . .	900	10	$3,2 \cdot 10^{15}$	$1,50 \cdot 10^{-2}$	$4,1 \cdot 10^{-3}$	158
После пребывания в воде в течение						
1 суток . . . . .	850	10	$1,1 \cdot 10^{16}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	121
10 суток . . . . .	830	10	$2,4 \cdot 10^{15}$	$2,0 \cdot 10^{-2}$	$8,1 \cdot 10^{-3}$	114
30 суток . . . . .	880	10	$6,3 \cdot 10^{14}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$	110
После термостарения при $200^{\circ}\text{C}$ в течение 1400 ч . . . . .	550	10	$5,1 \cdot 10^{16}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$4,4 \cdot 10^{-3}$	100
при $250^{\circ}\text{C}$ в течение 1000 ч . . . . .	400	10	$2,8 \cdot 10^{16}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$4,4 \cdot 10^{-3}$	102
После светостарения в течение 350 ч (ртутный облучатель) . . . . .	450	10	$2,5 \cdot 10^{16}$	$1,4 \cdot 10^{-2}$	$4,2 \cdot 10^{-3}$	105

Пленка ДФ-55П предназначена для использования в электротехнической промышленности в качестве электроизоляции (межслоевой, лепестковой, пазовой, обмоточной), имеющей температуру эксплуатации от  $-60$  до  $+250^{\circ}\text{C}$  в течение 1400 ч. Пленка ДФ-55П

Сравнительные свойства пленок \* на основе полиарилатов различного строения

Показатели	Д-4П	Ф-2П	ДФ-55П	Ф-8П **	Д-8П
Предел прочности при растяжении, $кг/см^2$	650—800	800—1000	1000—1200	800—1000	600—800
Относительное удлинение при разрыве, %	10—15	15—20	10—15	20—30	20—25
Удельное объемное электрическое сопротивление, $ом \cdot см$	$1 \cdot 10^{16} - 8 \cdot 10^{15}$	$5 \cdot 10^{16} - 1 \cdot 10^{17}$	$5,5 \cdot 10^{16} - 3,2 \cdot 10^{16}$	$2,2 \cdot 10^{16} - 5 \cdot 10^{16}$	$1,5 \cdot 10^{16} - 2,2 \cdot 10^{16}$
Тангенс угла диэлектрических потерь					
при $10^3 гц$	$4 \cdot 10^{-3} - 5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3} - 2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3} - 2,7 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3} - 4 \cdot 10^{-3}$	—
» $10^6 гц$	$1 \cdot 10^{-2} - 2 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2} - 2 \cdot 10^{-2}$	$1,4 \cdot 10^{-2} - 1,7 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2} - 2 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2} - 1,6 \cdot 10^{-2}$
Электрическая прочность, $кв/мм$	100—150	100—150	100—170	120—180	150—200
Диэлектрическая проницаемость	2—2,5	2,5—3	2,5—3	2—3	2,5—3,5
Термостабильность, $ч$					
при $200^\circ C$	2000	800	1600	600	—
» $250^\circ C$	—	200	800	150	—
Светостойкость, $ч$ (дуговой ваттметр)	800	800	650	500	1000

\* Толщина пленок 50 мк.

\*\* Ф-8П — пленка на основе полиарилата, полученного из смеси хлорангидридов изотерифталевой и терифталевой кислот и фенолфталеина.

устойчива к ионизирующим излучениям, к действию трансформаторного и конденсаторного масел.

Сравнительные свойства полиарилатных пленок представлены на стр. 308.

Пленка Д-4Э. Представляет собой электроизоляционный материал, полученный методом экструзии полиарилата Д-4 марки Б.

Пленку Д-4Э выпускают толщиной от 6 до 20 мк. Она должна быть прозрачной, не содержать воздушных пузырей, посторонних включений и жировых пятен.

Основные физико-механические и диэлектрические свойства конденсаторной пленки Д-4Э приведены ниже:

Предел прочности при растяжении, $кг/см^2$	700—900
Относительное удлинение при разрыве, %	5—10
Электрическая прочность, $кв/мм$	190—250
минимальная	50
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^3 гц$	
при $20^\circ C$	$2,2 \cdot 10^{-3} - 2,3 \cdot 10^{-3}$
» $155^\circ C$	$2,3 \cdot 10^{-3} - 2,9 \cdot 10^{-3}$
» $175^\circ C$	$3,3 \cdot 10^{-3} - 3,5 \cdot 10^{-3}$
Удельное объемное электрическое сопротивление, $ом \cdot см$	
при $20^\circ C$	$1 \cdot 10^{16} - 2 \cdot 10^{16}$
» $155^\circ C$	$7 \cdot 10^{14} - 9 \cdot 10^{14}$
» $175^\circ C$	$8 \cdot 10^{13} - 9 \cdot 10^{13}$

Пленка Д-4Э предназначена для использования в качестве обмоточной изоляции в конденсаторах. Верхний предел рабочих температур  $155-175^\circ C$ .

Прочие свойства полиарилатных пленок приведены ниже:

Показатели	Д-4П	Ф-2П	ДФ-55П
Водопоглощение, %			
за 24 ч	0,11	0,67	0,42
» 10 суток	0,4	1,15	0,66
» 1 месяц	0,76	1,15	0,8
Пропускание УФ-лучей, %			
в области до 300 мкм		Поглощают	
» » от 400 до 750 мкм	70—85	60—78	60—78
Усадка при $150^\circ C$			
на воздухе	1%	1,5%	1,2%
в масле			
при $100^\circ C$	0,001	—	—
» $120^\circ C$	0,5	—	—
» $140^\circ C$	0,9	—	—
» $150^\circ C$	1,1	—	—
» $160^\circ C$	1,5	—	—
» $180^\circ C$	3,0	—	—
Число двойных перегибов	1200	—	—

Пластичные материалы на основе полиарилатов можно сваривать токами высокой частоты, ультразвуком, термомонтажным методом. Они хорошо металлизуются.

#### ЛАКИ НА ОСНОВЕ ПОЛИАРИЛАТОВ

**Лак Д-4ЛК.** Представляет собой 10%-ный раствор полиарилата Д-4 марки А в смеси тетрахлорэтана с фенолом (80 : 20). Покрытия лака Д-4ЛК, нанесенные на металлы (алюминий, сталь, латунь), стойки к действию концентрированных и разбавленных органических и минеральных кислот при температурах до 100°С.

Полиарилатный лак Д-4ЛК и покрытия на его основе могут применяться для защиты строительных конструкций, аппаратуры и различных емкостей от коррозии.

Лак наносится на поверхность металлов послойно (4—5 слоев), каждый слой высушивается при 100°С в течение 6 ч.

Данные о химической стойкости лаковых покрытий Д-4ЛК представлены ниже.

#### Химическая стойкость покрытий\* на основе полиарилатного лака Д-4ЛК

Условные обозначения: С — материал стоек, О — относительно стоек, Н — нестойк

Среда	Температура °С	Продолжительность испытания ч	Стойкость
Азотная кислота			
1 %-ная	100	> 200	С
10 %-ная	20	> 1000	С
20 %-ная	20	> 1000	С
56 %-ная	100	10	Н
Соляная кислота			
25 %-ная	20	> 1000	С
	100	24	Н
	20	250	О
	100	24	Н
Фосфорная кислота			
60 %-ная	100	> 200	С
72 %-ная	20	> 1000	С
Уксусная кислота			
60 %-ная	100	48	О
	20	> 1000	С
Щавелевая кислота			
30 %-ная	100	24	Н
	20	> 1000	С
Смесь фтористоводородной кислоты и азотной (1 : 2)	20	> 2 мин	С

\* Толщина покрытий 100—120 мкм.

#### НАПОЛНЕННЫЕ ПОЛИАРИЛАТЫ

Для улучшения антифрикционных и эксплуатационных свойств полиарилатов и прежде всего деформационной стойкости в них вводят различные наполнители, например графит, тальк, дисульфид молибдена, асбест, стекловолокно и др.

#### Антифрикционные самосмазывающиеся материалы АМАН на основе полиарилатов\*

Самосмазывающиеся материалы АМАН представляют собой высоконаполненные (до 90 вес. ч.) пластмассы на основе полиарилатов и наполнителей, обладающие высокими показателями антифрикционных свойств. Применяются в качестве термостойких материалов в узлах трения, работающих без жидкой смазки при температурах от -100 до +300°С.

Материалы АМАН рекомендуется использовать для приборных подшипников в узлах сухого трения и втулок подшипников скольжения, работающих при средних нагрузках 2—20 кг/см<sup>2</sup> и скоростях скольжения до 4 м/сек. При скорости скольжения 1 м/сек подшипники скольжения из материалов АМАН выдерживают нагрузки 50—150 кг/см<sup>2</sup>.

#### Свойства материалов АМАН

Показатели	АМАН-7	АМАН-12	АМАН-13	АМАН-21	АМАН-23	АМАН-25
Плотность, г/см <sup>3</sup>	2,5	3,0	2,0	2,7	3,2	3,5
Предел прочности при сжатии, кг/см <sup>2</sup>	1200	1300	1300	800	1000	1500
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup>	5,0	6	10	3,0	5,0	2,0
Твердость по Бриггелю, кг/мм <sup>2</sup>	18—20	20—23	16—18	20—23	20—23	23—25
Коэффициент трения	0,08	0,04	0,10	0,08	0,06	0,08
Износостойкость линейного износа	0,5 · 10 <sup>-9</sup>	—	—	0,5 · 10 <sup>-9</sup>	0,3 · 10 <sup>-9</sup>	1 · 10 <sup>-9</sup>
Коэффициент термического линейного расширения (в интервале температур 20—196°С), град <sup>-1</sup>	1,54 · 10 <sup>-4</sup>	1,60 · 10 <sup>-4</sup>	2,8 · 10 <sup>-4</sup>	—	—	—
Коэффициент теплопроводности, ккал/(м·ч·град)	0,516	—	0,405	—	—	—
Верхний предел рабочих температур, °С	150	300	120	200	170	150

\* По данным НИЭОС АН СССР.

Кроме того, из материала АМАН изготавливают сепараторы приборных подшипников качения и намазывающих элементов, обеспечивающих непрерывное нанесение твердого смазочного покрытия на поверхности трения.

Фрикционные характеристики и механические свойства материалов АМАН на основе полиарилатов представлены в таблице на стр. 311.

Детали из материалов АМАН изготавливают методом горячего прессования по следующему режиму:

Давление, $\text{кг/см}^2$ . . . . .	1000—1500
Температура, $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	250—320
Продолжительность выдержки на 1 мм толщины изделия, мин . . . . .	1—4

Отпрессованные детали или заготовки могут подвергаться всем видам механической обработки. АМАН приклеиваются к металлам эпоксидными и другими клеями.

#### Ударопрочные полиарилаты

Введение наполнителей (до 50% и выше) повышает стабильность физико-механических свойств и размеров изделий при дейст-

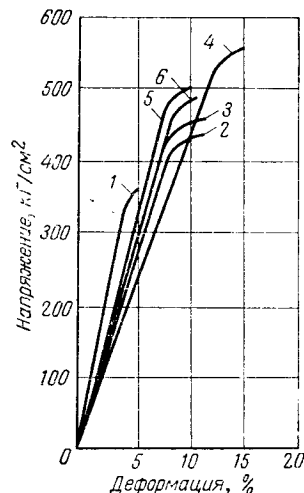


Рис. 7. Кривые растяжения полиарилата Д-4 в зависимости от количества введенного наполнителя-структурообразователя карбида титана:  
1 — без наполнителя; 2 — 0,25%;  
3 — 0,5%; 4 — 1%; 5 — 1,5%;  
6 — 2%.

вию температуры, влаги и других факторов, увеличивает их деформационную стойкость, но снижает ударную прочность. Введение небольших количеств наполнителей (0,25—2%), таких как двуокись титана, карбид титана и двуокись циркония, позволяет регулировать надмолекулярную структуру в процессе переработки и

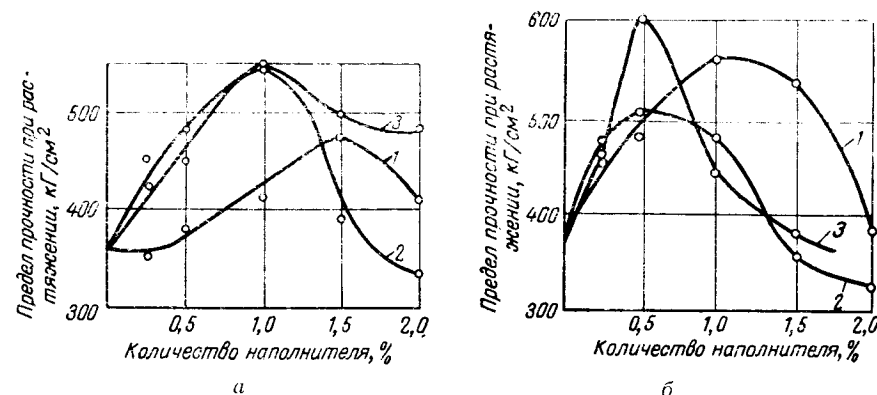


Рис. 8. Зависимость предела прочности при растяжении литевых полиарилатов Д-4 (а) и Ф-1 (б) от количества вводимого наполнителя-структурообразователя:

1 — двуокись титана; 2 — двуокись циркония; 3 — карбид титана.

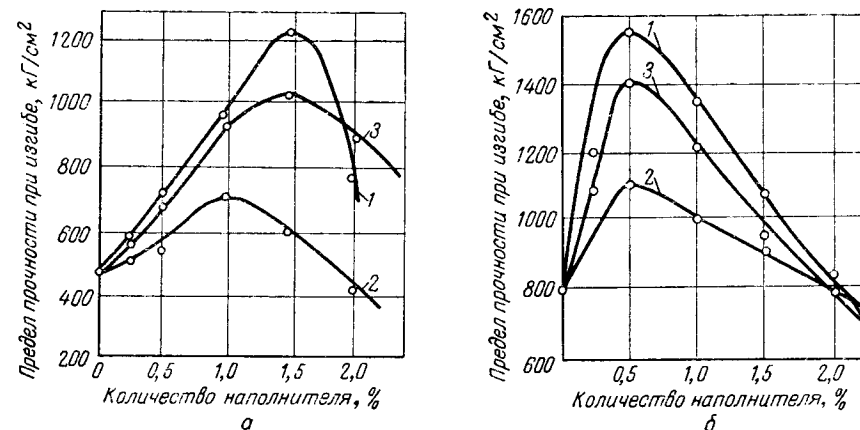


Рис. 9. Зависимость предела прочности при изгибе литевых полиарилатов Д-4 (а) и Ф-1 (б) от количества вводимого наполнителя-структурообразователя:

1 — двуокись титана; 2 — двуокись циркония; 3 — карбид титана.

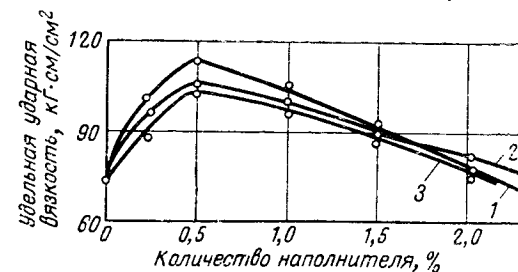


Рис. 10. Зависимость удельной ударной вязкости литьевого полиарилата Д-4 от количества вводимого наполнителя-структурообразователя:

1 — двуокись титана; 2 — двуокись циркония; 3 — карбид титана.

получать литые изделия с повышенной удельной ударной вязкостью (до  $100-120 \text{ кг} \cdot \text{см}/\text{см}^2$ ).

Введение указанных наполнителей улучшает и некоторые технологические свойства полиарилатов при переработке. Так, введение 2% двуокиси титана позволяет снизить давление при литье с 1100 до  $850-900 \text{ кг}/\text{см}^2$  и получать тонкостенные изделия сложной конфигурации.

Зависимости некоторых физико-механических свойств наполненных полиарилатов от природы и количества введенного наполнителя представлены на рис. 7—10.

#### ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИАРИЛАТОВ

Благодаря комплексу ценных свойств полиарилаты находят и в дальнейшем найдут широкое применение в радио- и электропромышленности в качестве изоляционного и конструкционного материалов, для изготовления корпусов катушек и конденсаторов, релейной аппаратуры и множества других изделий. Полиарилатные пленочные материалы могут быть использованы в качестве межмоточной, межслоевой, пазовой и лепестковой изоляций высоковольтных трансформаторов и кабелей, обмоточных проводов, для изготовления электрических конденсаторов.

Литые полиарилаты могут найти широкое применение в приборостроении благодаря их высокой механической прочности и устойчивости к ионизирующим излучениям и термоударам. Способность пленок к металлизации в вакууме открывает широкие возможности использования этих материалов для изготовления электроплат и печатного монтажа. Пленки из полиарилатов можно также использовать для картографических работ и специальной упаковки.

Полиарилаты находят применение для изготовления термостойких волокон, ультратонких тканей для фильтрации аэрозолей, защитных экранов и других целей.

Лаки на основе полиарилатов могут быть использованы в качестве антикоррозионных покрытий для резервуаров и приборов, фильтров для фильтрации агрессивных жидкостей.

Антифрикционные самосмазывающиеся материалы на основе полиарилатов находят широкое применение в машиностроении и приборостроении в качестве подшипников скольжения и качения, работающих в глубоком вакууме без смазки. Абразивостойкие материалы и покрытия на основе полиарилатов найдут широкое применение в авиационной и автомобильной промышленности, а также в сельскохозяйственном машиностроении.

Ненасыщенные полиарилаты могут быть использованы для получения термостойких до  $300^\circ\text{C}$  механически прочных стеклопластиков конструкционного назначения, клеев, компаундов и заливок.

Термореактивные гидроксилодержащие полиарилаты могут найти применение в качестве жестких термостойких до  $300^\circ\text{C}$  перо-пластов.

Детали из полиарилатов можно обрабатывать, сверлить, фрезеровать, строгать, шлифовать, резать, полировать.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Коршак В. В., Виноградова С. В., Изв. АН СССР, ОХН, № 6, 1257, 630 (1957).
2. Коршак В. В., Прогресс полимерной химии, Изд. «Наука», 1965.
3. Коршак В. В., Виноградова С. В., Гетероцепные полиэфирсы, Изд. АН СССР, 1958.
4. Итоги науки. «Химия и технология синтетических высокомолекулярных соединений», Гетероцепные соединения, Изд. АН СССР, 1961, стр. 82.
5. Коршак В. В., Виноградова С. В., Полиарилаты, Изд. «Наука», 1961.
6. Виноградова С. В., Природа, № 8, 91 (1961).
7. Conix A., Ind. Chim. Belge, 22, 1457 (1957).
8. Conix A., Ind. Eng. Chem., 51, 147 (1959).
9. Egeckson W., J. Polymer Sci., 40, 299 (1959).
10. Валецкий П. М., Канд. дисс., ИНЭОС АН СССР, 1964.
11. Старение и стабилизация полимеров, Изд. «Наука», 1964, стр. 247—253.
12. Коршак В. В., Виноградова С. В., Салазкин С. Н., Высокомогл. соед., 3, 72 (1961).
13. Коршак В. В., Акутин М. С., Виноградова С. В., Родивилова Л. А., Валецкий П. М., Лебедева А. С., Салазкин С. Н., Пласт. массы, № 1 (1962).
14. Коршак В. В., Виноградова С. В., Валецкий П. М., Деборин М. Г., Лакокрасочные материалы и их применение, № 1, 31 (1963).
15. Акутин М. С., Коршак В. В., Родивилова Л. А., Виноградова С. В., Будницкий Ю. М., Валецкий П. М., Лебедева А. С., Пласт. массы, № 11 (1962).
16. Родивилова Л. А., Акутин М. С., Будницкий Ю. М., Провиркина В. Ф., Каминская И. П., Пласт. массы, № 10 (1964).
17. Родивилова Л. А., Акутин М. С., Морозова С. А., Пшеницына В. П., Пласт. массы, № 6 (1964).
18. Князева Т. С., Коршак В. В., Акутин М. С., Кулева М. М., Виноградова С. В., Родивилова Л. А., Недопекина Т. П., Валецкий П. М., Морозова С. А., Салазкин С. Н., Пласт. массы, № 2 (1962).
19. Коварская Б. М., Стрижкова А. С., Левантовская И. П., Шабадаш А. Н., Нейман М. Б., Коршак В. В. и др., Высокомогл. соед., № 4, 433 (1962).
20. Коварская Б. М., Пласт. массы, № 10 (1962).
21. Акутин М. С., Родивилова Л. А., Будницкий Ю. М., Морозова С. А., Бондарева Е. А., в сб. «Переработка пластических масс», Изд. «Химия», 1966.
22. Будницкий Ю. М., Родивилова Л. А., Акутин М. С., Бондарева Е. А., Замазий В. М., Производство и переработка пластмасс, синтетических смол и стекловолокон, № 9 (1966).
23. Цераилов Д., Родивилова Л. А., Высокомогл. соед., № 12 (1965).
24. Цераилов Д., Родивилова Л. А., Высокомогл. соед., № 3 (1956).

25. Нерандлов Д., Родивилова Л. А., Акутин М. С., Пласт. массы, № 9 (1966).  
 26. Акутин М. С., Родивилова Л. А., Зинин Е. Ф., Пласт. массы, № 12 (1964).  
 27. Акутин М. С., Родивилова Л. А., Зинин Е. Ф., Пласт. массы, № 3 (1965).  
 28. Слонимский Г. Л., Коршак В. В., Китайгородский А. И., ДАН СССР, 165, 1323 (1965).  
 29. Аскадский А. А., Пласт. массы, № 1 (1965).  
 30. Виноградова С. В., Коршак В. В., Фридман Е. И., Пласт. массы, № 9 (1965).  
 31. Родэ В. В., Яров А. С., Рафиков С. Р., Высокомолекул. соед., № 12, 2168 (1964).

## ПОЛИИМИДЫ

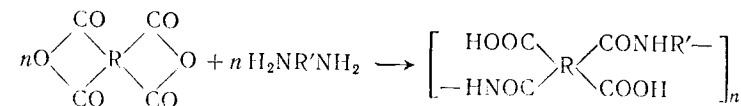
**П**олиимиды — новый класс термостойких высокомолекулярных соединений, линейные цепи которых состоят из ароматических и имидных циклов.

Полиимиды применяются в качестве покрытий, изоляционных лаков, пленок, волокон, связующих, клеев, прессовочных и литевых материалов.

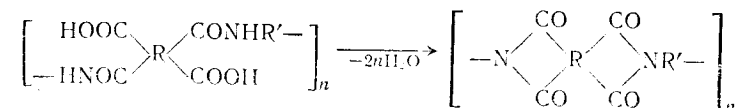
Исходным сырьем для полиимидов служат диангидриды ароматических тетракарбоновых кислот и ароматические диамины, а также производные тетракарбоновых кислот, ди- и тетраэфиры, димиды, хлорангидриды, диизоцианаты.

Одним из наиболее эффективных способов получения полиимидов является двухстадийный синтез:

1. Получение полиамидокислот путем ацилирования диаминов диангидридами тетракарбоновых кислот в среде полярных растворителей, таких как диметилформамид, диметилацетамид, N-метилпирролидон и др. При этом получают растворимые полиамидокислоты с высоким молекулярным весом:



2. Превращение полиамидокислот в полиимиды путем внутримолекулярной дегидратационной циклизации (имидизации) по следующей схеме:



Реакция имидизации полиамидокислот осуществляется путем химической или термической дегидратации. В качестве дегидратирующих агентов при химической имидизации обычно используют ангидриды кислот. В промышленности используют термический способ имидизации. Процесс, как правило, проводится при постепенном нагревании раствора полиамидокислот от комнатной температуры до 250–350°С в инертной среде или в вакууме.



Полиимиды отличаются от других термопластичных и терморективных материалов высокими показателями механических, электроизоляционных свойств и радиационной стойкостью при высоких и низких температурах.

Полиимиды устойчивы к действию органических растворителей и нейтральных масел, но разрушаются под действием концентрированных кислот и щелочей. Они не окисляются вплоть до 250—275° С.

На основе данных о связи свойств ароматических полиимидов со структурой их можно разделить на 4 основные группы. В основу классификации положено наличие (или отсутствие) между ароматическими циклами таких гибких связей, как —O—, —S—, —S—S—, —SO<sub>2</sub>—, —CO— и др.

К первой группе принадлежат полиимиды, в состав которых входят лишь ароматические ядра и имидные циклы. Это жесткие, хрупкие, неразмягчающиеся продукты.

Физико-механические свойства полиимидов различных групп

Группа	Радикал dianhidрида	Радикал диамина	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Предел прочности при растяжении при 20° С, кг/см <sup>2</sup>	Относительное удлинение при разрыве, %	
					при 20° С	при -195° С
I			1,43	1000	2	—
			—	1500—1300	10	—
II			—	1200	10	—
			—	1400	8	—
III			1,41	1600—1200	40—20	40—20
IV*			1,37	1400—1200	40—20	8

\* Температура размягчения 270—300° С.

Вторая группа включает полимеры, в которых гетероатомы имеются только в dianhidридном компоненте. Это также не размягчающиеся, но менее жесткие продукты.

К третьей группе относятся полиимиды, в которых гетероатомы содержатся в dianминном компоненте. Они образуют жесткие, но эластичные до —200° С покрытия, пленки, волокна.

У полиамидов четвертой группы гетероатомы имеются как в dianhidридном, так и аминном компоненте. Полимеры этой группы размягчаются и обладают меньшей плотностью, чем полиимиды первых трех групп.

Некоторые свойства изученных полиимидов приведены в таблице на стр. 318.

Из всех ароматических полиимидов наибольшей термостойкостью отличаются полимеры, полученные на основе dianhidрида пиромеллитовой кислоты и ароматических диаминов. Из них более ценным комплексом технических свойств обладают полипиромеллитимиды на основе 4,4'-диаминодифенилового эфира.

Эти полимеры применяют для получения изоляционных лаков, тканей, волокон, пленок и прессматериалов.

#### ПЛЕНКИ НА ОСНОВЕ ПОЛИИМИДОВ

Пленка ПМ (ТУ № П-551—67). Свойства неориентированной пленки ПМ (толщиной 30—50 мк) приведены ниже (см. также рис. 1):

Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,42
Предел прочности при растяжении, кг/см <sup>2</sup>	
при 25° С . . . . .	1 200—1 600
> 200° С . . . . .	800—900
> 300° С . . . . .	570—600
Модуль упругости при растяжении, кг/см <sup>2</sup>	
при 20—25° С . . . . .	28 000—30 000
> 200° С . . . . .	17 500—19 000
Относительное удлинение при разрыве, %	
при 25° С . . . . .	10—40
> 200° С . . . . .	20—40
> 300° С . . . . .	40—50
Модуль Юнга (при упругом одноосном растяжении), кг/см <sup>2</sup> . . . . .	1 · 10 <sup>10</sup> —5 · 10 <sup>10</sup>
Коэффициент трения . . . . .	0,08—0,1
Удельное объемное электрическое сопротивление, ом · см	
при 25° С . . . . .	1 · 10 <sup>15</sup> —10 <sup>17</sup>
> 200° С . . . . .	1 · 10 <sup>13</sup>
> 250° С . . . . .	1 · 10 <sup>12</sup>
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 <sup>3</sup> гц	
при 25° С . . . . .	0,0025—0,0030
> 200° С . . . . .	0,003—0,0035
> 250° С . . . . .	0,0025—0,0030

Диэлектрическая проницаемость при 25°С	3,7
» 200°С	3,2
Электрическая прочность, кВ/мм	100-200
Морозостойкость, °С	-190
Коэффициент теплопроводности, кал/(см·сек·град)	$0,982 \cdot 10^{-1}$
Коэффициент термического линейного расширения, град <sup>-1</sup>	$2 \cdot 10^{-4}$
Газопроницаемость, см <sup>3</sup> ·см/(сек·см <sup>2</sup> ·атм)	
Н <sub>2</sub>	$3,11 \cdot 10^{-8}$
N <sub>2</sub>	$0,021 \cdot 10^{-8}$
He	$3,30 \cdot 10^{-8}$

Данные об изменении физико-механических и электрических свойств пленки в процессе ее старения при 300, 350 и 400°С приведены ниже и на рис. 2 и 3.

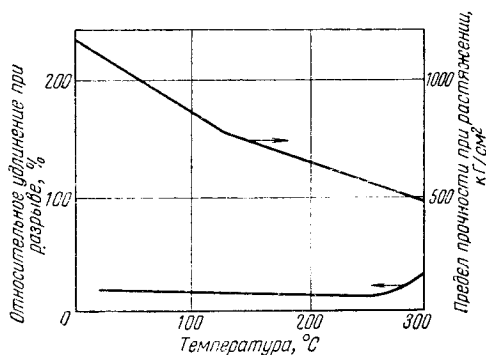


Рис. 1. Зависимость предела прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве полиимидной пленки от температуры.

Изменение физико-механических и электрических свойств \*

Показатели	Исходные данные	Продолжительность					
		при 300°С					
		300	500	900	1200	1700	2200
Предел прочности при растяжении, кг/см <sup>2</sup>	1200-1600	1600-1460	1170-1910	1200-1400	1050-1400	900-1280	975-1285
Относительное удлинение при разрыве, %	25-60	40-75	45-65	25-75	20-60	20-55	20-60
Удельное объемное электрическое сопротивление, ом·см	$3,6 \cdot 10^{16}$ - $8,1 \cdot 10^{16}$	$2,1 \cdot 10^{16}$ - $2,9 \cdot 10^{16}$	$1,7 \cdot 10^{16}$ - $3,3 \cdot 10^{16}$	-	-	$7,0 \cdot 10^{16}$ - $8,5 \cdot 10^{16}$	$3,0 \cdot 10^{16}$ - $3,3 \cdot 10^{16}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при 10 <sup>3</sup> гц	0,0028	0,0013	0,0021	-	-	0,0026	0,0015
Электрическая прочность, кВ/мм	282	-	-	-	-	63-172	-

\* Испытания проводили при 20-23°С, толщина пленки 40-50 мк.

Пленка ПМ обладает высокой износостойкостью и низким коэффициентом трения (0,08-0,10). Усадка ее при 200°С составляет всего 0,3%. Это позволяет использовать пленку в печатных схемах

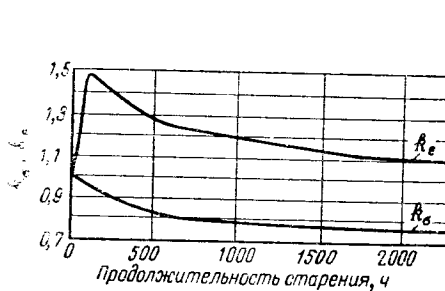


Рис. 2. Зависимость изменения предела прочности при растяжении ( $k_{\sigma} = \sigma_{\tau}/\sigma_0$ ) и относительного удлинения при разрыве ( $k_{\epsilon} = \epsilon_{\tau}/\epsilon_0$ ) полиимидной пленки ПМ от продолжительности старения при 300°С.

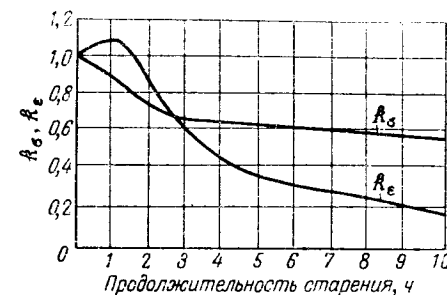


Рис. 3. Зависимость изменения предела прочности при растяжении и относительного удлинения при разрыве полиимидной пленки ПМ от продолжительности старения при 400°С.

и магнитных лентах, где усадка вызывает искажение сигналов. Пленка ПМ может длительное время работать при высокой температуре в глубоком вакууме, практически без выделения летучих. Скорость испарения летучих при 370°С и давлении  $10^{-7} - 10^{-8}$  мм рт. ст. составляет менее  $10^{-6}$  г/(см<sup>2</sup>·сек). Это позволяет применять ее в герметичных вакуумных сосудах при высокой температуре. Данные о потере массы пленкой ПМ в процессе старения приведены

полиимидной пленки ПМ в процессе старения

Продолжительность старения, ч	Изменение массы пленки							
	при 350°С				при 400°С			
	25	50	100	150	200	2	5	10
1200-1400	1150-1300	1150-1370	800-1170	675-945	960-1220	700-900	500-960	
30-60	28-62	35-65	5-15	< 5-10	15-30	5-10	5-10	
$3,5 \cdot 10^{16}$ - $8,1 \cdot 10^{16}$	$1,2 \cdot 10^{16}$ - $3,0 \cdot 10^{16}$	$9 \cdot 10^{15}$ - $8 \cdot 10^{15}$	$1,1 \cdot 10^{16}$	$8,1 \cdot 10^{15}$	$1,9 \cdot 10^{16}$	$5,0 \cdot 10^{16}$	$7,6 \cdot 10^{15}$	
0,0029	0,0030	0,0031	0,0024	0,0029	0,0017	0,0029	0,0018	
-	-	205	-	65-110	120-200	217	46-91	

на рис. 4. Пленка ПМ металлизруется, металлы наносятся электролитическим методом или вакуумным напылением.

Весьма интересным и важным свойством полипиромеллитимидов является высокая радиационная стойкость. После облучения дозой 10 000 *Мрад* пленка ПМ сохраняет эластичность и хорошие физико-механические свойства, тогда как полиэтилен и полистирол разрушаются при дозе облучения 500—600 *Мрад*.

Пленка ПМ находит широкое применение в различных отраслях техники. Особый интерес представляет использование ее в качестве

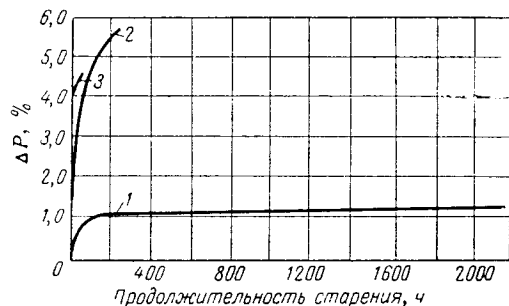


Рис. 4. Зависимость потери массы полиимидной пленки ПМ от продолжительности старения:

1 — при 300°С; 2 — при 350°С; 3 — при 400°С.

пазовой, межфазной и основной изоляции в двигателях и генераторах, а также в других электрических машинах и аппаратах. Благодаря высокой электрической и механической прочности пленки можно уменьшить толщину изоляции в двигателях, а также повысить мощность двигателей без увеличения их габаритов.

На основе полипиромеллитимидов выпускается также изоляционный лак ЛАК-1 (ТУ № П-489—66).

#### ПРЕССОВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ПОЛИИМИДОВ

Полиимиды IV группы применяются не только для получения покрытий, пленок и волокон, но и в качестве прессовочных и литевых материалов, а также связующих и клеев. Эта группа полиимидов, имея хорошие технические свойства, отличается от полипиромеллитимидов только несколько меньшей термостойкостью. Благодаря высокой стойкости к истиранию, низкому коэффициенту трения (без смазки 0,10—0,17) и высокой механической прочности полиимидные прессматериалы применяются для изготовления самосмазывающихся подшипников скольжения, рассчитанных на длительную эксплуатацию при высоких температурах, а также для изготовления различных изделий конструкционного назначения.

Ниже приведены показатели физико-механических и электрических свойств полиимидных прессовочных материалов марки ПМ-67:

	При 20°С	При 250°С
Плотность, $г/см^3$ . . . . .	1,36—1,39	
Предел прочности при растяжении, $кг/см^2$ . . . . .	1200—1300	485—605
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	5,5—14,7	7,5—9,5
Твердость по Бринеллю, $кг/мм^2$ . . . . .	24,9—29,5	
Удельное электрическое сопротивление		
поверхностное, $ом$ . . . . .	$8,5 \cdot 10^{15}$ — $2,1 \cdot 10^{16}$	$8,6 \cdot 10^{13}$
объемное, $ом \cdot см$ . . . . .	$8,1 \cdot 10^{15}$ — $1,2 \cdot 10^{16}$	$4,9 \cdot 10^{13}$ — $5,6 \cdot 10^{13}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^5$ $гц$ . . . . .	0,0017—0,0019	0,0038—0,0043
Диэлектрическая проницаемость при $10^3$ $гц$ . . . . .	3,2—3,3	3,0—3,1
Электрическая прочность, $кв/мм$ . . . . .	24,6—28,6	—
Теплостойкость по Вика, °С . . . . .	270—290	
Водопоглощение за 24 ч, % . . . . .	0,03—0,05	
Коэффициент трения по полированной стали . . . . .	0,07—0,1	

Полиимид ПМ-67 может длительно эксплуатироваться при 250—275°С. В области этих температур он имеет высокую стойкость к окислению и ионизирующему излучению. Полимер устойчив также к действию растворителей, масел, но разрушается при длительном кипячении в воде и при воздействии водяных паров. Термостойкость полиимида ПМ-67 несколько ниже термостойкости полипиромеллитимидов. В полиимид ПМ-67 могут быть введены в большом количестве (10—80%) различные антифрикционные добавки, такие как графит, тальк. Изделия из полиимида ПМ-67 могут быть изготовлены компрессионным прессованием и литьем под давлением при 380—420°С и давлении 25—100  $кг/см^2$  (в зависимости от размеров и конфигурации изделий). Усадка при прессовании составляет 0,8—1,0%.

#### ПОЛИИМИДНЫЕ СВЯЗУЮЩИЕ

Полиимидные связующие обладают лучшими прочностными показателями и лучшей стойкостью к окислению при высоких температурах, чем феноло-формальдегидные, эпоксидные и полисилоксановые смолы. Однако применение полиимидных связующих требует разработки специальной технологии изготовления стеклопластиков. При этом следует учитывать специфику свойств полиимидов.

НИИПМ совместно с ИВС АН СССР разработали несколько марок полиимидных связующих (СП-1, 2, 3, 5). Технология получения стеклопластиков на их основе разрабатывалась совместно с

ВИАМ. Физико-механические свойства некоторых типов стеклопластиков на полиимидных связующих приведены ниже.

Физико-механические свойства стеклопластиков \*

Марка стеклопластика	Содержание связующего в стеклопластике %	Предел прочности при изгибе, кг/см <sup>2</sup>								
		в исходном состоянии		после термостарения при 300° С						потеря массы, %
		при 20° С	при 300° С	100 ч	500 ч	1000 ч	1500 ч	2000 ч		
СТП-1	25-30	5500-7000	2800-3350	3200-3500	3000-3600	2600-3000	1500-2300	1000-1300	0,75	
СТП-2	25-30	2200	2300	1300	1400	—	1600	2000	2,0	
СТП-3	25-30	3600-4400	2300-2500	2300-2700	2800-3200	2900-2800	1250-1900	—	1,0	
СТП-5	23-25	6500-6700	3000-3600	3200-4600	3200-4500	—	3500-3700	3050-3100	0,5	
СТП-6	35-40	3190-3700	—	3100	2900	2650	—	—	—	

\* Испытания проводили на образцах размером 55×6×4 мм

Показатели электрических свойств стеклопластиков СТП-1 и СТП-3 приведены ниже:

	СТП-1	СТП-3
Удельное объемное электрическое сопротивление, ом·см . . . . .	$6,0 \cdot 10^{15}$	$6,7 \cdot 10^{15}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^6$ гц . . . . .	0,0050	0,0056
Диэлектрическая проницаемость . . . . .	5,5	4,5

#### КЛЕИ НА ОСНОВЕ ПОЛИИМИДОВ

Полиимиды отличаются хорошими адгезионными свойствами. Благодаря этому многие из них могут использоваться в качестве конструкционных клеев.

Ниже приведены результаты испытаний полиимидного клея СП-1, применяемого для склеивания дуралюмина Д-16АГ.

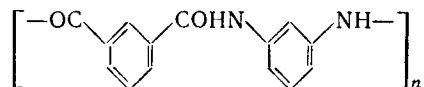
Температура испытания °С	Предел прочности клеевого соединения при сдвиге кг/см <sup>2</sup>
20	185-220
200	125-150
250	110-125
275	80-100
300	30-50
После термостарения в течение 500 ч при 200° С	
20	150-220
200	110-130

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Адлова Н. А., Котон М. М. и др., ДАН СССР, 165, № 5, 1069 (1965).
2. Виноградова С. В., Коршак В. В. и др., Высокомол. соед., № 5, 809 (1966).
3. Закощиков С. А., Власова К. Н. и др., Пласт. массы, № 1, 14 (1966).
4. Закощиков С. А., Руженцева Г. А., Высокомол. соед., № 7, 1231 (1966).
5. Котон М. М., Рудаков А. П. и др., ЖПХ, 38, 2728 (1965).
6. Сидорова А. В., Бессонов М. И., Котон М. М. и др., ДАН СССР, 165, 848 (1965).
7. Рудаков А. П., Котон М. М. и др., ДАН СССР, 161, 617 (1965).
8. Болдырев А. Г., Адлова Н. А., Бессонов М. И. и др., ДАН СССР, 163, 1143 (1965).
9. Власова К. Н., Чернова А. Г., Пласт. массы, № 10, 26 (1967).
10. Рудаков А. П., Флоринский Ф. С., Бессонов М. И., Власова К. Н. и др., Пласт. массы, № 9, 26 (1967).
11. Флоринский Ф. С., Котон М. М. и др., Хим. волокна, № 5, 20 (1966).
12. Закощиков С. А., Зубарева Г. М. и др., Высокомол. соед., № 8, 1440 (1965).
13. Власова К. Н., Чернова А. Г., Доброхотова М. Л. и др., Пласт. массы, № 5 (1968).
14. Гусев И., Абдула-Заде Э., Химия и технология полимеров, № 11 (1965).

## ФЕНИЛОН

**Ф**енилон — поли-*m*-фениленизофталамид — ароматический полиамид, представляющий собой продукт поликонденсации ароматического диамина (*m*-фенилендиамина) и производных ароматических дикарбоновых кислот (изофталевой кислоты):



Для фенилона, как и для других ароматических полиамидов, характерны высокие температуры стеклования ( $270^\circ\text{C}$ ) и плавления ( $430^\circ\text{C}$ ) и, следовательно, достаточно высокая (до  $260^\circ\text{C}$ ) температура длительной эксплуатации, повышенная радиационная и химическая стойкость и другие ценные свойства.

Молекулярный вес фенилона, пригодного для переработки в изделия, равен 20 000—70 000.

Удельная вязкость 0,5%-ного раствора такого полимера в концентрированной серной кислоте (плотность  $1,84\text{ г/см}^3$ ) составляет 0,8—1,6; характеристическая вязкость — 1,3—2,4.

Фенилон представляет собой аморфный полимер, который быстро кристаллизуется при  $340\text{—}360^\circ\text{C}$  или при более низких температурах при длительном нагревании.

Фенилон не растворяется в спиртах, ацетоне, алифатических и ароматических углеводородах, бензине, керосине, маслах и т. д. Он растворим лишь в концентрированной серной и хлорсульфоновой кислотах, диметилацетамиде, диметилформамиде с добавкой некоторых неорганических солей и ряде других подобных растворителей.

Фенилон получают двумя способами — эмульсионной поликонденсацией и поликонденсацией в растворе.

При эмульсионной поликонденсации (рис. 1) охлажденный до  $5\text{—}10^\circ\text{C}$  водный содовый раствор *m*-фенилендиамина (МФДА) смешивают с раствором дихлорангидрида изофталевой кислоты (ХАИК) в тетрагидрофуране (ТГФ). Основная реакция синтеза полимера протекает в органической фазе образовавшейся эмульсионной системы, а нейтрализация образующегося побочного продукта — хлористого водорода — происходит в водной фазе. Продолжительность синтеза обычно не превышает 1 мин. После осаждения

полимер отфильтровывают, промывают горячей водой, снова отфильтровывают и сушат при  $100\text{—}110^\circ\text{C}$  в вакууме в течение 2 ч. После просеивания полимер в виде тонкодисперсного порошка (размер частиц  $20\text{—}100\text{ мк}$ , насыпная масса  $0,15\text{—}0,35\text{ г/см}^3$ ) упаковывают в полиэтиленовые мешки.

Методом эмульсионной поликонденсации получают фенилон марок ВА и ВБ и прессматериал фенилон.

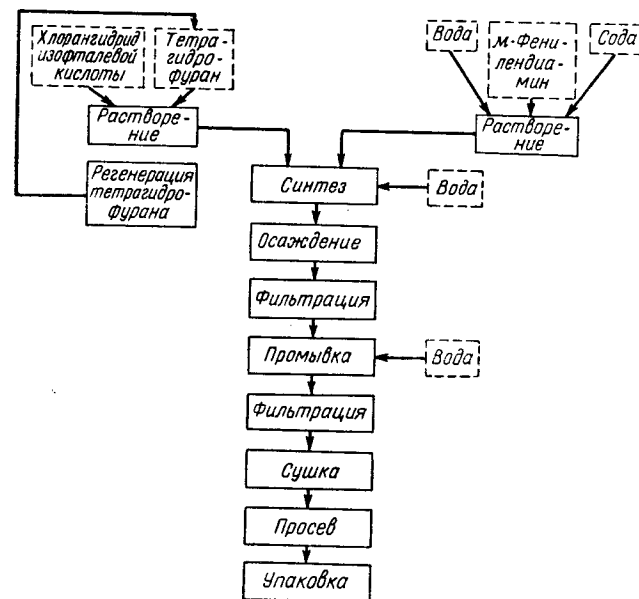


Рис. 1. Схема получения фенилона методом эмульсионной поликонденсации.

Синтез фенилона марки С и прессматериала фенилон С, которые представляют собой сополимер на основе *m*- и *p*-фенилендиаминов и изофталевой кислоты, проводят по описанной выше схеме, используя вместо содового раствора *m*-фенилендиамина содовый раствор обоих диаминов.

Синтез фенилона методом низкотемпературной поликонденсации в растворе (рис. 2) проводится путем введения твердого дихлорангидрида изофталевой кислоты (ХАИК) в охлажденный до температуры от  $-10$  до  $-15^\circ\text{C}$  перемешиваемый раствор *m*-фенилендиамина (МФДА) в диметилацетамиде (ДМАА). Образование полимера заканчивается через  $40\text{—}60\text{ мин}$ . Выделяющийся при поликонденсации хлористый водород вступает в реакцию с диметилацетамидом, образуя солянокислый диметилацетамид, который

частично выпадает в осадок в образующемся вязком растворе полимера. Таким образом, диметилацетамид в данном процессе одновременно выполняет функции как растворителя образующегося полимера, так и акцентора хлористого водорода, являющегося побочным продуктом реакции поликонденсации. В результате получается продукт, который представляет собой раствор фенилона (концентрация 18—25%), содержащий 5—10% хлористого водорода в виде

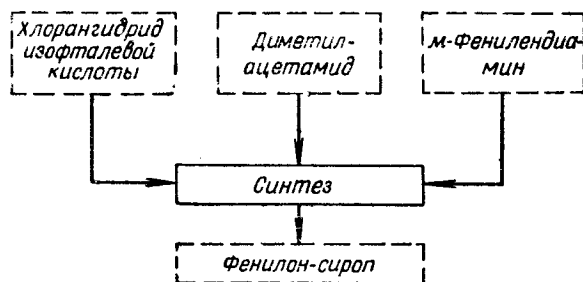


Рис. 2. Схема получения фенилона методом поликонденсации в растворе.

солянокислого диметилацетамида. Данный продукт получил название фенилон-сироп.

В настоящее время выпускается фенилон следующих марок:

**Фенилон ВА (ТУ № В-119 — 68).** Предназначается для получения волокна и электроизоляционной бумаги с температурой эксплуатации 200—250° С и температурой хрупкости до —70° С. Фенилон ВА должен удовлетворять следующим требованиям:

Дисперсность (остаток после просева на сите с ячейками 0,2 мм), %, не более . . . . .	1,5
Удельная вязкость 0,5%-ного раствора в диметилформамиде с 5% LiCl . . . . .	1,25—1,50
Содержание, %, не более	
влаги . . . . .	5
зола . . . . .	0,15
низкомолекулярной фракции . . . . .	15
Прозрачность 5%-ного раствора в диметилформамиде, %, не менее . . . . .	85

**Фенилон ВВ (ТУ № В-120 — 68).** Выпускается трех марок — ВВ-1, ВВ-2 и ВВ-3, различающихся значениями удельной вязкости 0,5%-ного раствора полимера в диметилформамиде с 5% LiCl:

ВВ-1 . . . . .	1,5—1,7
ВВ-2 . . . . .	1,7—1,9
ВВ-3 . . . . .	1,8—2,0

Фенилон ВВ используется для получения волокна и должен удовлетворять следующим требованиям:

Дисперсность (остаток после просева на сите с ячейками 0,2 мм), %, не более . . . . .	1,5
Содержание, %, не более	
влаги . . . . .	5
зола . . . . .	0,15
низкомолекулярной фракции . . . . .	15
Прозрачность 0,5%-ного раствора в диметилформамиде, %, не более . . . . .	85

**Раствор фенилона (реакционный сироп) (ТУ № В-76—66).** Применяется для получения волокна и электроизоляционной бумаги с температурой эксплуатации 200—250° С и температурой хрупкости до —70° С. Раствор представляет собой вязкую гомогенную жидкость и должен удовлетворять следующим требованиям:

Концентрация полимера в растворе, г/100 мл, не менее . . . . .	20
Удельная вязкость 0,5%-ного раствора полимера в диметилформамиде с 5% LiCl, не менее . . . . .	1,0
Содержание низкомолекулярной фракции в выделенном полимере, %, не более . . . . .	8
Содержание HCl, г/100 мл, не более . . . . .	0,5

**Прессматериал фенилон (ТУ № В-75 — 66).** Представляет собой термостабильный, топливо-, водо-, щелоче-, масло- и бензостойкий материал с высокими показателями механических, антифрикционных и электрических свойств. Подвергается различным видам механической обработки. Предназначен для получения методом прессования деталей тропического исполнения, работающих при температурах от —60 до +250° С в течение 2000 ч, а также терлостойкого пористого фильтрующего материала. По внешнему виду — это мелкодисперсный порошок белого цвета. Должен удовлетворять следующим требованиям:

Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,3—1,4
Насыпная масса, г/см <sup>3</sup> . . . . .	0,1—0,25
Удельная вязкость 0,5%-ного раствора в диметилформамиде с 5% LiCl, не менее . . . . .	0,75
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup> , не менее	
при растяжении . . . . .	800
» статическом изгибе . . . . .	1100
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> , не менее . . . . .	10
Удельное электрическое сопротивление, не менее	
объемное, ом·см . . . . .	1·10 <sup>14</sup>

после выдержки в течение 48 ч при 40° С и 98%-ной относительной влажности . . . . .	1 · 10 <sup>14</sup>
поверхностное, ом . . . . .	1 · 10 <sup>14</sup>
после выдержки в течение 48 ч при 40° С и 98%-ной относительной влажности . . . . .	1 · 10 <sup>14</sup>
Электрическая прочность, кв/мм, не менее . . . . .	22
Теплостойкость по Вика, °С, не ниже . . . . .	270
Усадка после прессования, %, не более . . . . .	1

**Прессматериал фенилон С (ТУ № В-91 — 67).** Представляет собой мелкодисперсный порошок розоватого цвета. Обладает лучшими технологическими свойствами по сравнению с прессматериалом фенилон. Детали, полученные из фенилона С, могут работать в течение 2000 ч при температуре от —60 до +250° С. Материал должен удовлетворять следующим требованиям:

Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,30—1,33
Насыпная масса, г/см <sup>3</sup> . . . . .	0,24—0,35
Удельная вязкость 0,5%-ного раствора в диметилформамиде с 5% LiCl, не менее . . . . .	0,8
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup> , не менее при растяжении . . . . .	800
» статическом изгибе . . . . .	1100
Удельная ударная вязкость, кг · см/см <sup>2</sup> , не менее . . . . .	20
Удельное электрическое сопротивление, не менее объемное, ом · см . . . . .	5 · 10 <sup>13</sup>
после выдержки в течение 48 ч при 40° С и 98%-ной относительной влажности . . . . .	5 · 10 <sup>13</sup>
поверхностное, ом . . . . .	1 · 10 <sup>14</sup>
после выдержки в течение 48 ч при 40° С и 98%-ной относительной влажности . . . . .	1 · 10 <sup>14</sup>
Электрическая прочность, кв/мм, не менее . . . . .	25
Теплостойкость по Вика, °С, не ниже . . . . .	270
Усадка после прессования, %, не более . . . . .	1

**Фенилон С (ТУ № В-80 — 67).** Предназначается для получения электроизоляционного лака (раствор в диметилсульфоксиде или диметилацетамиде) ЛФС-1 (ТУ № В-117—68), пленок, влагостойких покрытий с хорошими электроизоляционными свойствами, работающих в различных климатических условиях при температурах до 250° С. По внешнему виду — мелкодисперсный порошок бледно-розового цвета, лак — однородный прозрачный раствор. Материал должен удовлетворять следующим требованиям:

Удельная вязкость 0,5%-ного раствора в диметилформамиде с 5% LiCl, не менее . . . . .	0,9
Содержание, %, не более	
влаги . . . . .	5,0
зола . . . . .	0,10
Растворимость полимера в диметилацетамиде (или диметилсульфоксиде), г/100 мл, не менее . . . . .	20

### ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛАСТМАСС НА ОСНОВЕ ФЕНИЛОНА

Пластмассы на основе фенилона обладают высокими показателями физико-механических свойств в широком интервале температур и по ряду показателей, в том числе по теплостойкости, значительно превосходят полиамиды, получаемые в промышленности.

Ниже приведены данные об основных физико-механических свойствах пластмасс из фенилона:

Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,33—1,36
Предел прочности при растяжении, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	800—1200
Предел упругости при сжатии, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	До 3200
Удельная ударная вязкость (по Шарпи), кг · см/см <sup>2</sup> . . . . .	15—35
Модуль упругости при сжатии, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	До 44 000
Твердость по Бринеллю, кг/мм <sup>2</sup> . . . . .	До 34
Теплостойкость по Вика, °С . . . . .	270
Морозостойкость, °С . . . . .	Около —70

### Зависимость физико-механических свойств пластмасс из фенилона от температуры

Температура °С	Предел прочности при растяжении кг/см <sup>2</sup>	Относительное удлинение при разрыве %	Температура °С	Предел прочности при растяжении кг/см <sup>2</sup>	Относительное удлинение при разрыве %
—70	1270	5,0	120	820	5,8
—50	1250	5,0	230	630	5,0
20	1030	5,0	250	630	6,6

### ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК И ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ФЕНИЛОНА С

Ниже приведены показатели физико-механических свойств неориентированных пленок из фенилона С:

Предел прочности при растяжении, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	~ 700
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	~ 15
Теплостойкость, °С . . . . .	До 260
Морозостойкость, °С . . . . .	Ниже —50

После пропитки фенилоновым лаком электрические провода обладают достаточной износостойкостью, морозостойкостью,

стойкостью к действию маслокеросиновой смеси, а также удовлетворительным удельным объемным электрическим сопротивлением (порядка  $10^{13}$  ом·см).

Ниже приведены результаты сравнительных испытаний на стойкость к двойным перегибам проводов с жилой из медных посеребренных проволок с изоляцией из кремнийорганической резины с различными защитными покрытиями, в том числе и фенилоновым лаком.

Стойкость проводов с различными защитными покрытиями к двойным перегибам

Защитное покрытие	Число поломанных проволок, %		
	1000 перегибов	1600 перегибов	2500 перегибов
Оплетка из лавсановых нитей, лакированных фенилоновым лаком . . . . .	—	1,5	38
Монолитная оболочка из фторопласта-4М . . . . .	100	—	—
Оплетка из фторопластовых нитей, лакированных фторопластовым лаком . . . . .	1,5	—	89
Оплетка из капроновых нитей, лакированных полиэфирным лаком . . . . .	—	100	—

### ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛАСТМАСС НА ОСНОВЕ ФЕНИЛОНА

Фенилон является хорошим диэлектриком, свойства которого сравнительно мало изменяются при старении. Данные об электрических свойствах пластмасс из фенилона приведены ниже:

Электрические свойства пластмасс из прессматериала фенилон

Температура испытания °С	Удельное электрическое сопротивление		Электрическая прочность* кв/мм
	объемное ом·см	поверхностное ом	
20	$1,5 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{14}$	27,0
20 (после выдержки в течение 48 ч при 40°С и 98%-ной относительной влажности)	$1,3 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{14}$	—
220	$5,5 \cdot 10^{13}$	$6,5 \cdot 10^{13}$	—

\* Определялась в трансформаторном масле.

Изменение электрических свойств пластмасс из фенилона после теплового старения при 220°С

Показатели	Температура испытаний °С	Исходные данные	Продолжительность старения, ч					
			500	1000	1500	2000	2500	3000
Удельное объемное электрическое сопротивление, ом·см . . . . .	20 (после выдержки в течение 48 ч при 40°С и 98%-ной относительной влажности)	$1,3 \cdot 10^{14}$ $1,3 \cdot 10^{14}$	$1,3 \cdot 10^{14}$ $1,3 \cdot 10^{14}$	$1,3 \cdot 10^{14}$ $1,3 \cdot 10^{14}$	$1,3 \cdot 10^{14}$ $1,3 \cdot 10^{14}$	$1,3 \cdot 10^{14}$ $1,3 \cdot 10^{14}$	$1,3 \cdot 10^{14}$ $1,3 \cdot 10^{14}$	$1,3 \cdot 10^{14}$ $1,3 \cdot 10^{14}$
	220	$5,5 \cdot 10^{13}$	$9,2 \cdot 10^{13}$	$7,7 \cdot 10^{13}$	$4,2 \cdot 10^{13}$	$6,9 \cdot 10^{13}$	$3,5 \cdot 10^{13}$	
Удельное поверхностное электрическое сопротивление, ом . . . . .	20 (после выдержки в течение 48 ч при 40°С и 98%-ной относительной влажности)	$1,2 \cdot 10^{14}$ $1,2 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{14}$ $1,2 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{14}$ $1,2 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{14}$ $1,2 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{14}$ $1,0 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{14}$ $2,5 \cdot 10^{13}$	
	220	$6,5 \cdot 10^{13}$	$1,2 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{14}$	$5,0 \cdot 10^{13}$	$1,0 \cdot 10^{14}$		
Электрическая прочность*, кв/мм . . . . .	20 220	27,0 —	—	15,7**	—	16,2**	—	14,5**

\* При 20°С определялась в трансформаторном масле, при 220°С — в воздушной камере.

\*\* При дальнейшем повышении напряжения происходило перекрытие по воздуху между электродами (испытания проводились на нестандартных образцах).



**Электрические свойства пластмасс из прессматериала фенилон С**

Температура испытаний, °С	Удельное электрическое сопротивление		Электрическая прочность кв/мм
	объемное ом·см	поверхностное ом	
20 (после выдержки в течение 48 ч при 40°С и 98%-ной относительной влажности)	8,0 · 10 <sup>13</sup> 8,0 · 10 <sup>13</sup>	1,2 · 10 <sup>14</sup> 1,2 · 10 <sup>14</sup>	23,4*
220	1,4 · 10 <sup>13</sup>	3,1 · 10 <sup>13</sup>	—
250	3,2 · 10 <sup>12</sup>	1,2 · 10 <sup>13</sup>	—

\* Определялась в трансформаторном масле.

Электрические свойства пластмасс из фенилона мало изменяются при повышении температуры:

	$\epsilon$	$\operatorname{tg} \delta \cdot 10^2$
20°С	5,5	1,0
260°С	6,0	1,0

Дугостойкость фенилона, которая определялась по продолжительности горения дуги между электродами, установленными на поверхности материала под углом 45°, при напряжении переменного тока 1000 в и расстоянии между электродами 8 мм составляет 1,6 сек.

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ФЕНИЛОНА С**

Показатели электрических свойств покрытий на основе фенилона С представлены ниже:

Температура испытаний °С	Удельное электрическое сопротивление		Электрическая прочность кв/мм
	объемное ом·см	поверхностное ом	
20	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	103,4
20 (после выдержки в течение 48 ч при 40°С и 98%-ной относительной влажности)	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	55,3
220	1,3 · 10 <sup>13</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	—
250	1,2 · 10 <sup>13</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	105

**Изменение удельного объемного ( $\rho_v$ ) и поверхностного ( $\rho_s$ ) электрического сопротивления покрытий из фенилона С после теплового старения при 220 и 250°С**

Исходные данные	Старение при 220°С						Старение при 250°С*					
	испытание при 20°С		испытание при 220°С		испытание при 20°С после выдержки в течение 48 ч при 40°С и 98%-ной относительной влажности		испытание при 20°С		испытание при 250°С		испытание при 20°С после выдержки в течение 48 ч при 40°С и 98%-ной относительной влажности	
	$\rho_v$ ом·см	$\rho_s$ ом	$\rho_v$ ом·см	$\rho_s$ ом	$\rho_v$ ом·см	$\rho_s$ ом	$\rho_v$ ом·см	$\rho_s$ ом	$\rho_v$ ом·см	$\rho_s$ ом	$\rho_v$ ом·см	$\rho_s$ ом
100	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	1,3 · 10 <sup>13</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>
300	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	7,0 · 10 <sup>13</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>
500	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	4,4 · 10 <sup>14</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	8,0 · 10 <sup>13</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	7,2 · 10 <sup>14</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>
1000	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	1,5 · 10 <sup>14</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	1,6 · 10 <sup>13</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	5,6 · 10 <sup>14</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>
1500	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	1,1 · 10 <sup>14</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	1,5 · 10 <sup>13</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	5,7 · 10 <sup>14</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>
2000	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	2,5 · 10 <sup>14</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	6,5 · 10 <sup>13</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	3,2 · 10 <sup>14</sup>	4,2 · 10 <sup>13</sup>
	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	3,6 · 10 <sup>13</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	1,4 · 10 <sup>15</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	1,9 · 10 <sup>14</sup>	6 · 10 <sup>13</sup>	1 · 10 <sup>13</sup>	4,4 · 10 <sup>12</sup>

\* После старения в течение 1000, 1500 и 2000 ч наблюдалось отделение пленки от стальной подложки.

Высокие показатели электрических свойств сохраняются после пребывания в условиях повышенной влажности и после выдержки в течение длительного времени при 220 и 250°С (см. таблицу на стр. 335).

Изменение электрической прочности (в кв.м) покрытий из фенилона С после теплового старения при 220 и 250°С

Продолжительность старения ч	Старение при 220°С			Старение при 250°С *		
	испытание при 20°С	испытание при 220°С	испытание при 20°С после пребывания в течение 48 ч при 40°С и 98%-ной относительной влажности	испытание при 20°С	испытание при 250°С	испытание при 20°С после пребывания в течение 48 ч при 40°С и 98%-ной относительной влажности
Исходные данные	103,4	—	53,3	103,4	105,0	53,3
100	61,5	76,0	51,2	78,3	61,1	63,1
300	104,8	—	71,0	101,1	115,8	55,4
500	76,2	66,2	77,5	65,6	94,4	80,1
1000	53,7	47,2	43,1	33,2	49,4	31,3
1500	61,8	24,9	25,1	75,0	31,7	78,2
2000	37,8	24,3	29,2	75,3	46,9	35,1

\* После старения в течение 1000, 1500, 2000 ч наблюдалось отслоение пленки от стальной подложки.

### ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛАСТМАСС НА ОСНОВЕ ФЕНИЛОНА

Теплофизические свойства фенилона мало изменяются с температурой и по своим показателям близки к свойствам фторопластов.

Зависимость теплофизических свойств пластмассы из прессматериала фенилон С от температуры

Температура °С	Коэффициент теплопроводности ккал/(м·ч·град)	Коэффициент температуропроводности $\times 10^4$ м <sup>2</sup> /ч	Удельная теплоемкость ккал/(кг·град)
20	0,16	3,7	0,34
50	0,17	3,4	0,39
100	0,20	3,4	0,46
150	0,22	3,2	0,52
200	0,24	3,2	0,58

Ниже приведены значения коэффициента термического линейного расширения фенилона при различных температурах.

Температура °С	Коэффициент термического линейного расширения $\times 10^6$ град <sup>-1</sup>	Температура °С	Коэффициент термического линейного расширения $\times 10^6$ град <sup>-1</sup>
От -196 до -190	39,8	От -130 до -90	38,9
От -190 до -180	60,4	От -90 до -30	30,2
От -180 до -170	99,3	От -30 до 0	34,5
От -170 до -160	77,7	От 0 до +30	34,5
От -160 до -150	51,8	От 30 до 150	38,9
От -150 до -140	43,2	От 150 до 220	34,5
От -140 до -130	43,2	От 220 до 250	25,9

При температурах от 0 до 120°С коэффициент термического линейного расширения фенилона в 1,5—2 раза ниже, чем полиметилметакрилата СТ-1 и фторопласта-42Л, и в 2,3—3 раза ниже, чем фторопласта-4, полиэтилена низкого давления марки П-2020Т и ударопрочного полистирола.

### ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛАСТМАСС НА ОСНОВЕ ФЕНИЛОНА

Ниже и на стр. 338 приведены данные по химической стойкости и топливостойкости пластмасс из фенилона. Химическая стойкость оценивалась по изменению массы образцов и их прочности при растяжении после выдержки в среде реагента в течение 165 ч при комнатной температуре. Топливостойкость определялась по увеличению массы образцов после выдержки их в течение определенного времени в топливе при комнатной температуре.

Химическая стойкость пластмасс из фенилона

Среда	Прочность при растяжении % от исходной	Изменение массы %
Серная кислота 70%-ная . . . . .	50	+79,0
Азотная кислота 57%-ная . . . . .	70	+13,0
Соляная кислота конц. . . . .	95	+1,4
Едкое кали		
10%-ное . . . . .	100	+2,5
40%-ное . . . . .	100	+1,2
Уксусная кислота 98%-ная . . . . .	95	-0,2
Трансформаторное масло ХА-2 . . . . .	85	+0,2
Бензин «Галоша» . . . . .	100	+0,9
Диметилформамид . . . . .	0	Образцы разрушились

## Топливостойкость пластмасс из фенилона

Вид топлива	Увеличение массы (в %) после выдержки в топливе в течение			
	24 ч	240 ч	1000 ч	2000 ч
Этилированный бензин . . . . .	0,028	0,083	0,194	0,333
Смесь 75% бензина и 25% бензола	0,027	0,044	0,148	0,296
Бензин А-72 . . . . .	0,039	0,068	0,196	0,323
Дизельное топливо . . . . .	0,057	0,082	0,207	0,366
Веретенное масло . . . . .	0,027	0,068	0,141	0,251

Результаты теплового старения пластмасс из фенилона при 250 и 270° С в течение 100 ч, приведенные ниже, показывают, что фенилон является теплостойким материалом, выдерживающим без заметных изменений свойств нагревание до 270° С в течение длительного времени.

## Тепловое старение пластмасс из фенилона

Показатели	До старения	После старения в течение 100 ч	
		при 240° С	при 270° С
Потери массы, % . . . . .	—	0,96	0,98
Предел прочности при растяжении, $\text{кг/см}^2$ . . . . .	1030	970	1010
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	5,0	5,4	6,0
Удельная ударная вязкость (на приборе «Динстат»), $\text{кг} \cdot \text{см} / \text{см}^2$ . . . . .	19,7	19,5	19,8
Усадка линейная, % . . . . .	—	0,25	0,3

Пластмассы из фенилона обладают хорошей термостабильностью: количество летучих при старении в течение 3000 ч при 220° С не превышает 0,35%:

Продолжительность выдержки, ч	1	10	100	1000	3000
Потеря массы, % . . . . .	0,17	0,29	0,31	0,33	0,33

Ниже представлены результаты изменений прочностных характеристик пластмасс после естественного старения (в условиях Батуми) в течение 1 года.

## Изменение физико-механических свойств пластмасс из прессматериала фенилон после естественного старения

Показатели	До старения	После старения	
		в течение 6 месяцев	в течение 12 месяцев
Предел прочности при растяжении, $\text{кг/см}^2$ . . . . .	1030	900	970
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	5,0	7,0	6,4

Ниже приведены данные о водопоглощении пластмасс из фенилона, которое оценивалось по изменению прочностных характеристик образцов после их пребывания в воде при комнатной температуре в течение 10 суток.

Показатели	Исходные данные	После выдержки в воде
Водопоглощение, % . . . . .	—	2,7
Предел прочности при растяжении, $\text{кг/см}^2$ . . . . .	1030	940
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	5,0	4,8

## АНТИФРИКЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПЛАСТМАСС НА ОСНОВЕ ФЕНИЛОНА

Пластмассы из прессматериала фенилон обладают хорошими антифрикционными свойствами. Изменение коэффициента трения и

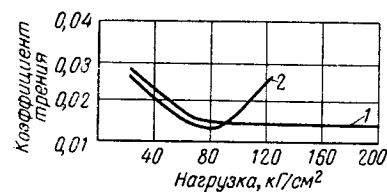


Рис. 3. Зависимость коэффициента трения пластмассы из фенилона (1) и капрона (2) от нагрузки (скорость вращения вала 2,5 м/сек; смазка — масло «индустриальное 50»; скорость подачи 1,5 л/мин).

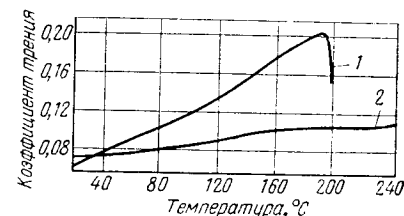


Рис. 4. Зависимость коэффициента трения пластмассы из фенилона (2) и капрона (1) от температуры (скорость скольжения 0,28 м/сек; нагрузка 50  $\text{кг/см}^2$ ; смазка — масло «индустриальное 20»; скорость подачи 1 капля/мин).

износостойкости у вкладышей для подшипников скольжения из фенилона в зависимости от скорости вращения и нагрузки (в условиях трения со смазкой) показано на рис. 3, 4 и 5. Для сравнения

там же приведены аналогичные зависимости для капрона, полученного при вторичной переработке.

Благодаря повышенной теплостойкости фенилон выдерживает при трении более высокие нагрузки. Так, например, при повышении давления до  $225 \text{ кг/см}^2$  при скорости вращения вала  $2,6 \text{ м/сек}$  температура в зоне трения вкладышей из фенилона составляла  $120-130^\circ\text{C}$ . Для вкладышей из капрона при давлении  $120 \text{ кг/см}^2$  и такой же скорости вращения вала температура в зоне трения возрастала до  $110-115^\circ\text{C}$ , т. е. была близка к температуре размягчения капрона.

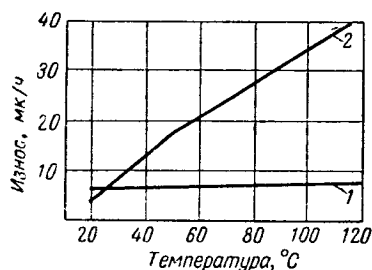


Рис. 5. Зависимость износоустойчивости пластмассы из фенилона (1) и капрона (2) от температуры (скорость скольжения  $0,57 \text{ м/сек}$ ; нагрузка  $100 \text{ кг/см}^2$ ; смазка — масло «индустриальное 20»; площадь поверхности трения  $20 \text{ мм}^2$ ).

В условиях сухого трения по стали коэффициент трения фенилона равен  $0,42$ . Износоустойчивость фенилона в этих условиях в 3—4 раза ниже, чем у капрона.

Наполнение фенилона графитом и дисульфидом молибдена (до  $8,5\%$ ) значительно улучшает его антифрикционные свойства.

Зависимость коэффициента трения \* пластмасс из прессматериала фенилон от нагрузки

Нагрузка $\text{кг/см}^2$	Фенилон		Фенилон + наполнитель ***	
	коэффициент трения	температура **, °C	коэффициент трения	температура **, °C
6	0,120	33	0,040	27
12	0,089	41	0,040	63
20	0,056	46	0,054	77
30	0,040	52	0,046	84
40	0,032	50	0,032	85
50	0,029	50	0,027	84
60	0,025	55	0,019	82
70	0,024	57	0,017	81
80	0,024	64	0,012	74

\* Скорость скольжения  $1 \text{ м/сек}$ , смазка осевым маслом «Л».  
 \*\* Приводимая температура соответствует температуре поверхности трения.  
 \*\*\* Графит и дисульфид молибдена.

Зависимость коэффициента сухого трения \* пластмасс из прессматериала фенилон от нагрузки

Нагрузка $\text{кг/см}^2$	Фенилон		Фенилон + наполнитель ***	
	коэффициент трения	температура **, °C	коэффициент трения	температура **, °C
6	0,240	105	0,240	110
12	0,453	260	0,247	200
20	Интенсивный износ, течение материала			

\* Скорость скольжения  $1 \text{ м/сек}$ .  
 \*\* Приводимая температура соответствует температуре поверхности трения.  
 \*\*\* Графит и дисульфид молибдена.

### ПЕРЕРАБОТКА ФЕНИЛОНА

Изделия из фенилона получают прессованием в нагретой прессформе. Для прессования используют аморфный прессматериал фенилон и фенилон С в виде порошка, полученного эмульсионной поликонденсацией (насыпная масса  $0,12-0,35 \text{ г/см}^3$ ) без дополнительного помола и просева. Полимер должен иметь удельную вязкость  $0,5\%$ -ного раствора в диметилформамиде не ниже  $0,75$  и остаточную влажность не выше  $1\%$ .

Конструкция прессформы должна обеспечивать двустороннее прессование, однородный нагрев поверхности всей внутренней полости прессформы и возможность измерения температуры на ее внутренней поверхности (или вблизи этой поверхности). Материал прессформы не должен корродировать при температурах до  $400^\circ\text{C}$ . Требования к чистоте обработки внутренней поверхности такие же, как и для обычных прессформ.

Параметры прессования следующие:

Температура, °C	320
Давление, $\text{кг/см}^2$	100—1500
Скорость нагревания, град/мин	Не выше 20
Продолжительность выдержки под давлением, мин	5—15
Охлаждение под давлением до температуры, °C	230

Полимер в прессформе до температуры прессования нагревают без давления.

Пленки и покрытия на основе фенилона получают из лака, который представляет собой  $5-20\%$ -ный раствор полимера в диметилформамиде, диметилацетамиде или диметилсульфоксиде.

Фенилоновый лак, приготовленный на двух последних растворителях, не загустевает по крайней мере в течение двух месяцев.

Пленка из лака изготавливается нанесением его на стеклянную подложку с последующим высушиванием при температуре около  $200^{\circ}\text{C}$ . Электроизоляционные покрытия наносятся путем двух- и трехкратного окунания в лак с высушиванием после каждого окунания по следующему режиму: нагревание до  $180^{\circ}\text{C}$  в течение 3 ч, выдержка при  $200^{\circ}\text{C}$  — 3 ч и при  $220^{\circ}\text{C}$  — 2 ч.

Пропитка изделий фенилоновым лаком также проводится окунанием (до четырех раз) с последующей сушкой изделия при температуре около  $200^{\circ}\text{C}$ .

Правила техники безопасности при работе с фенилоновым лаком обычные для работы с органическими растворителями типа диметилформамида, диметилацетамида, диметилсульфоксида.

#### ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ФЕНИЛОНА

Сочетание хороших физико-механических свойств, радиационной и химической стойкости с повышенной теплостойкостью выделяет фенилон среди других полимеров.

На основе фенилона получают волокно, которое может эксплуатироваться при температурах до  $250^{\circ}\text{C}$ . Возможные области его применения — кордная ткань, резино-технические изделия, фильтрующие ткани и т. д.

Бумага из фенилонового волокна обладает теплостойкостью  $250^{\circ}\text{C}$  и по своим свойствам (физико-механическим и диэлектрическим) превосходит лучшие образцы «тряпичной» бумаги, применяемой для электроизоляции.

Широкое использование может найти и пластмасса на основе фенилона. Изделия из фенилона (микровыключатели, платы, пластины, элементы электрооборудования и пр.) представляют интерес для электротехнической промышленности, поскольку их можно эксплуатировать при температурах до  $220^{\circ}\text{C}$  в течение не менее 3000 ч.

Подшипники из фенилона (рабочие нагрузки до  $250\text{ кг/см}^2$ , теплостойкость до  $250^{\circ}\text{C}$ ) могут найти применение в металлургической и химической промышленности, а также в различных отраслях машиностроения в качестве заменителей баббита и бронзы. Возможно также использование фенилона в качестве уплотнительного материала, работающего при температурах от  $-70$  до  $+250^{\circ}\text{C}$  при воздействии высоких нагрузок, для изделий электротехнической промышленности и различных отраслей машиностроения. Низкое значение коэффициента термического линейного расширения пластмассы из фенилона позволит, вероятно, получать из нее детали, армированные металлом, а также достаточно надежно совмещать фенилон с металлом в различных конструкциях.

Фенилон в виде лака может быть рекомендован в качестве пропиточного и покровного материала в изделиях электро- и радиотехнической промышленности, эксплуатируемых в различных климатических условиях при температурах до  $220^{\circ}\text{C}$  с ресурсом не менее 2000 ч и при  $250^{\circ}\text{C}$  — не менее 1000 ч.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов Л. Б., Кудим Т. В., ДАН СССР, 158, 1139 (1964).
2. Савинов В. М., Соколов Л. Б., Хим. волокна, № 5 (1965).
3. Кузнецов Г. А. и др., Высокомол. соед., 7, 1592 (1965).
4. Соколов Л. Б. и др., Пласт. массы, № 8 (1967).

## ПЛАСТИФИКАТОРЫ

**Р**азнообразие областей применения и методов переработки термопластов требует получения эластичных материалов, сохраняющих свои свойства в широком интервале температур. Это достигается введением в полимеры специальных веществ — пластификаторов. Введение различных пластификаторов позволяет кроме увеличения эластичности улучшить и другие свойства полимеров: морозостойкость, огнестойкость, стойкость к действию ультрафиолетовых лучей, а также условия переработки. Основными показателями, позволяющими применить то или иное химическое соединение в качестве пластификатора, являются: совместимость его с полимером, химическая стабильность, малая летучесть и, в зависимости от области применения полимера, способность улучшать свойства полимера.

Из всех полимеров поливинилхлорид и его сополимеры составляют самую большую по объему производства группу термопластов, основное количество которых перерабатывается в пластифицированном виде. Следовательно, поливинилхлорид и его сополимеры потребляют самое большое количество пластификаторов.

Из химических соединений в качестве пластификаторов наиболее часто используют сложные эфиры различных кислот. Кроме них в последнее время начали применять низкомолекулярные полиэфиры.

Полиэфирные пластификаторы обладают рядом специфических свойств, выгодно отличающих их от мономерных сложных эфиров. Они почти не мигрируют, практически не летучи, обладают масляной и бензостойкостью.

Используются в качестве пластификаторов и эпоксицированные эфиры, которые одновременно могут являться и стабилизаторами, однако они ограниченно совместимы с поливинилхлоридом.

Для придания полимеру комплекса нужных свойств часто применяют смесь пластификаторов.

### МОНОМЕРНЫЕ ПЛАСТИФИКАТОРЫ (ДИЭФИРЫ)

Синтез сложных эфиров, осуществленный в промышленности, заключается в прямой этерификации спиртов кислотами в присутствии катализаторов (серной кислоты или арилсульфокислоты).

Производство сложных эфиров состоит из следующих стадий:

- 1) этерификация;
- 2) нейтрализация;
- 3) промывка;
- 4) отгон остатков воды и избытка спирта;
- 5) обработка сорбентами;
- 6) фильтрация готового эфира.

В настоящее время разработан и осуществлен в промышленном масштабе непрерывный процесс получения сложных эфиров.

### Эфиры фталевой кислоты

Эфиры фталевой кислоты представляют собой продукты взаимодействия ангидрида ортофталевой кислоты со спиртами.

**Диметилфталат (ДМФ) (ГОСТ 8728—66).**  $o\text{-C}_6\text{H}_4(\text{COOCH}_3)_2$ , молекулярный вес 194. Представляет собой прозрачную маслянистую жидкость со слабым специфическим запахом. Требования, предъявляемые к нему по ГОСТ, приведены в таблице на стр. 347.

Диметилфталат находит широкое применение в качестве пластификатора для эфиров целлюлозы, особенно для ацетилцеллюлозы, и в меньшей степени для нитрата целлюлозы. Благодаря очень большой летучести он берется в композиции с избытком и в смеси с другими пластификаторами, с такими, например, как трифенилфосфат, триацетин, диэтилфталат и дибутилфталат. Диметилфталат пластифицирует также поливинилацетат, резины, кумароновые смолы. Он не токсичен.

**Диэтилфталат (ДЭФ) (ГОСТ 8728—66).**  $o\text{-C}_6\text{H}_4(\text{COOC}_2\text{H}_5)_2$ , молекулярный вес 222. Основные требования, предъявляемые к ДЭФ по ГОСТ, приведены на стр. 347.

ДЭФ не токсичен. Благодаря большой летучести (хотя и несколько меньшей, чем у диметилфталата) он не применяется в качестве пластификатора для поливинилхлорида. Пластифицирует эфиры целлюлозы.

**Дибутилфталат (ДБФ) (ГОСТ 8728—66).**  $o\text{-C}_6\text{H}_4(\text{COOC}_4\text{H}_9)_2$ , молекулярный вес 278. Представляет собой прозрачную маслянистую жидкость без механических примесей, со слабым специфическим запахом. Требования, предъявляемые к нему по ГОСТ, приведены на стр. 347.

Дибутилфталат является пластификатором для эфиров целлюлозы (особенно для ацетилцеллюлозы и нитрата целлюлозы); основное его применение — для поливинилхлорида и его сополимеров. Поливинилхлоридные пластикаты, пластифицированные дибутилфталатом, имеют морозостойкость от  $-50$  до  $-60^\circ\text{C}$ . Однако вследствие большой летучести пластификатора изделия, пластифицированные ДБФ, быстро становятся хрупкими и выходят из эксплуатации.

**Ди-(2-этилгексил)-фталат (ДОФ) (ГОСТ 8728—66).**  $o$ - $C_6H_4(COOC_8H_{17})_2$ , молекулярный вес 390. Прозрачная однородная жидкость со слабым специфическим запахом. Выпускается I и II сортов. Требования, предъявляемые к ДОФ по ГОСТ, приведены на стр. 347.

Пластификатор хорошо растворим в органических растворителях, обладает низкой упругостью паров и хорошими диэлектрическими свойствами.

Ди-(2-этилгексил)-фталат, или диоктилфталат, как часто принято называть его в литературе, является одним из основных пластификаторов для поливинилхлорида и его сополимеров. Пластифицированный диоктилфталатом поливинилхлорид обладает высокой эластичностью, стойкостью к ультрафиолетовым лучам и морозостойкостью от  $-40$  до  $-50^\circ C$ , а также хорошими диэлектрическими свойствами. Диоктилфталат пластифицирует и нитрат целлюлозы и совмещается с полистиролом, Буна-S и другими смолами.

**Диалкилфталат-789 (ДАФ-789) (ГОСТ 8728—66).**  $o$ - $C_6H_4(COOR)_2$ . Представляет собой сложный эфир ортофталевой кислоты и смеси нормальных спиртов  $C_7$ — $C_9$ , получаемых гидрированием бутиловых эфиров смеси жирных кислот  $C_7$ — $C_9$ , которые, в свою очередь, получают окислением парафина. По внешнему виду — это прозрачная маслянистая жидкость без осадка. Выпускается I и II сортов. Основные требования, предъявляемые к ДАФ-789, приведены на стр. 347.

Диалкилфталат-789 не растворяется в воде, растворяется в органических растворителях, обладает низкой упругостью паров и хорошими диэлектрическими свойствами. Фталат нормальных спиртов  $C_7$ — $C_9$  является одним из основных пластификаторов для поливинилхлорида и его сополимеров. Он придает поливинилхлоридным пластикам высокую эластичность, морозостойкость до  $-(45-55)^\circ C$ , стойкость к действию ультрафиолетовых лучей.

**Дикаприлфталат (ДКФ) (ГОСТ 8728—66).**  $o$ - $C_6H_4(COOC_8H_{17})_2$ , молекулярный вес 390. Представляет собой сложную эфир ортофталевой кислоты и вторичного октилового спирта (октанола-2 или метилгексилкарбинола), который является побочным продуктом при производстве себаценовой кислоты из касторового масла. По внешнему виду — это прозрачная однородная маслянистая жидкость без механических примесей со слабым специфическим запахом. Основные требования, предъявляемые к дикаприлфталату по ГОСТ, приведены на стр. 347.

ДКФ является пластификатором для поливинилхлорида, но его пластифицирующее действие хуже, чем диоктилфталата (морозостойкость поливинилхлоридных пластикутов  $-40^\circ C$ ).

Свойства эфиров фталевой кислоты

Показатели	Диметил-фталат	Диэтил-фталат	Дибутил-фталат	Ди-(2-этилгексил)-фталат		Диалкилфталат-789		Дикаприл-фталат
				I сорт	II сорт	I сорт	II сорт	
Цвет по иодометрической шкале, не темнее . . . . .	№ 0,5	№ 0,5	№ 1	№ 1	№ 1	№ 3	№ 9	—
Цвет по кобальтовой шкале . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	Не темнее № 10
Плотность при $20^\circ C$ , $g/cm^3$ , не менее . . . . .	1,189	1,117	1,045	0,982	0,975	0,10	0,15	0,965
Кислотное число, $me KOH/g$ , не более . . . . .	0,10	0,10	0,15	0,10	0,10	0,10	0,15	0,35
Число омыления, $me KOH/g$ . . . . .	571—583*	499—509*	399—407*	284—290*	280—300	284—290*	284—290*	284—290*
Температура вспышки, $^\circ C$ , не ниже . . . . .	—	—	168	205	203	200	195	180
Удельное объемное электрическое сопротивление при $20^\circ C$ , $om \cdot cm$ , не менее . . . . .	—	—	—	$1 \cdot 10^{11}$	$5 \cdot 10^{10}$	$5 \cdot 10^{10}$	$3 \cdot 10^{10}$	—

\* Соответствует содержанию эфира 99%.

**Диалкилфталат-610 (ДАФ-610).** Представляет собой сложный эфир ортофталевой кислоты и смеси нормальных спиртов  $C_6$ ,  $C_8$ ,  $C_{10}$ . Прозрачная маслянистая жидкость. Основные свойства диалкилфталата-610 приведены ниже:

Цвет по нодометрической шкале . . . . .	№ 0,5—1
Плотность при 20° С, $г/см^3$ . . . . .	0,974—0,976
Кислотное число, $мг КОН/г$ . . . . .	0,05—0,1
Число омыления, $мг КОН/г$ . . . . .	280—290
Температура, °С	
вспышки . . . . .	205—215
застывания . . . . .	—45
Потери массы при нагревании при 100° С в течение 6 ч, % . . . . .	0,05—0,1
Удельное объемное электрическое сопротивление при 20° С, $ом \cdot см$ . . . . .	$5,0 \cdot 10^{10}—1 \cdot 10^{11}$
Вязкость при 20° С, $спз$ . . . . .	40,0

Диалкилфталат-610 нерастворим в воде, растворим в органических растворителях. Применяется в качестве пластификатора для поливинилхлорида. Морозостойкость поливинилхлорида, пластифицированного диалкилфталатом-610, —40° С.

**Дитридецилфталат (ДТДФ).**  $o-C_6H_4(COOC_{13}H_{27})_2$ , молекулярный вес 530. Представляет собой сложный эфир ортофталевой кислоты и тридецилового спирта изостроения. По внешнему виду — прозрачная маслянистая жидкость. Основные свойства дитридецилфталата приведены ниже:

Цвет по нодометрической шкале . . . . .	№ 1
Плотность при 25° С, $г/см^3$ . . . . .	0,9460
Показатель преломления при 25° С . . . . .	1,4831
Кислотное число, $мг КОН/г$ . . . . .	0,10
Число омыления, $мг КОН/г$ . . . . .	213,0
Температура, °С	
вспышки . . . . .	245
застывания . . . . .	—35
Потери массы при нагревании при 100° С в течение 6 ч, % . . . . .	0,03
Удельное объемное электрическое сопротивление при 20° С, $ом \cdot см$ . . . . .	$2,7 \cdot 10^{12}$
Вязкость при 25° С, $спз$ . . . . .	215,0

Дитридецилфталат нерастворим в воде, растворим в органических растворителях. Обладает низкой упругостью паров и высокими показателями диэлектрических свойств. Дитридецилфталат является пластификатором для поливинилхлорида (применяется для изготовления термостойкого пластика).

#### Смешанные эфиры фталевой кислоты (несимметричные)

За последние годы в качестве пластификаторов для различных полимеров (ацетобутирата целлюлозы, поливинилхлоридных паст и смол) широко применяются смешанные (несимметричные) эфиры

фталевой кислоты. Наиболее распространенные — бутилоктилфталат и бутилбензилфталат. Наличие в пластификаторе радикала бутилового спирта придает ему высокую эластичность, легкость переработки, хорошую морозостойкость; радикал высшего спирта сообщает низкую летучесть, бензо- и маслостойкость. Применяются при изготовлении искусственной кожи и различных лаков.

Синтез смешанных эфиров фталевой кислоты осуществляется в две стадии:

- 1) получение моноэфиров фталевой кислоты и высших спиртов;
- 2) этерификация моноэфиров фталевой кислоты бутиловым спиртом.

**Бутилбензилфталат.**  $o-C_6H_4(COOC_4H_9)(COOC_8H_{17})$ , молекулярный вес 312. Должен удовлетворять следующим требованиям:

Цвет по нодометрической шкале . . . . .	№ 2
Плотность при 20° С, $г/см^3$ . . . . .	1,11—1,12
Кислотное число, $мг КОН/г$ . . . . .	0,10—0,15
Число омыления, $мг КОН/г$ . . . . .	354—365
Температура вспышки, °С, не ниже . . . . .	195
Вязкость при 20° С, $спз$ . . . . .	45—55

Нерастворим в воде, растворим в органических растворителях. Бутилбензилфталат пластифицирует поливинилхлорид, сообщая ему эластичность и морозостойкость (—30° С).

**Бутил-2-этилгексилфталат.**  $o-C_6H_4(COOC_4H_9)(COOC_8H_{17})$ , молекулярный вес 334. Представляет собой несимметричный сложный эфир ортофталевой кислоты, бутилового и 2-этилгексилового спиртов. По внешнему виду — прозрачная маслянистая жидкость без осадка.

Ниже приведены основные свойства бутил-2-этилгексилфталата:

Цвет по нодометрической шкале . . . . .	№ 1—2
Плотность при 20° С, $г/см^3$ . . . . .	1,0065—1,010
Показатель преломления при 20° С . . . . .	1,4870
Кислотное число, $мг КОН/г$ . . . . .	0,10
Число омыления, $мг КОН/г$ . . . . .	334—336
Температура, °С	
вспышки . . . . .	195—198
застывания . . . . .	—58
Вязкость при 20° С, $спз$ . . . . .	37,8

Бутил-2-этилгексилфталат растворим в органических растворителях. Придает поливинилхлориду эластичность и морозостойкость до —40° С.

#### Эфиры тримеллитовой кислоты

**Триоктилтримеллитат.**  $C_6H_3(COOC_8H_{17})_3$ , молекулярный вес 546. Представляет собой сложный эфир тримеллитовой кислоты и 2-этилгексилового спирта. По внешнему виду — прозрачная масля-



нистая жидкость. Показатели основных свойств триоктилтримеллитата приведены ниже:

Плотность при 20° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	0,989
Показатель преломления при 20° С . . . . .	1,4860
Кислотное число, мг КОН/г . . . . .	0,10
Число омыления, мг КОН/г . . . . .	309,4
Температура, °С	
вспышки . . . . .	250
застывания . . . . .	-34
Потери массы при нагревании при 100°С в течение 6 ч, % . . . . .	0,06
Удельное объемное электрическое сопротивление при 20° С, ом·см . . . . .	1,2 · 10 <sup>11</sup>
Вязкость при 20° С, сПз . . . . .	343

Триоктилтримеллитат нерастворим в воде, растворим в органических растворителях. По своим пластифицирующим свойствам занимает промежуточное положение между сложными эфирами дикарбоновых кислот (фталевой и др.) и полиэфирными пластификаторами. Применяется в качестве пластификатора для термостойких композиций на основе ПВХ.

Триоктилтримеллитат превосходит эфиры фталевой кислоты по стабильности при высокой температуре и стойкости к экстракции маслами, мыльной водой и т. п. Он несколько уступает фталатам по морозостойкости композиций. Применяется для изготовления изоляционных материалов, прокладок к холодильникам, в автомобильной промышленности.

**Тримеллитат спиртов С<sub>7</sub>—С<sub>9</sub>.** С<sub>6</sub>H<sub>3</sub>(COOR)<sub>3</sub>. Представляет собой сложный эфир тримеллитовой кислоты и смеси нормальных спиртов С<sub>7</sub>, С<sub>8</sub>, С<sub>9</sub>. Основные свойства пластификатора приведены ниже:

Плотность при 20° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	0,9984
Показатель преломления при 20° С . . . . .	1,4835
Кислотное число, мг КОН/г . . . . .	0,12
Число омыления, мг КОН/г . . . . .	296,2
Температура вспышки, °С . . . . .	205

Тримеллитат спиртов С<sub>7</sub>—С<sub>9</sub> — прозрачная маслянистая жидкость, нерастворим в воде, растворим в органических растворителях. Пластифицирует поливинилхлорид, сообщая ему эластичность и морозостойкость (до -50°С). По своим пластифицирующим свойствам занимает промежуточное положение между сложными эфирами дикарбоновых кислот (например, фталатами) и полиэфирными пластификаторами. Применяется для изготовления термостойкой изоляции.

### Эфиры алифатических дикарбоновых кислот

#### Эфиры адипиновой кислоты

#### Дибутиладипинат (ДБА) (ТУ ГХП № 211—52).

С<sub>8</sub>H<sub>17</sub>ООС(СН<sub>2</sub>)<sub>4</sub>СООС<sub>4</sub>H<sub>9</sub>, молекулярный вес 258. По внешнему виду — прозрачная маслянистая жидкость. Основные требования, предъявляемые к дибутиладипинату, приведены ниже:

Цвет по иодометрической шкале	Не темнее № 3
Плотность при 20° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	0,950
Кислотное число, мг КОН/г, не более . . . . .	0,5
Число омыления, мг КОН/г . . . . .	425—442
Температура вспышки, °С, не ниже . . . . .	145
Потери массы при нагревании при 100°С в течение 6 ч, %, не более . . . . .	0,8

Дибутиладипинат нерастворим в воде, растворим в органических растворителях и обладает очень высокой упругостью паров. Пластифицирует поливинилхлорид, сообщая ему эластичность и хорошую морозостойкость (-50°С), но из-за большой летучести (большей, чем у дибутилфталата) имеет крайне ограниченное применение.

#### Ди-2-этилгексиладипинат (ДОА) (ТУ № 509—66).

С<sub>8</sub>H<sub>17</sub>ООС(СН<sub>2</sub>)<sub>4</sub>СООС<sub>8</sub>H<sub>17</sub>, молекулярный вес 370. Прозрачная маслянистая жидкость. Основные свойства ДОА, а также требования, предъявляемые к нему по ТУ, приведены ниже:

Цвет по иодометрической шкале . . . . .	№ 0,5	Технические требования по ТУ № 509—66
Плотность при 20° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	0,9238	№ 1
Показатель преломления при 20° С . . . . .	1,4478	Не ниже 0,922
Кислотное число, мг КОН/г . . . . .	0,02	—
Число омыления, мг КОН/г . . . . .	307,6	Не более 0,1
Температура, °С		298—307
вспышки . . . . .	194	190
застывания . . . . .	Ниже -56	—
Потери массы при нагревании при 100°С в течение 6 ч, % . . . . .	0,3	—
Удельное объемное электрическое сопротивление при 20° С, ом·см . . . . .	5,1 · 10 <sup>11</sup>	—

Ди-2-этилгексиладипинат или, как принято называть его в литературе, диоктиладипинат, растворим в органических растворителях, применяется в качестве пластификатора для поливинилхлорида и его сополимеров, сообщая им хорошую эластичность, морозостойкость -55°С, а также при получении лаков на основе нитрата целлюлозы.

**Дикаприладипинат (ВТУ М-248—52).**  $C_8H_{17}OOC(CH_2)_4COOC_8H_{17}$ , молекулярный вес 370. Представляет собой сложный эфир адипиновой кислоты и вторичного октилового спирта (метилгексилкарбинола). По внешнему виду — маслянистая жидкость. Основные свойства дикаприладипината, а также требования, предъявляемые к нему по ВТУ, приведены ниже:

		Технические требования по ВТУ М 248—52
Плотность при 20° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	0,914	Не менее 0,900
Показатель преломления при 20° С . . . . .	1,4420	—
Кислотное число, мг КОН/г . . . . .	0,2	Не более 0,5
Число омыления, мг КОН/г . . . . .	305,2	297—308
Температура, °С		
кипения . . . . .	185—186	—
вспышки . . . . .	183	Не ниже 189
застывания . . . . .	—17	—
Потери массы при нагревании при 100° С в течение 6 ч, % . . . . .	0,33	Не более 0,5
Удельное объемное электрическое сопротивление при 20° С, ом·см . . . . .	2,9 · 10 <sup>10</sup>	Не менее 1,0 · 10 <sup>10</sup>

Дикаприладипинат нерастворим в воде, растворим в органических растворителях. Он несколько более летуч, чем диоктиладипинат, и хуже пластифицирует поливинилхлорид. Применяется для изготовления поливинилхлоридных пластикутов, обладающих сравнительно небольшой морозостойкостью (от —25 до —35° С), но высокими диэлектрическими показателями.

**Адипиновый эфир смеси спиртов С<sub>7</sub>—С<sub>9</sub> изостроения.** Представляет собой сложный эфир адипиновой кислоты и смеси спиртов С<sub>7</sub>—С<sub>9</sub> изостроения, полученных методом оксосинтеза. По внешнему виду — маслянистая жидкость. Показатели основных свойств пластификатора приведены ниже:

Плотность при 20° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	0,935
Показатель преломления при 20° С . . . . .	1,4500
Кислотное число, мг КОН/г . . . . .	0,18
Число омыления, мг КОН/г . . . . .	318,4
Температура вспышки, °С . . . . .	197
Удельное объемное электрическое сопротивление при 20° С, ом·см . . . . .	7,4 · 10 <sup>10</sup>

Адипиновый эфир смеси спиртов С<sub>7</sub>—С<sub>9</sub> изостроения нерастворим в воде, растворим в органических растворителях. Применяется в качестве пластификатора для поливинилхлорида и его сополимеров. Морозостойкость пластифицированного поливинилхлорида до —55° С.

**Диизодециладипинат.**  $C_{10}H_{21}OOC(CH_2)_4COOC_{10}H_{21}$ , молекулярный вес 426. Представляет собой сложный эфир адипиновой кислоты и изодецилового спирта (метилизопропилгексанола). Свойства диизодециладипината приведены ниже:

Плотность при 20° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	0,912
Показатель преломления при 20° С . . . . .	1,4490
Кислотное число, мг КОН/г . . . . .	0,10
Число омыления, мг КОН/г . . . . .	262—265
Температура вспышки, °С . . . . .	198—200
Удельное объемное электрическое сопротивление при 20° С, ом·см . . . . .	6,7 · 10 <sup>11</sup>

Диизодециладипинат нерастворим в воде, растворим в органических растворителях. Применяется в качестве пластификатора для поливинилхлорида, сообщая ему эластичность и морозостойкость до —40° С.

**Диоктилкапролат-46 (ТУ № П-497—66).**  $C_8H_{17}OOC(CH_2)_nCOOC_8H_{17}$ , где  $n=2—4$ . Представляет собой сложный эфир 2-этилгексилового спирта и смеси дикарбоновых кислот: янтарной, глутаровой и адипиновой. По внешнему виду — прозрачная маслянистая жидкость. Основные свойства диоктилкапролата-46, а также требования, предъявляемые к нему по ТУ, приведены ниже:

	№ 1—2	№ 2
Цвет по нодометрической шкале . . . . .	№ 1—2	№ 2
Плотность при 20° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	0,927	Не менее 0,920
Показатель преломления при 20° С . . . . .	1,4470	—
Кислотное число, мг КОН/г . . . . .	0,02	Не более 0,15
Число омыления, мг КОН/г . . . . .	312,3	300—320
Температура, °С		
вспышки . . . . .	186	Не ниже 180
застывания . . . . .	Ниже —65	—
Потери массы при нагревании при 100° С в течение 6 ч, % . . . . .	0,1	Не более 0,2
Удельное объемное электрическое сопротивление при 20° С, ом·см . . . . .	2,1 · 10 <sup>11</sup>	—
Вязкость при 20° С, спз . . . . .	12,53	—

Диоктилкапролат-46 нерастворим в воде, растворим в органических растворителях. Пластифицирует поливинилхлорид, придавая ему высокую эластичность и морозостойкость (до —50° С).

#### Эфиры себаценовой кислоты

**Дибутылсебаценоат (ДБС) (ГОСТ 8728—66).**  $C_4H_9OOC(CH_2)_8COOC_4H_9$ , молекулярный вес 314. Выпускается I и II сортов. По внешнему виду — прозрачная маслянистая жидкость.

Основные требования, предъявляемые к дибутилсебацнату по ГОСТ, приведены ниже:

	I сорт	II сорт
Цвет по подометрической шкале . . . . .	Не менее № 0,5	
Плотность при 20° С, г/см <sup>3</sup> , не менее . . . . .	0,933	
Кислотное число, мг КОН/г, не более . . . . .	0,10	0,15
Число омыления, мг КОН/г . . . . .	353—360	
Температура вспышки, °С, не ниже . . . . .	183	

Дибутилсебацннат нерастворим в воде, растворим в органических растворителях и углеводородах. Применяется в качестве пластификатора для виниловых полимеров, особенно для поливинилхлорида и сополимеров винилхлорида с винилацетатом, а также для нитрата целлюлозы, этил- и бензилцеллюлозы. ДБС не токсичен и может быть применен в изделиях, соприкасающихся с пищевыми продуктами.

#### Ди-(2-этилгексил)-себацннат (ДОС) (ГОСТ 8728 — 66).

$C_8H_{17}OOC(CH_2)_8COOC_8H_{17}$ , молекулярный вес 426. Выпускается I и II сортов. По внешнему виду — это маслянистая жидкость. Основные требования, предъявляемые к ДОС, приведены ниже:

	I сорт	II сорт
Цвет по подометрической шкале . . . . .	№ 3	№ 10
Плотность при 20° С, г/см <sup>3</sup> , не менее . . . . .	0,913	
Кислотное число, мг КОН/г, не более . . . . .	0,15	0,2
Число омыления, мг КОН/г . . . . .	261—270	
Температура вспышки, °С, не ниже . . . . .	215	212
Удельное объемное электрическое сопротивление при 20° С, ом·см . . . . .	$5 \cdot 10^{10}$	

Ди-(2-этилгексил)-себацннат, или, как часто его называют в литературе, диоктилсебацннат, нерастворим в воде, растворим в органических растворителях, имеет очень низкую упругость паров и высокие диэлектрические показатели. ДОС является одним из лучших пластификаторов для поливинилхлорида и его сополимеров. Морозостойкость полидивинилхлорида, пластифицированного ДОС, достигает —70° С. Он хорошо пластифицирует также этилцеллюлозу.

#### Дикаприлсебацннат (ДКС) (ТУ № М-247—52).

$C_8H_{17}OOC(CH_2)_8COOC_8H_{17}$ , молекулярный вес 426. Представляет собой сложный эфир себацнновой кислоты и вторичного октилового спирта (метилгексилкарбинола). По внешнему виду — масля-

нистая жидкость без осадка. Основные свойства ДКС, а также требования, предъявляемые к нему по ТУ, приведены ниже:

		Технические требования по ТУ № М-247—52
Плотность при 20° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	0,906—0,913	Не менее 0,906
Показатель преломления при 20° С . . . . .	1,4440	—
Число омыления, мг КОН/г . . . . .	264	258—268
Кислотное число, мг КОН/г . . . . .	0,26	Не более 0,5
Температура вспышки . . . . .	210	
Температура кипения . . . . .	232—239/4 мм рт. ст.	
Потери массы при нагревании при 100° С в течение 6 ч, % . . . . .	0,3	Не более 0,5
Удельное объемное электрическое сопротивление при 20° С, ом·см . . . . .	$1,7 \cdot 10^{10}$	Не менее $1,0 \cdot 10^{10}$

Дикаприлсебацннат нерастворим в воде, растворим в органических растворителях. Пластифицирует поливинилхлорид хуже, чем диоктилсебацннат, придавая ему морозостойкость до —50° С. Используется при изготовлении пленочного и шлангового пластификатов.

**Себацнновый эфир смеси спиртов  $C_7—C_9$  изостроения.** Представляет собой сложный эфир себацнновой кислоты и спиртов  $C_7—C_9$  изостроения, полученных методом оксосинтеза. По внешнему виду — маслянистая жидкость без осадка. Показатели основных свойств пластификатора приведены ниже:

Плотность при 20° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	0,921
Показатель преломления при 20° С . . . . .	1,4530
Кислотное число, мг КОН/г . . . . .	0,2
Число омыления, мг КОН/г . . . . .	276,9
Температура вспышки, °С . . . . .	210
Удельное объемное электрическое сопротивление при 20° С, ом·см . . . . .	$7,2 \cdot 10^{10}$

Себацнновый эфир смеси спиртов  $C_7—C_9$  изостроения нерастворим в воде, растворим в органических растворителях. По своим физико-химическим свойствам близок к таким пластификаторам, как ди-(2-этилгексил)-себацннат, значительно менее летуч, чем соответствующий эфир адипиновой кислоты. Применяется в качестве пластификатора для поливинилхлорида и его сополимеров, придает им высокую эластичность и хорошую морозостойкость (до —55° С).

#### Эфирь высших дикарбоновых кислот

**Ди-2-этилгексилловый эфир смеси дикарбоновых кислот  $C_{11}—C_{13}$ .** Представляет собой сложный эфир 2-этилгексиллового спирта и смеси дикарбоновых кислот  $C_{11}—C_{13}$ , выделенных из фракции монокарбоновых кислот  $C_{17}—C_{20}$ , получаемых окислением парафина.

Основные свойства его приведены ниже:

Плотность при 20° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	0,913
Показатель преломления при 20° С . . . . .	1,455
Кислотное число, мг КОН/г . . . . .	0,2
Число омыления, мг КОН/г . . . . .	247,2
Температура вспышки, °С . . . . .	207
Удельное объемное электрическое сопротивление при 20° С, ом·см . . . . .	6,9 · 10 <sup>10</sup>

Нерастворим в воде, растворим в органических растворителях. Применяется в качестве пластификатора для поливинилхлорида (морозостойкость пластифицированного материала от —40 до —55° С).

#### Эфиры декандикарбоновой кислоты

##### Дибутиловый эфир декандикарбоновой кислоты.

$C_4H_9OOC(CH_2)_{10}COOC_4H_9$ , молекулярный вес 342. По внешнему виду — прозрачная маслянистая жидкость. Нерастворим в воде, растворим в органических растворителях. Основные свойства эфира приведены ниже:

Плотность при 20° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	0,926
Показатель преломления при 20° С . . . . .	1,4446
Кислотное число, мг КОН/г . . . . .	0,1
Число омыления, мг КОН/г . . . . .	331,5
Температура вспышки, °С . . . . .	194
Потери массы при нагревании при 100° С в течение 6 ч, % . . . . .	0,18
Удельное объемное электрическое сопротивление при 20° С, ом·см . . . . .	1,5 · 10 <sup>10</sup>

Дибутиловый эфир декандикарбоновой кислоты применяется в качестве пластификатора для поливинилхлорида, придавая ему морозостойкость от —60 до —70° С.

##### Ди-2-этилгексилый эфир декандикарбоновой кислоты.

$C_8H_{17}OOC(CH_2)_{10}COOC_8H_{17}$ , молекулярный вес 398. Представляет собой прозрачную маслянистую жидкость без осадка, растворимую в органических растворителях и нерастворимую в воде. Свойства эфира приведены ниже:

Плотность при 20° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	0,907
Показатель преломления при 20° С . . . . .	1,452
Кислотное число, мг КОН/г . . . . .	0,1
Число омыления, мг КОН/г . . . . .	249
Температура вспышки, °С . . . . .	223
Потери массы при нагревании при 100° С в течение 6 ч, % . . . . .	0,08
Удельное объемное электрическое сопротивление при 20° С, ом·см . . . . .	1,3 · 10 <sup>10</sup>

Ди-2-этилгексилый эфир декандикарбоновой кислоты пластифицирует поливинилхлорид, придавая ему эластичность и хорошую морозостойкость (—65° С).

#### Эфиры тиодикарбоновых кислот

##### Эфиры тиодипропионовой кислоты

**Дибутилтиодипропионат.**  $C_4H_9OOC(CH_2)_2-S-(CH_2)_2COOC_4H_9$ , молекулярный вес 290. Свойства дибутилтиодипропионата приведены ниже:

Плотность при 20° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,024
Показатель преломления при 20° С . . . . .	1,4640
Кислотное число, мг КОН/г . . . . .	0,15
Число омыления, мг КОН/г . . . . .	385
Температура вспышки, °С . . . . .	175
Удельное объемное электрическое сопротивление при 20° С, ом·см . . . . .	1,4 · 10 <sup>10</sup>

Дибутилтиодипропионат хорошо совмещается с поливинилхлоридом, придавая ему высокую эластичность и морозостойкость от —55 до —60° С. Недостатком его является относительно небольшая стойкость к действию УФ-лучей.

##### Ди-(2-этилгексил)-тиодипропионат.

$C_8H_{17}OOC(CH_2)_2-S-(CH_2)_2COOC_8H_{17}$ , молекулярный вес 402. Нерастворим в воде, растворим в органических растворителях. Свойства ди-(2-этилгексил)-тиодипропионата приведены ниже:

Плотность при 20° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	0,976
Показатель преломления при 20° С . . . . .	1,4659
Кислотное число, мг КОН/г . . . . .	0,22
Число омыления, мг КОН/г . . . . .	276
Температура вспышки, °С . . . . .	214
Потери массы при нагревании при 100° С в течение 6 ч, % . . . . .	0,12
Удельное объемное электрическое сопротивление при 20° С, ом·см . . . . .	6,8 · 10 <sup>10</sup>

Ди-(2-этилгексил)-тиодипропионат хорошо совмещается с поливинилхлоридом. Получаются очень эластичные пленки с морозостойкостью до —50° С и хорошими диэлектрическими показателями. Недостатком его является сравнительно небольшая стойкость к действию УФ-лучей (500 ч). Рекомендуются для изготовления пленочных и шланговых поливинилхлоридных пластикаторов.

#### Эфиры тиодивалериановой кислоты

**Дибутилтиодивалерианат.**  $C_4H_9OOC(CH_2)_4-S-(CH_2)_4COOC_4H_9$ , молекулярный вес 346. Растворим в органических растворителях. Основные свойства дибутилтиодивалерианата приведены ниже:

Плотность при 20° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	0,996
Показатель преломления при 20° С . . . . .	1,4664
Кислотное число, мг КОН/г . . . . .	0,08

Число омыления, мг КОН/г . . . . .	322
Температура вспышки, °С . . . . .	212
Удельное объемное электрическое сопротивление при 20°С, ом·см . . . . .	1,1 · 10 <sup>11</sup>

Дибутилтиодивалерианат применяется в качестве пластификатора при получении поливинилхлоридных пластиков высокой эластичности с морозостойкостью от —55 до —60°С. Недостатком его является сравнительно небольшая стойкость к действию УФ-лучей.

#### Ди-(2-этилгексил)-тиодивалерианат.

$C_8H_{17}OOC(CH_2)_4-S-(CH_2)_4COOC_8H_{17}$ , молекулярный вес 458. Свойства ди-(2-этилгексил)-тиодивалерианата приведены ниже:

Плотность при 20°С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	0,953
Показатель преломления при 20°С . . . . .	1,4660
Кислотное число, мг КОН/г . . . . .	0,06
Число омыления, мг КОН/г . . . . .	240,5
Температура вспышки, °С . . . . .	227
Потери массы при нагревании при 100°С в течение 6 ч, % . . . . .	0,2
Удельное объемное электрическое сопротивление при 20°С, ом·см . . . . .	1,4 · 10 <sup>11</sup>

Ди-(2-этилгексил)-тиодивалерианат нерастворим в воде, растворим в органических растворителях, обладает низкой упругостью паров и хорошими диэлектрическими показателями.

Ди-(2-этилгексил)-тиодивалерианат хорошо совмещается с поливинилхлоридом, давая очень эластичные пластикаты с морозостойкостью от —50 до —55°С и хорошими диэлектрическими свойствами. Однако недостатком его является сравнительно небольшая стойкость к действию УФ-лучей (550—600 ч). Рекомендуется для изготовления пленочных и шланговых поливинилхлоридных пластикатов.

#### Эфиры смеси жирных кислот C<sub>7</sub>—C<sub>9</sub>

##### Эфир бутандиола-1,4 и смеси жирных кислот C<sub>7</sub>—C<sub>9</sub>.

$RCOO(CH_2)_4OOCR$ , где R = C<sub>6</sub>H<sub>13</sub>—; C<sub>7</sub>H<sub>15</sub>—, C<sub>8</sub>H<sub>17</sub>—. Нерастворим в воде, растворим в органических растворителях. Свойства эфира приведены ниже:

Плотность при 20°С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	0,925
Показатель преломления при 20°С . . . . .	1,4460
Кислотное число, мг КОН/г . . . . .	0,18
Число омыления, мг КОН/г . . . . .	312
Температура кипения, °С . . . . .	200—240
Температура вспышки, °С . . . . .	(при 15 мм рт. ст.) 208
Потери массы при нагревании при 100°С в течение 6 ч, % . . . . .	0,13
Удельное объемное электрическое сопротивление при 20°С, ом·см . . . . .	7,0 · 10 <sup>10</sup>

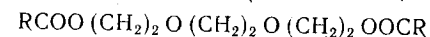
Эфир бутандиола-1,4 и смеси жирных кислот C<sub>7</sub>—C<sub>9</sub> совмещается с поливинилхлоридом, давая эластичные пластикаты с морозостойкостью от —45 до —50°С и высокими диэлектрическими показателями.

**Диэтиленгликольдикаприлат.** Представляет собой сложный эфир диэтиленгликоля и смеси жирных кислот C<sub>7</sub>—C<sub>9</sub>, полученный окислением парафина. Растворим в органических растворителях. Показатели основных свойств диэтиленгликольдикаприлата приведены ниже:

Плотность при 20°С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	0,960
Показатель преломления при 20°С . . . . .	1,4450
Кислотное число, мг КОН/г . . . . .	0,5
Число омыления, мг КОН/г . . . . .	314
Температура вспышки, °С . . . . .	182
Потери массы при нагревании при 100°С в течение 6 ч, % . . . . .	0,29

Диэтиленгликольдикаприлат хорошо совмещается с поливинилхлоридом и его сополимерами, давая эластичные пленки с хорошей морозостойкостью (до —50°С). Однако пленки имеют высокую водопроницаемость. Он также используется в качестве пластификатора при производстве резины.

#### Триэтиленгликольдикаприлат\* (ВТУ ГХПК № М-470—57).



где R = C<sub>6</sub>H<sub>13</sub>—; C<sub>7</sub>H<sub>15</sub>—; —C<sub>8</sub>H<sub>17</sub>—. Представляет собой сложный эфир триэтиленгликоля и смеси синтетических жирных кислот C<sub>7</sub>—C<sub>9</sub> (энантовой, каприловой, пеларгоновой), полученный окислением парафина. Основные свойства триэтиленгликольдикаприлата, а также требования, предъявляемые к нему по ВТУ, приведены ниже:

		Технические требования по ВТУ ГХПК № М-470—57
Плотность при 20°С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	0,977	Не менее 0,960
Кислотное число, мг КОН/г . . . . .	0,66	Не более 0,8
Число омыления, мг КОН/г . . . . .	295	270—300
Температура вспышки, °С . . . . .	200	Не ниже 195
Потери массы при нагревании при 100°С в течение 6 ч, % . . . . .	0,35	Не более 0,45

Триэтиленгликольдикаприлат хорошо совмещается с поливинилхлоридом. Морозостойкость получаемых эластичных пленок —50°С. Однако поливинилхлоридные пластикаты, пластифицированные триэтиленгликольдикаприлатом, имеют высокую водопроницаемость и большие потери массы при нагревании. Он также является пластификатором для резины.

\* Название по основной кислоте.

## Эфиры фосфорной кислоты

**Трибутилфосфат.**  $OP(O C_4H_9)_3$ , молекулярный вес 266. Растворим в органических растворителях, не токсичен. Показатели некоторых свойств трибутилфосфата приведены ниже:

Плотность при 20° С, г/см <sup>3</sup>	0,978
Показатель преломления при 20° С	1,424
Температура кипения, °С	125—125 (при 3 мм рт. ст.)
Температура вспышки, °С	155

Трибутилфосфат применяется в качестве пластификатора для нитрата целлюлозы и ацетилцеллюлозы. Получаемые пленки и лаки имеют хорошую морозостойкость, светостойкость и огнестойкость. Трибутилфосфат пластифицирует также поливинилхлорид и его сополимеры, но ввиду большой летучести имеет ограниченное применение.

**Трифенилфосфат (ГОСТ 637—47).**  $OP(O C_6H_5)_3$ , молекулярный вес 326. Представляет собой сложный эфир фенола и фосфорной кислоты. По внешнему виду — это белый кристаллический порошок, растворимый в органических растворителях. Некоторые свойства трифенилфосфата, а также требования, предъявляемые к нему по ГОСТ, приведены ниже:

Плотность при 60° С, г/см <sup>3</sup>	1,268	—
Показатель преломления при 60° С	1,552	—
Температура плавления, °С	49,9	Не ниже 44
Содержание свободного фенола, %	—	Не более 0,5
Кислотное число, мг КОН/г	—	Не более 0,2
Температура кипения, °С	220 (при 5 мм рт. ст.)	—

Трифенилфосфат придает негорючесть пластмассам. Он совмещается с нитратом целлюлозы и ацетилцеллюлозой, но имеет тенденцию через некоторое время выкристаллизовываться из пленки. Поэтому его применяют в смеси с другим пластификатором, растворяющим трифенилфосфат. Такими пластификаторами являются фталаты, триацетин и др.

Трифенилфосфат не рекомендуется применять в изделиях, соприкасающихся с пищевыми продуктами.

**Трикрезилфосфат (ГОСТ 5728—51).**  $OP(O C_6H_4CH_3)_3$ , молекулярный вес 368. Представляет собой сложный эфир ортофосфорной кислоты и трикрезола. Выпускается двух сортов. Выпускаемый промышленностью трикрезилфосфат состоит в основном из смеси эфиров *m*- и *p*-крезола. Наличие в нем небольших количеств эфира *o*-крезола делает его токсичным. По внешнему виду — это прозрачная маслянистая жидкость. Основные свойства

трикрезилфосфата, а также требования, предъявляемые к нему по ГОСТ, приведены ниже:

		Технические требования по ГОСТ 5728—51	
		I сорт	II сорт
Цвет по нодометрической шкале	—	Не темнее № 3	Не темнее № 5
Температура кипения, °С	235—255 (при 4 мм рт. ст.)	—	—
Плотность при 20° С, г/см <sup>3</sup>	1,165	1,170—1,175	
Показатель преломления при 20° С	1,556	—	—
Температура вспышки, °С	230	Не ниже 222	Не ниже 217
Кислотное число, мг КОН/г	—	Не более 0,17	Не более 0,4
Содержание, % летучих	—	Не более 0,1	Не более 0,25
свободного трикрезола	—	Не более 0,08	Не нормируется
Реакция водной вытяжки из зола	—	Нейтральная	

Трикрезилфосфат применяется в качестве пластификатора (в смеси с другими пластификаторами) для придания огнестойкости полимерам. Сам по себе трикрезилфосфат плохо пластифицирует поливинилхлорид, придавая пленкам невысокую морозостойкость (лишь до  $-10^{\circ}C$ ).

Из-за токсичности трикрезилфосфат не рекомендуется применять в изделиях, соприкасающихся с пищей.

**Ди-(2-этилгексил)-фенилфосфат (ТУ № П-159—69).**

$OP \begin{cases} OC_6H_5 \\ (OC_8H_{17})_2 \end{cases}$ , молекулярный вес 398. Представляет собой маслянистую жидкость без осадка, растворимую в органических растворителях. Основные свойства ди-(2-этилгексил)-фенилфосфата, а также требования, предъявляемые к нему по ТУ, приведены ниже:

		Технические требования по ТУ № П-159—69	
Плотность при 20° С, г/см <sup>3</sup>	0,991	0,961—0,996	
Показатель преломления при 20° С	1,4730	—	
Кислотное число, мг КОН/г	0,29	Не более 0,5	
Температура вспышки, °С	200	Не ниже 180	
Потери массы при нагревании при 100° С в течение 6 ч, %	0,28	Не более 0,5	
Удельное объемное электрическое сопротивление при 20° С, ом·см	$5,9 \cdot 10^9$	—	

## Совместимость некоторых пластификаторов с различными полимерами

Условные обозначения: с — совместим; ч/с — частично совместим; н/с — несовместим.

Пластификатор	Поливинилхлорид	Поливинилацетат	Поливинилбутираль	Нитрат целлюлозы	Этилцеллюлоза	Ацетиленолоза	Ацетатбутират целлюлозы	Полиметилакрилат	Хлоркаучук	Нитрильный каучук
Диметилфталат	—	с	—	с	с	с	—	—	—	—
Диэтилфталат	—	с	—	с	с	с	—	—	—	—
Дибutilфталат	с	с	с	с	с	с	с	с	с	с
Ди-(2-этилгексил)-фталат	с	н/с	ч/с	с	с	н/с	н/с	ч/с	с	с
Диалкилфталат-789	с	с	—	с	с	с	—	—	—	—
Диалкилфталат-68	с	н/с	ч/с	с	с	н/с	н/с	ч/с	с	с
Диалкилфталат-610	с	с	—	с	с	с	—	—	—	—
Дикаприлфталат	с	—	—	с	с	с	—	—	—	—
Дитридецилфталат	с	н/с	ч/с	с	с	н/с	ч/с	ч/с	с	с
Дидодецилфталат	с	н/с	ч/с	с	с	н/с	ч/с	ч/с	с	с
Бутилбензилфталат	с	с	с	с	с	ч/с	с	ч/с	—	—
Бутил-2-этилгексилфталат	с	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Бутилдодецилфталат	с	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Триоктилтримеллитат	с	н/с	ч/с	с	с	н/с	с	с	—	—
Тримеллитат спиртов С <sub>7</sub> —С <sub>9</sub>	с	н/с	ч/с	с	с	н/с	с	с	—	—
Дибутиладиннат	с	с	ч/с	с	с	н/с	с	с	—	—
Ди-(2-этилгексил)-адиннат	с	н/с	с	с	с	ч/с	ч/с	н/с	с	с
Дикаприладиннат	с	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Алилиновый эфир смеси изоспиртов С <sub>7</sub> —С <sub>9</sub>	с	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Дибутилсебадинат	с	с	с	с	с	ч/с	с	с	с	с
Ди-(2-этилгексил)-себадинат	с	н/с	ч/с	с	ч/с	н/с	н/с	н/с	с	с
Дикаприлсебадинат	с	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Себадиновый эфир смеси изоспиртов С <sub>7</sub> —С <sub>9</sub>	с	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ди-(2-этилгексильный) эфир смеси дикарбоновых кислот С <sub>11</sub> —С <sub>13</sub>	с	н/с	ч/с	с	ч/с	н/с	н/с	н/с	с	с
Ди-(2-этилгексильный) эфир декадикарбоновой кислоты	с	н/с	ч/с	с	ч/с	н/с	н/с	н/с	с	с
Дибутильный эфир декадикарбоновой кислоты	с	с	с	с	с	ч/с	с	с	с	с
Дибутилтиодипропионат	с	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ди-(2-этилгексил)-тиодипропионат	с	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Ди-(2-этилгексил)-тиодивалерианат	с	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Эфир бутандиола-1,4 и смеси жирных кислот С <sub>7</sub> —С <sub>9</sub>	с	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Диэтиленгликольдикаприлат	с	с	с	с	с	ч/с	ч/с	н/с	с	ч/с
Триэтиленгликольдикаприлат	с	с	с	с	с	ч/с	ч/с	н/с	с	ч/с
Трибутират глицерина	—	с	с	с	с	ч/с	ч/с	н/с	с	ч/с
Трибутилфосфат	—	с	с	с	с	с	с	—	—	—
Трифенилфосфат	—	с	с	с	с	ч/с	—	—	—	—
Трирезилфосфат	—	с	с	с	с	ч/с	—	—	—	—
Ди-2-этилгексил-2-фенилфосфат	с	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Трихлорэтилфосфат	н/с	с	с	с	с	ч/с	с	с	с	ч/с

Ди-(2-этилгексил)-фенилфосфат хорошо пластифицирует нитрат целлюлозы и поливинилхлорид, придавая им негорючесть, эластичность и морозостойкость до  $-50^{\circ}\text{C}$ . Он не токсичен и может применяться в изделиях, соприкасающихся с пищей.

Данные о совместимости некоторых пластификаторов с различными полимерами приведены в таблице на стр. 362.

## ПОЛИЭФИРНЫЕ ПЛАСТИФИКАТОРЫ

Полиэфирные пластификаторы представляют собой продукты поликонденсации дикарбоновых кислот с гликолями. Они могут иметь свободные концевые функциональные группы (гидроксильные или карбоксильные), либо быть модифицированными одноосновными кислотами или одноатомными спиртами. Хотя полиэфирные пластификаторы в большинстве своем уступают диэфирным по морозостойкости, совместимости и легкости переработки, но они обладают чрезвычайно малой летучестью, масло- и бензостойки, не мигрируют в другие полимеры. Композиции, пластифицированные полиэфирными пластификаторами, сохраняют свои первоначальные свойства в течение длительного времени.

Для получения полиэфирных пластификаторов в основном применяются следующие дикарбоновые кислоты и гликоли: адипиновая, азелановая, себадиновая кислоты и фталевый ангидрид, диэтиленгликоль, 1,2-пропиленгликоль, 1,3- и 1,4-бутандиолы, неопентилгликоль (2,2-диметил-1,3-пропандиол). Для модификации полиэфиров обычно применяют лауриновую, пеларгоновую кислоты или бутиловый и 2-этилгексильный спирты, а также спирты оксо-синтеза — изононильный, изооктиловый и изододециловый.

Полиэфиры служат пластификаторами для бензо- и маслостойких композиций на основе ПВХ, применяются при изготовлении изоляции высокочастотных кабелей и различных бытовых изделий, стойких к действию моющих средств и растворителей.

## Полиэфиры на основе себадиновой кислоты

**ПДЭС-1 (МРТУ 6-05-1016—66).** Представляет собой воскоподобную массу от желтого до коричневого цвета. Должен удовлетворять следующим требованиям:

Плотность при $35^{\circ}\text{C}$ , $\text{г/см}^3$ . . . . .	1,020—1,030
Кислотное число, $\text{мг КОН/г}$ , не более . . . . .	3
Температура вспышки, $^{\circ}\text{C}$ , не ниже . . . . .	212
Вязкость при $35^{\circ}\text{C}$ , $\text{сПз}$ . . . . .	120—180

**ПДСО-4.** Представляет собой воскоподобную массу от желтого до коричневого цвета. Должен удовлетворять следующим требо-

ванням:

Плотность при 50° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	0,99—1,05
Кислотное число, мг КОН/г, не более . . .	2,0
Температура вспышки, °С, не ниже . . . .	220
Вязкость при 50° С, спз . . . . .	120—180
Содержание гидроксильных групп, %, не более . . . . .	0,7

**ПДСК-3.** Представляет собой воскоподобную массу от желтого до коричневого цвета. Должен удовлетворять следующим требованиям:

Плотность при 50° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,02—1,03
Кислотное число, мг КОН/г, не более . . .	3,0
Температура вспышки, °С, не ниже . . . .	220
Вязкость при 50° С, спз . . . . .	220—300
Содержание гидроксильных групп, %, не более . . . . .	0,8

Полимерные пластификаторы на основе себаценовой кислоты обладают высокой экстракционной устойчивостью к бензину, маслу, воде, мыльной воде и синтетическим моющим средствам, а также незначительной миграцией.

#### Полиэфирные на основе адипиновой кислоты

**ПДЭА-4 (МРТУ 6-05-1107—68).** Представляет собой вязкую жидкость от светло-желтого до темно-коричневого цвета. ПДЭА-4 должен удовлетворять следующим требованиям:

Плотность при 25° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,097—1,115
Кислотное число, мг КОН/г, не более . . .	2,0
Температура вспышки, °С, не ниже . . . .	180
Содержание летучих, %, не более . . . . .	0,45
Вязкость при 25° С, спз . . . . .	200—350

**ПГА-5 (ВТУ № 213).** Должен удовлетворять следующим требованиям:

Плотность при 25° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,08—1,1
Кислотное число, мг КОН/г, не более . . .	5
Температура вспышки, °С, не ниже . . . .	190
Вязкость при 25° С, спз . . . . .	140—220

**ПДАК-3.** Прозрачная вязкая жидкость от желтого до коричневого цвета. ПДАК должен удовлетворять следующим требованиям:

Плотность при 25° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,09—1,11
Кислотное число, мг КОН/г, не более . . .	3,0
Температура вспышки, °С, не ниже . . . .	220
Вязкость при 25° С, спз . . . . .	300—450
Содержание гидроксильных групп, %, не более . . . . .	0,8

**ПДАО-4.** Представляет собой прозрачную вязкую жидкость от желтого до коричневого цвета. Должен удовлетворять следующим требованиям:

Плотность при 20° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,05—1,06
Кислотное число, мг КОН/г, не более . . .	2,0
Температура вспышки, °С, не ниже . . . .	220
Вязкость при 20° С, спз . . . . .	200—350
Содержание гидроксильных групп, %, не более . . . . .	0,7

**ППАО-4.** Представляет собой вязкую прозрачную жидкость от желтого до коричневого цвета. Должен удовлетворять следующим требованиям:

Плотность при 25° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,01—1,03
Кислотное число, мг КОН/г, не более . . .	2,0
Температура вспышки, °С, не ниже . . . .	220
Вязкость при 25° С, спз . . . . .	150—200
Содержание гидроксильных групп, %, не более . . . . .	0,8

**ППАЛ-6.** Представляет собой вязкую прозрачную жидкость от желтого до коричневого цвета. Должен удовлетворять следующим требованиям:

Плотность при 50° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,06—1,08
Кислотное число, мг КОН/г, не более . . .	3,0
Температура вспышки, °С, не ниже . . . .	220
Вязкость при 50° С, спз . . . . .	450—700
Содержание гидроксильных групп, %, не более . . . . .	0,8

**ПДАК-679.** Представляет собой вязкую прозрачную жидкость от желтого до коричневого цвета. Должен удовлетворять следующим требованиям:

Плотность при 50° С, г/см <sup>3</sup> . . . . .	1,10—1,20
Кислотное число, мг КОН/г, не более . . .	3,0
Температура вспышки, °С, не ниже . . . .	220
Вязкость при 50° С, спз . . . . .	310—400
Содержание гидроксильных групп, %, не более . . . . .	0,8

Полиэфирные пластификаторы на основе адипиновой кислоты обладают малой летучестью, незначительной миграцией в полимерные материалы, повышенной масло- и бензостойкостью.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мошкин П. А., Рубцова И. К. и др., Пласт. массы, № 10, 60 (1960).
2. Куценко А. Н., Любимов В. Н., Абрамова Р. А., Ж. прикл. хим., XXXII, 211 (1951).
3. Авт. свид. СССР № 104461.
4. Тиннус К., Пластификаторы, Изд. «Химия», 1964.
5. Барштейн Р. С., Котляревский Г. А., Пласт. массы, № 2, 57 (1961).
6. Резникова Р. А., Зайончковский А. Д., Воюцкий С. С., Колондский журнал, XV, № 2, 108 (1953)



## СТАБИЛИЗАЦИЯ ПЛАСТМАСС

**П**овышенне устойчивости синтетических полимеров к действию тепла, света, кислорода воздуха и других агентов приобретает в настоящее время очень большое значение. Вопрос о возможных путях стабилизации полимеров тесно связан с исследованием процессов, протекающих при их старении.

### СТАРЕНИЕ

Под старением пластмасс понимают необратимое изменение важнейших эксплуатационных свойств, происходящее в результате сложных химических и физических процессов, развивающихся в материале под влиянием условий испытания или эксплуатации. Эти внешние воздействия можно разделить на воздействия, непосредственно связанные с условиями эксплуатации (механические напряжения, электрические поля, повышенные температуры, различные среды и т. п.), и воздействия, связанные с особенностями климатических условий, в которых эксплуатируется или хранится материал или изделие. На практике, как правило, полимерный материал подвергается комплексному воздействию перечисленных факторов.

Различают следующие виды старения полимеров:

- 1) тепловое;
- 2) световое;
- 3) атмосферное;
- 4) микробиологическая коррозия.

Изучение свойств полимеров в процессе теплового и светового старения, а также при действии плесневых грибов (микробиологическая коррозия) может проводиться в естественных условиях и в условиях искусственных испытаний.

Методика определения температурно-временных пределов, в которых материал сохраняет эксплуатационные свойства, сводится к длительному экспонированию образцов при различных температурах (тепловое старение). Максимальная температура испытания устанавливается на  $50^{\circ}\text{C}$  ниже температуры плавления (разложения) материала. Продолжительность экспонирования определяется временем, необходимым для снижения основных показателей на 50% от исходных. При испытаниях на тепловое старение обычно определяют наиболее важные для данного материала показатели: предел прочности при растяжении, относительное удлинение при разрыве, удельную ударную вязкость, скорость растрес-

кивания и т. д. Тепловое старение по методике НИИПМ проводится непрерывно в течение установленного времени, по методике ГГУ 50-1—59 — по циклам с различной продолжительностью, зависящей от температуры.

Лабораторные испытания на световое старение проводят по ГОСТ 10226—62 в приборе, снабженном двумя закрытыми угольными дуговыми лампами, которые установлены симметрично относительно вертикальной оси аппарата на расстоянии 140 мм. Стеклопечные колпаки в угольных дуговых лампах изготавливаются из жаропрочного стекла и обеспечивают пропускание света в области от 240 до 300 нм. Образцы располагаются на столиках, вращающихся вокруг дуговых ламп по окружности радиусом 340 мм со скоростью 1 об/мин. За один оборот вокруг лампы столик совершает один оборот вокруг своей оси. Интенсивность светового потока в указанном диапазоне длин волн на поверхности столиков должна быть равна  $0,55 \pm 0,05 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{мин})$ . Температура в камере аппарата поддерживается  $70 \pm 2^{\circ}\text{C}$ .

Помимо дуговых угольных ламп закрытого типа могут быть использованы другие источники УФ-радиации: ртутно-кварцевые лампы типа ПРК-2, ртутно-кварцевые лампы в сочетании с ИК-лампами, лампы накаливания и т. д. В последнее время для определения светостойкости различных материалов, в том числе пластмасс, применяют ксеноновые лампы различной мощности (до 6 кВт).

При эксплуатации на открытых площадках изделия из полимерных материалов подвергаются непосредственному воздействию совокупности атмосферных факторов данной климатической зоны (УФ-радиация, температура окружающего воздуха, влажность, атмосферные осадки, пыль и т. п.). Продолжительное действие указанных факторов вызывает необратимые изменения свойств материала или так называемое атмосферное старение (потеря блеска, появление трещин, вздутий, уменьшение показателей важнейших эксплуатационных свойств).

Атмосферное старение проводится в соответствии с действующим стандартом (ГОСТ 10226—62) и заключается в экспонировании материала (в форме стандартных брусков, дисков и лопаток) на специальных стендах, которые устанавливаются на открытой площадке под углом  $45^{\circ}$  к линии горизонта и обращены на юг. Испытания проводятся в различных климатических зонах в течение нескольких лет. В данной главе приведены результаты испытаний различных полимеров при длительном экспонировании в трех климатических зонах Советского Союза — сухой жаркий климат (Фергана, Ташкент), теплый влажный климат (Батуми) и умеренно холодный (Москва, Подмосковье, Ленинград).

Оценку грибоустойчивости полимеров в лабораторных условиях проводят по ГОСТ 13410—67, по одному из трех вариантов.

**Изменение свойств пленок (толщиной 0,25 мм) полиолефинов при световом старении  
(комнатный свет)**

Обозначения:  $\epsilon$  — относительное удлинение при разрыве, %;  $\sigma_p$  — предел прочности при растяжении,  $\text{кг/см}^2$ ;  $\sigma_T$  — предел текучести при растяжении,  $\text{кг/см}^2$ ;  $\text{tg } \delta$  — тангенс угла диэлектрических потерь при  $10^6 \text{ гц}$

Полимер	Исходные данные				Продолжительность старения, годы											
					1				2,5				3,5			
	$\epsilon$	$\sigma_p$	$\sigma_T$	$\text{tg } \delta$	$\epsilon$	$\sigma_p$	$\sigma_T$	$\text{tg } \delta$	$\epsilon$	$\sigma_p$	$\sigma_T$	$\text{tg } \delta$	$\epsilon$	$\sigma_p$	$\sigma_T$	$\text{tg } \delta$
Полиэтилен																
высокого давления . . .	540	140	120	0,0005	430	120	110	0,0015	400	120	110	0,0022	410	130	110	0,0027
низкого давления . . .	720	260	190	0,0003	50	230	220	0,0010	10	220	220	0,0010	10	220	210	0,0012
среднего давления . . .	300	280	280	0,0003	210	290	260	0,0008	10	240	230	0,0010	—	—	—	—
Полипропилен . .	600	290	180	0,0006	Хрупкая				—	—	—	—	—	—	—	—
Сополимер этилена с пропиленом СЭП-10	750	300	110	0,0003	670	260	115	0,0006	540	150	150	0,0011	210	130	100	0,0012

**Изменение свойств полиолефинов при облучении УФ-светом лампы ПРК-2 при комнатной температуре**

Полимер	Исходные данные				Продолжительность старения, ч												
					25				50				100				время до наступления хрупкости ч
	$\epsilon$	$\sigma_T$	$\sigma_p$	$\text{tg } \delta$	$\epsilon$	$\sigma_T$	$\sigma_p$	$\text{tg } \delta$	$\epsilon$	$\sigma_T$	$\sigma_p$	$\text{tg } \delta$	$\epsilon$	$\sigma_T$	$\sigma_p$	$\text{tg } \delta$	
Полиэтилен																	
высокого давления																	
П-2020-Т . . .	650	95	150	0,0003	100	100	120	0,0010	70	90	125	0,0015	30	95	120	0,0028	350
низкого давления																	
П-4009 . . .	750	260	240	0,0002	30	230	230	0,0005	15	200	210	0,0006	—	Хрупкий	0,0009	80	
П-4007 . . .	700	250	250	0,0002	15	200	220	0,0005	10	200	190	0,0007	0	200   180	0,0007	100	
П-4020 . . .	620	260	230	0,0003	20	220	200	0,0007	15	200	170	0,0006	—	Хрупкий	0,0007	80	
среднего давления . . .	200—500	270	270	0,0003	20	240	200	0,0006	15	230	210	0,0009	—	То же	—	80	
Полипропилен . .	600	260	270	0,0003	20	180	100	0,0009	Хрупкий				—	—	—	—	40
Сополимер этилена с пропиленом СЭП-10	750	110	150	0,0003	700	110	170	0,0010	25	100	120	0,0014	Хрупкий	—	—	—	100

Примечание. Условные обозначения см. на стр. 368.

По первому варианту испытываемая пластмасса опрыскивается суспензией спор в дистиллированной воде и образцы помещаются в термостаты при 30°С и 98%-ной относительной влажности. В этом случае источником питания для плесневых грибов служит только пластмасса. По второму и третьему вариантам испытания проводят в более жестких условиях.

Приводимые в данной главе результаты лабораторной оценки получены при испытании по первому варианту. Учитывая некоторое своеобразие условий испытания и недостаточно разработанные представления о влиянии плесневых грибов на состав и старение пластмассы, в настоящее время ограничиваются только визуальной оценкой, выражаемой в баллах. С увеличением балла стойкость пластмассы к действию плесневых грибов снижается.

Ниже приводятся данные о различных видах старения некоторых полимеров.

#### Старение полиолефинов

В таблицах на стр. 368—372 приведены данные о старении пленок из полиолефинов в различных атмосферных условиях, при складском хранении, а также результаты испытаний свойств пленок после светового старения.

#### Стойкость пленок (толщиной 0,2 мм) полиолефинов в различных атмосферных условиях

Полимер	Условия старения	Продолжительность экспонирования до наступления хрупкости месяцы
Полиэтилен высокого давления П-2020-Т	Под Ленинградом	16—18
	В Ташкенте	10—12
	В Батуми	12
низкого давления П-4020	Под Ленинградом	3—4
	В Ташкенте	1—2
	В Батуми	2
Сополимер этилена с пропиленом СЭП-10	Под Ленинградом	3
	В Ташкенте	1—2
	В Батуми	2
Полипропилен	Под Ленинградом	1—2
	В Ташкенте	0,5—1
	В Батуми	1—2

#### Старение полистирола и его производных

В таблицах на стр. 373—378 приведены данные об изменении свойств различных марок полистирола и его производных в результате теплового, светового и атмосферного старения, а также при хранении в комнатных условиях.

#### Изменение свойств пленок (толщиной 0,25 мм) полиолефинов при атмосферном старении под Ленинградом (продолжительность старения 1 месяц)

Полимер	Показатели	История												
		Исходные данные	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
Полиэтилен высокого давления	Относительное удлинение при разрыве, %	500	490	480	450	400	350	300	250	240	300	480	480	450
	Предел прочности при растяжении, кг/см <sup>2</sup>	140	125	120	125	120	110	100	105	110	110	120	120	130
	Тангенс угла диэлектрических потерь	0,0004	0,0007	0,0008	0,0009	0,0012	0,0014	0,0016	0,0022	0,0021	0,0014	0,0010	0,0010	0,0010
Полиэтилен низкого давления	Относительное удлинение при разрыве, %	760	760	760	730	680	650	50	100	400	600	640	640	
	Предел прочности при растяжении, кг/см <sup>2</sup>	260	240	240	220	190	190	180	170	240	255	246	246	
	Тангенс угла диэлектрических потерь	0,0002	0,0004	0,0004	0,0005	0,0006	0,0009	0,0009	0,0008	0,0006	0,0006	0,0004	0,0004	
Полипропилен	Относительное удлинение при разрыве, %	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	
	Предел прочности при растяжении, кг/см <sup>2</sup>	240	240	240	240	240	240	240	240	220	220	210	210	
	Тангенс угла диэлектрических потерь	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0016	0,0010	0,0010	
Сополимер этилена с пропиленом	Относительное удлинение при разрыве, %	700	700	700	700	600	260	150	140	700	700	720	700	
	Предел прочности при растяжении, кг/см <sup>2</sup>	280	240	220	210	200	150	140	140	230	24	260	260	
	Тангенс угла диэлектрических потерь	0,0003	0,0004	0,0004	0,0005	0,0008	0,0020	0,0025	0,0025	0,0012	0,0006	0,0005	0,0005	

**Изменение свойств пленок (толщиной 0,2 мм) полиэтилена высокого давления при атмосферном старении под Ленинградом (начало экспозиции -- июль)**

Марка полиэтилена	Исходные данные				Продолжительность старения, месяцы														
	ε	σ <sub>T</sub>	σ <sub>p</sub>	tg δ	3				6				12				18		
					ε	σ <sub>T</sub>	σ <sub>p</sub>	tg δ	ε	σ <sub>T</sub>	σ <sub>p</sub>	tg δ	ε	σ <sub>T</sub>	σ <sub>p</sub>	tg δ	ε	σ <sub>T</sub>	σ <sub>p</sub>
П-2006-В	500	105	159	0,0002	360	112	120	0,0016	270	95	127	0,0019	100	115	115	0,004	50	115	115
П-2010-В	525	110	145	0,0003	320	130	130	0,0019	—	—	—	—	50	128	128	0,005	50	110	110
П-2015-П	530	120	140	0,0003	—	—	—	—	240	100	110	0,0018	60	110	125	0,0045	—	—	—
П-2020-Т	530	100	145	0,0003	270	110	134	0,0016	270	110	134	0,0016	60	123	125	0,0042	40	102	102
П-2035-Т	490	100	150	0,0004	130	110	125	0,0018	160	100	115	0,0020	30	125	125	0,0048	15	120	120
П-2070-П	500	93	125	0,0003	160	105	115	0,0021	30	100	105	0,0028	25	103	113	0,0054	10	110	110

Примечание. Условные обозначения см. на стр. 368.

**Изменение свойств пленок (толщиной 0,25 мм) полиолефинов при длительном хранении в складских условиях (в темноте)**

Полимер	Исходные данные				Продолжительность хранения, годы											
	ε	σ <sub>p</sub>	σ <sub>T</sub>	tg δ	2,5				5				6			
					ε	σ <sub>p</sub>	σ <sub>T</sub>	tg δ	ε	σ <sub>p</sub>	σ <sub>T</sub>	tg δ	ε	σ <sub>p</sub>	σ <sub>T</sub>	tg δ
Полиэтилен высокого давления	500	140	120	0,0004	500	135	120	0,0012	500	130	115	0,0011	430	130	120	0,0015
Полиэтилен низкого давления	700	260	260	0,0002	670	260	260	0,0003	460	250	250	0,0005	500	250	220	0,0005
Полипропилен среднего давления	200	300	300	0,0003	200	260	260	0,0008	170	250	250	0,0008	85	300	300	0,0006
Полипропилен	550	240	190	0,0006	510	270	170	0,0010	226	240	200	0,0013	—	—	—	—
Сополимер с этиленом	760	300	130	0,0003	760	300	110	0,0004	680	240	120	0,0007	690	240	110	0,0007

Примечание. Условные обозначения см. на стр. 368.

**Изменение физико-механических свойств полистирола при тепловом старении при 60°С**

Полимер	Исходные данные		Продолжительность старения, ч							
	удельная ударная вязкость кг·см/см <sup>2</sup>	предел прочности при изгибе кг/см <sup>2</sup>	500		1600		2000		3000	
			удельная ударная вязкость кг·см/см <sup>2</sup>	предел прочности при изгибе кг/см <sup>2</sup>	удельная ударная вязкость кг·см/см <sup>2</sup>	предел прочности при изгибе кг/см <sup>2</sup>	удельная ударная вязкость кг·см/см <sup>2</sup>	предел прочности при изгибе кг/см <sup>2</sup>	удельная ударная вязкость кг·см/см <sup>2</sup>	предел прочности при изгибе кг/см <sup>2</sup>
Блочный	18,5	1000	16	970	15	960	15	940	17	950
Суспензионный	23	1040	24	1040	21	1030	23	1020	25	990
Эмульсионный	23	1000	23	1000	23	1030	—	—	23	1040
Сополимер стирола с α-метилстиролом САМ	21,5—25	1120—1400	24	1470	23—27	1160—1510	19,5	1150	21	1120
Сополимер стирола с акрилонитрилом СН-26	25 27,5	1275—1320	—	—	29 29	1370—1400	26,5 30	—	—	—
Сополимер стирола с метилметакрилатом МС	16	1060	—	—	15	1025	18	1050	17	1040
Сополимер стирола с метилметакрилатом и акрилонитрилом МСН	26	1175	—	—	26	1180	23,5	1210	26	1160
Поливинилтолуол	18	970	17	960	18	1000	—	—	—	—
Ударопрочный										
УП-1	50	Гибкий	34	600	32	600	15	680	7	560
УПП	49	550	32	460	29	530	29	—	23	560
ПС-СУ <sub>2</sub>	36	Гибкий	12	770	8	750	7	680	7	700
ПС-СУ <sub>3</sub>	30	860	13	900	15	930	13	950	11	970
СНП-2	55	Гибкий	51	Гибкий	52	Гибкий	48	Гибкий	48	1000
СНП-К	90	670	71	650	77	670	65	675	55	680
АН-ГК	91	730	78	690	74	710	79	760	63	720

Изменение свойств полистирола при атмосферном старении

Полистирол	Место экспозиции	Исходные данные			Продолжительность старения, годы					
		удельная ударная вязкость $кг \cdot см/см^2$	предел прочности при изгибе $кг/см^2$	тангенс угла диэлектрических потерь	1			3		
					удельная ударная вязкость $кг \cdot см/см^2$	предел прочности при изгибе $кг/см^2$	тангенс угла диэлектрических потерь	удельная ударная вязкость $кг \cdot см/см^2$	предел прочности при изгибе $кг/см^2$	тангенс угла диэлектрических потерь
Блочный	Ташкент Ленинград Батуми	—	—	—	1,8	562	0,0010	—	—	—
		17	1001	0,0002	2,8	728	0,0007	—	—	—
		—	—	—	1,9	647	0,0009	1,4	280	0,0010
Суспензионный	Ташкент Ленинград Батуми	—	—	—	1,8	500	0,0008—9	—	—	—
		23	1096	0,0002	2,4	747	0,0007	—	—	—
		—	—	—	1,9	645	0,0009	2,0	530	0,0011
Эмульсионный	Ташкент Ленинград Батуми	—	—	—	2,7	751	0,0011	—	—	—
		22	1071	0,0005	3,8	853	0,0012	—	—	—
		—	—	—	3,0	832	0,0012	1,0	—	0,0012
Поливинилтолуол	Ташкент Ленинград Батуми	—	—	—	5,3	662	—	—	—	—
		23	1036	0,0003	—	—	0,0011	—	—	—
		—	—	—	4,1	770	0,0012	1,5	400	0,0011
Ударопрочный УП-1	Ташкент Ленинград Батуми	—	—	—	1,2	262	—	—	—	—
		43	Гибкий	0,0008	1,3	318	0,0026	—	—	—
		—	—	—	1,2	359	0,0028	0,9	150	0,0034
Ударопрочный УПП	Ташкент Ленинград Батуми	—	—	—	1,2	275	—	—	—	—
		49	Гибкий	—	1,3	—	—	—	—	—
		—	—	—	1,5	250	—	1,0	150	—

Ударопрочный ПС-СУ <sub>2</sub>	Ташкент Ленинград Батуми	—	—	—	1,5	360	—	—	—	—
		38	Гибкий	—	1,5	573	—	—	—	—
		—	—	—	1,3	286	—	1,0	325	—
Ударопрочный ПС-СУ <sub>2</sub> , стабилизированный 2% сажи	Ташкент Ленинград Батуми	—	—	—	11	763	—	—	—	—
		37	Гибкий	—	11	803	—	—	—	—
		—	—	—	11,5	722	—	11,0	720	—
Ударопрочный СНП-2	Ташкент Ленинград Батуми	55,5	Гибкий	—	15	870	—	—	—	—
		—	—	—	10	Гибкий	—	—	—	—
		—	—	—	15	»	—	2,5	740	—
Ударопрочный ПС-СУ <sub>3</sub>	Ташкент Ленинград Батуми	—	—	—	2,7	576	—	2,1	—	—
		29	863	—	3,0	667	—	—	—	—
		—	—	—	2,8	621	—	2	500	—
Сополимер стирола с α-метилстиролом (САМ)	Ташкент Ленинград Батуми	—	—	0,0003—	2,5	791	—	2	—	—
		21,5	1123	0,0004	3,4	642	—	—	—	—
		—	—	—	3,3	—	0,0007	3	575	—
Сополимер стирола с нитрилоакрилом и метилметакрилатом (МСН)	Ташкент Ленинград Батуми	—	—	—	20,0	1094	—	6	—	—
		26	1175	—	22	—	—	—	—	—
		—	—	—	26	1129	—	10	1020	—
Сополимер стирола с метилметакрилатом (МС)	Ташкент Ленинград Батуми	—	—	—	8,4	743	—	—	580	—
		16	1058	—	13,6	—	—	—	—	—
		—	—	—	12	889	—	6	1020	—

**Изменение физико-механических свойств полистирола при световом старении**  
(лампа ПРК-4)

Полистирол	Исходные данные		Продолжительность облучения, ч									
			10		50		100		200		300	
	удельная ударная вязкость кг·см/см <sup>2</sup>	предел прочности при изгибе кг/см <sup>2</sup>	удельная ударная вязкость кг·см/см <sup>2</sup>	предел прочности при изгибе кг/см <sup>2</sup>	удельная ударная вязкость кг·см/см <sup>2</sup>	предел прочности при изгибе кг/см <sup>2</sup>	удельная ударная вязкость кг·см/см <sup>2</sup>	предел прочности при изгибе кг/см <sup>2</sup>	удельная ударная вязкость кг·см/см <sup>2</sup>	предел прочности при изгибе кг/см <sup>2</sup>	удельная ударная вязкость кг·см/см <sup>2</sup>	предел прочности при изгибе кг/см <sup>2</sup>
Блочный . . . . .	17	1001	10	882	10	900	9	925	9	930	9	833
Суспензионный . . . . .	23	1096	13	980	13	977	12	980	11	950	10	945
Эмульсионный . . . . .	22	1071	14	989	14	970	13	1012	13	970	12	945
Поливинилтолуол	18	970	12,5	954	11	967	10,5	980	10	894	10	831
Ударопрочный												
УП-1 . . . . .	43-50	Гибкий	22-25	487-587	16	482	21	593	7,0	525	3,5-14	503
УПП . . . . .	49	»	23	545	18	583	15	567	-	-	12	600
ПС-СУ <sub>2</sub> . . . . .	38	»	20	689	19	678	18	678	-	-	16	704
ПС-СУ <sub>2</sub> , стабилизированный 2% сажи . . . . .	37	Гибкий	20	632	16	582	17	568	16	494	15	496
ПС-СУ <sub>3</sub> . . . . .	29	863	20	-	18	879	18	853	-	-	16	892
СНП-2 . . . . .	55,5	»	46,5	Гибкий	43	Гибкий	42	Гибкий	-	-	41	Гибкий
Сополимер стирола с α-метилстиролом (САМ) . . . . .	21,5	1123	18	1087	-	-	15	1112	-	-	13,5	1116
Сополимер стирола с метилметакрилатом (МС) . . . . .	16	1058	13	1102	-	-	11	1041	-	-	13	1038
Сополимер стирола с акрилонитрилом и метилметакрилатом (МСН) . . . . .	26	1175	23	1188	-	-	18,5	1191	-	-	18	1159

**Изменение свойств полистирола при экспонировании в закрытом от солнца вентилируемом месте и при хранении в земле (Батуми)**

Полистирол	Исходные данные		После хранения в земле		После экспонирования			
	удельная ударная вязкость кг·см/см <sup>2</sup>	предел прочности при статическом изгибе кг/см <sup>2</sup>	2 года	5 лет	1 год		2 года	5 лет
			Удельная ударная вязкость кг·см/см <sup>2</sup>		Предел прочности при статическом изгибе кг/см <sup>2</sup>	Удельная ударная вязкость кг·см/см <sup>2</sup>		
Блочный . . . . .	17	1001	17	15	919	15	13,5	13
Суспензионный . . . . .	23	1096	19	20	1054	22	21	20
Эмульсионный . . . . .	22	1071	20	24	1069	22	22	22
Поливинилтолуол . . . . .	23	1036	18	12	1000	-	15	-
Ударопрочный								
УП-1 . . . . .	43	Гибкий	36	33	526	-	30	6
УПП . . . . .	49	»	22	13	635	-	18	-
ПС-СУ <sub>2</sub> . . . . .	38	»	-	10	-	28	15	8
ПС-СУ <sub>2</sub> , стабилизированный 2% сажи . . . . .	37	»	-	31	726	-	26	-
СНП-2 . . . . .	55,5	»	38	36	Гибкий	> 42	40	30-33
ПС-СУ <sub>3</sub> . . . . .	35	863	-	13	-	13,7	15	13,5
Сополимер стирола с α-метилстиролом (САМ) . . . . .	21,5	1123	-	21	-	21	19	-
Сополимер стирола с метилметакрилатом (МС) . . . . .	16	1058	-	15	-	-	16	16,5
Сополимер стирола с акрилонитрилом и метилметакрилатом (МСН) . . . . .	26	1175	-	26	-	23,5	22	25

**Изменение физико-механических и диэлектрических свойств полистирола при хранении в комнатных условиях (в бумажных пакетах)**

Полимер	Исходные данные			После старения					
	удельная ударная вязкость кг·см/см <sup>2</sup>	предел прочности при изгибе кг/см <sup>2</sup>	тангенс угла диэлектрических потерь	3 года			5 лет		
				удельная ударная вязкость кг·см/см <sup>2</sup>	предел прочности при изгибе кг/см <sup>2</sup>	тангенс угла диэлектрических потерь	удельная ударная вязкость кг·см/см <sup>2</sup>	предел прочности при изгибе кг/см <sup>2</sup>	тангенс угла диэлектрических потерь
Блочный . . . . .	17	1000	0,0002	17	1000	0,0002	17	1000	—
Суспензионный . . . . .	23	1100	0,0002	22,5	1100	0,0002	21	1100	—
Эмульсионный . . . . .	22	1070	0,0005	22	1070	0,0005	20	1100	—
Сополимер стирола с α-метил-стиролом . . . . .	21,5	1120	0,0003	21	1100	0,0005	20,5	1100	0,0007
Сополимер стирола с β-винил-нафталином . . . . .	24	1170	0,0004—0,0005	23,5	1170	0,0005—0,0006	19	1180	—
Ударопрочный									
УП-1 . . . . .	49	Гибкий	—	35	—	—	—	—	—
УПП . . . . .	49	560	—	25	670	—	—	—	—
СНП-2 . . . . .	55,5	Гибкий	0,033	47	Гибкий	0,032	—	—	—
ПС-СУ <sub>2</sub> , стабилизированный 2% сажн . . . . .	37	»	—	34	800	—	—	—	—
ПС-СУ <sub>3</sub> . . . . .	29	863	—	32	—	—	—	—	—
ПС-СУ <sub>2</sub> . . . . .	36	Гибкий	—	34	—	—	—	—	—

**Изменение свойств органических стекол (номинальной толщиной 10 мм) в процессе теплового старения\***

Показатели	СТ-1					ТСТ-Л					2-55					Т-2-55				
	Продолжительность старения, ч																			
	0	500	1000	1500	2000	0	500	1000	1500	2000	0	500	1000	1500	2000	0	500	1000	1500	2000
Температура размягчения, °С	121,0	117,0	122,5	122,0	122,5	112,5	116,5 111,0	113,5	113,5	117,5	138,5	128,9 129,0	128,5	127,0	131,5	128,5	137,0	132,0—129,0 126,5	128,0—128,5	126,5—129,0
Предел прочности при растяжении, кг/см <sup>2</sup>	891	857	882	880	805	891	891 840	901 861	889	788	1059	1011 840	1024 861	892	791	1035	1033—906 877	1063—984 859	942	1003
Относительное удлинение при разрыве, %	6,6	7,6	7,5	6,6	8,3	6,1	6,2 6,7	5,2 5,5	5,5	4,9	4,2	5,1 4,9	4,3 4,5	5,2	1,8	4,3	5,3—6,1 4,3	4,7—4,6 3,5	5,2	5,2
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup>	13,3	15,1	15,4	16,8	16,3	13,3	14,3 16,5	14,8 15,6	16,2	15,9	14,6	14,7 18,4	14,8 19,5	19,2	18,2	15,5	17,8—18,7 15,5	17,0—19,1 11,9	19,1	18,7
Модуль упругости, кг/см <sup>2</sup>	30800	31700	32600	31500	27500	33900	30100 30600	31500 33200	29200	25460	37800	34900 36600	38400 37500	29200	34100	36900	36000—37600 31300	39700—40300 37000	35200	32800
Прозрачность, %	92,0	91,0	91,0	91,5	90,5	90,5	80,9 81,0	78,5 76,0	78,0	75,0	92,0	90,0 90,0	89,0 88,0	88,0	86,0	91,0	82,0—79,0 19,6	77,1—64,0	73,0	68,0

\* Показатели свойств для стекла СТ-1 определены после прогрева при 130° С; для стекол ТСТ-Л и 2-55 цифры в числителе — показатели свойств после прогрева при 150° С, в знаменателе — при 160° С; для стекла Т-2-55 цифры в числителе слева — показатели свойств после прогрева при 150° С, справа — при 160° С, в знаменателе — при 180° С. Испытания проведены в соответствии с ГОСТ 10667—63.

**Изменение свойств органических стекол (номинальной толщиной 10 мм) при ускоренном тепловом старении (в течение 5 ч)**

Показатель	СТ-1		ТСТ-Л		2-55		Т-255		
	исходные данные	после прогрева при 180° С	исходные данные	после прогрева при 200° С	исходные данные	после прогрева при 180° С	исходные данные	после прогрева при 200° С	после прогрева при 230° С
Температура размягчения, °С . . .	121,0	115,0	113,0	115,5	138,5	128,0	135,5	125,0	121,5
Предел прочности при растяжении, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	892	814	878	879	995	1000	1014	1030	605
Относительное удлинение при разрыве, % . . .	5,9	7,2	7,5	7,2	3,9	4,4	4,0	4,8	1,8
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> . . .	13,2	14,8	13,9	15,7	14,6	17,9	15,5	18,2	9,6
Модуль упругости, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	30 400	28 500	30 700	31 400	37 800	37 200	36 900	38 000	36 100
Прозрачность, %	92,1	92,1	91,6	84,8	91,8	91,5	90,6	91,2	79,8
Термостабильность по видимым дефектам	—	После старения при 180° С в течение 2 ч дефектов нет; при 190° С приблизительно через 100 мин появляются пузырьки	—	После старения при 250° С в течение 2 ч дефектов нет; при 260° С приблизительно через 1 ч появляются пузырьки	—	После старения при 210° С в течение 2 ч дефектов нет; при 220° С приблизительно через 110 мин появляются пузырьки	—	После старения при 250° С в течение 2 ч дефектов нет; при 260° С приблизительно через 100 мин наблюдается пожелтение образца и появление на его поверхности ряби	

**Изменение свойств органических стекол (номинальной толщиной 4 мм) в процессе облучения УФ-светом лампы ЭУВ-30 \* при 25 ± 3° С**

Показатели	Органическое стекло, полученное полимеризацией MMA в присутствии динитрила азо-бис-изомасляной кислоты			Органическое стекло, полученное полимеризацией MMA в присутствии перекиси бензоила			СОЛ		
	исходные данные	после 500 ч облучения	после 1000 ч облучения	исходные данные	после 500 ч облучения	после 1000 ч облучения	исходные данные	после 500 ч облучения	после 1000 ч облучения
Температура размягчения, °С (ГОСТ 10667—63) . . . . .	117,5	—	—	117,5	—	—	97	—	—
Предел прочности при растяжении, кг/см <sup>2</sup> (на приборе М-100) . . .	800	830	850	835	860	855	700	320	265
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup> (на приборе Дин-стат) . . . . .	11,0	10,0	10,0	11,0	10,5	10,3	10,8	3,8	2,6

\* Лампа установлена на расстоянии 2 см от образцов.



## Изменение физико-механических свойств органических стекол

Показатель	СОЛ*					СТ-1*				
	Продолжительность									
	0	2	4	10	15	2	4	3	3	10
Температура размягчения, °С . . . . .	$\frac{91,0}{92,5}$	$\frac{91,0}{90,0}$	$\frac{95,0}{95,0}$	$\frac{97,5}{97,5}$	$\frac{93,0}{93,0}$	$\frac{116,0}{116,0}$	$\frac{114,0}{114,0}$	$\frac{112,0}{112,0}$	$\frac{109,0}{109,0}$	$\frac{107,5}{107,5}$
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>	$\frac{746}{711}$	$\frac{675}{696}$	$\frac{627}{627}$	$\frac{587}{587}$	$\frac{589}{589}$	$\frac{860}{860}$	$\frac{741}{741}$	$\frac{719}{719}$	$\frac{760}{760}$	$\frac{767}{767}$
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	-	$\frac{3,6}{3,5}$	$\frac{2,6}{2,6}$	$\frac{1,6}{1,6}$	$\frac{2,1}{2,1}$	$\frac{4,1}{4,1}$	$\frac{4,1}{4,1}$	$\frac{3,9}{3,9}$	$\frac{3,3}{3,3}$	$\frac{1,9}{1,9}$
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup>	$\frac{13,6}{14,7}$	$\frac{11,6-}{13,2-}$	$\frac{11,4-}{12,2-}$	$\frac{11,6-}{11,6-}$	$\frac{10,7-}{10,7-}$	$\frac{14,2}{14,2}$	$\frac{13,7-}{13,7-}$	$\frac{12,6-}{12,6-}$	$\frac{12,9-}{12,9-}$	$\frac{12,3-}{12,3-}$
Твердость по Бринеллю, кг/мм <sup>2</sup> . . . . .	$\frac{22,8}{20,6}$	$\frac{20,0}{22,0}$	$\frac{19,8}{21,6}$	$\frac{19,4}{19,4}$	$\frac{21,4}{21,4}$	$\frac{24,0}{24,0}$	-	$\frac{25,6}{25,6}$	$\frac{21,8}{21,8}$	$\frac{22,0}{22,0}$
Предел прочности поверхности, кг/мм <sup>2</sup> . . . . .	$\frac{3,1}{3,1}$	$\frac{1,5}{1,5}$	$\frac{2,1}{2,3}$	$\frac{1,7}{1,7}$	-	$\frac{2,9}{2,9}$	$\frac{2,7}{2,7}$	$\frac{2,5}{2,5}$	$\frac{2,1}{2,1}$	-
Светопрозрачность, % . . . . .	$\frac{93,4}{93,2}$	$\frac{91,0}{91,9}$	$\frac{89,3}{90,2}$	$\frac{89,3}{89,3}$	$\frac{82,6}{82,6}$	$\frac{92,2}{92,2}$	$\frac{91,0}{91,0}$	$\frac{90,8}{90,8}$	$\frac{91,3}{91,3}$	$\frac{86,2}{86,2}$

\* Цифры в числителе — показатели свойств для листового материала в состоянии постав (2-55 и Т-2-55). В случае удельной ударной вязкости цифры слева характеризуют сторону, об-  
 \*\* Листы органических стекол при испытании были закреплены вертикально.  
 \*\*\* За указанное время «серебро» на поверхности листов обнаружено не было.

## (номинальной толщиной 10 мм) в процессе атмосферного старения \*

Показатель	СТ-1			ТСТ-Л			2-55			Т-2-55			
	старения**, годы												
	0	2	3	0	2	3	0	1	2	3	0	1	2
Температура размягчения, °С . . . . .	$\frac{116,5}{116,0}$	$\frac{110,0}{115,5}$	$\frac{111,0}{111,5}$	$\frac{114,0}{114,0}$	$\frac{106,0}{106,0}$	$\frac{105,5}{105,5}$	$\frac{137,0}{136,0}$	$\frac{127,0}{123,0}$	$\frac{122,0}{121,5}$	$\frac{121,5}{117,5}$	$\frac{136,5}{136,5}$	$\frac{127,5}{127,5}$	$\frac{126,0}{126,0}$
	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>	$\frac{861}{891}$	$\frac{749}{754}$	$\frac{779}{769}$	$\frac{867}{867}$	$\frac{765}{765}$	$\frac{783}{783}$	$\frac{1075}{1100}$	$\frac{883}{886}$	$\frac{802}{858}$	$\frac{678}{771}$	$\frac{990}{990}$	$\frac{698}{698}$	$\frac{401}{401}$
	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	$\frac{1538}{1468}$	$\frac{1303}{1315}$	$\frac{1403}{1350}$	$\frac{1509}{1509}$	$\frac{1331}{1331}$	$\frac{1359}{1359}$	$\frac{1865}{1824}$	$\frac{1738}{1708}$	$\frac{1617}{1592}$	$\frac{1624}{1573}$	$\frac{2012}{2012}$	$\frac{1750}{1750}$	$\frac{1806}{1806}$
	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup>	$\frac{4,7}{4,8}$	$\frac{5,1}{6,0}$	$\frac{4,1}{3,9}$	$\frac{5,1}{5,1}$	$\frac{4,5}{4,5}$	$\frac{4,1}{4,1}$	$\frac{4,0}{3,7}$	$\frac{3,5}{3,5}$	$\frac{3,9}{3,3}$	$\frac{1,4}{1,6}$	$\frac{2,3}{2,3}$	$\frac{1,4}{1,4}$	$\frac{0,3}{0,3}$
	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении
Твердость по Бринеллю, кг/мм <sup>2</sup> . . . . .	$\frac{14,4}{13,3}$	$\frac{12,5-12,4}{13,3-14,9}$	$\frac{12,8-13,1}{14,2-14,3}$	$\frac{14,5}{14,5}$	$\frac{13,6-13,1}{13,1}$	$\frac{13,3-13,7}{13,7}$	$\frac{16,0}{15,0}$	$\frac{15,1-13,6}{16,4-17,1}$	$\frac{8,6-12,2}{9,3-14,9}$	$\frac{5,8-13,8}{5,7-15,0}$	$\frac{15,2}{15,2}$	$\frac{5,2-14,8}{14,8}$	$\frac{2,1-11,9}{11,9}$
	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении
Предел прочности поверхности, кг/мм <sup>2</sup> . . . . .	$\frac{23,3}{23,7}$	$\frac{22,4}{22,4}$	$\frac{21,3}{22,4}$	$\frac{23,4}{23,4}$	$\frac{22,4}{22,4}$	$\frac{22,1}{22,1}$	$\frac{27,8}{28,4}$	$\frac{24,4}{26,8}$	$\frac{25,2}{24,8}$	$\frac{22,4}{20,2}$	$\frac{27,8}{27,8}$	$\frac{25,2}{25,2}$	$\frac{25,0}{25,0}$
	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении
Светопрозрачность, % . . . . .	$\frac{91,7}{92,0}$	$\frac{88,9}{90,0}$	$\frac{90,1}{91,0}$	$\frac{88,8}{88,8}$	$\frac{87,3}{87,3}$	$\frac{89,1}{89,1}$	$\frac{91,8}{92,0}$	$\frac{89,9}{89,8}$	$\frac{88,3}{87,5}$	$\frac{88,6}{89,0}$	$\frac{91,0}{91,0}$	$\frac{90,6}{90,6}$	$\frac{89,8}{89,8}$
	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении	при сжатии . . . . .	при растяжении

ки, в знаменателе — прогретого в течение 1 ч при 145° С (СТ-1 и ТСТ-Л) и при 165–170° С

**Изменение свойств органических стекол (номинальной толщиной 10 мм) после старения в условиях различной относительной влажности и последующей подсушки \***

Показатель	Исходный	Продолжительность выдержки, месяцы				Условия подсушки образцов		
		при 60%-ной влажности		при 97%-ной влажности		термообработка в течение 1,5 ч **	термообработка в течение 6 ч ***	выдержка над P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в течение 1 года
		6	12	6	12			
Температура размягчения, °С	119,0 137,5-134,0	118,5 131,5-131,0	115,5 126,5-123,5	109,0 117,5-116,5	109,0 107,5-113,0 (после 9 месяцев старения)	107,0 122,0-124,0	112,5 117,0-114,0	121,0 130,5-130,0
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>								
при растяжении при 20° С	896 1 007-1 020	824 921-870	849 936-826	703 697-732	724 713-717	858 1 039-1 030	869 943-939	865 1 095-1 103
при 80° С для СТ-1 и при 100° С для 2-55-T-2-55	357 340-334	313 223-217	329 165-148	245 68-96	242 35-56	352 351-350	243 340-263	379 382-356
при сжатии	1 546 1 970-1 990	1 359 1 657-1 625	1 460 1 691-1 721	1 238 1 511-1 479	1 306 1 355-1 378	1 277 1 644-1 670	1 452 1 493-1 484	1 480 1 659-1 642
Относительное удлинение при разрыве при 20° С, %	5,7 4,0-3,9	5,9 4,4-4,0	6,3 4,1-4,0	6,3 4,7-4,0	6,8 5,0-5,6	7,5 5,1-5,5	6,1 5,2-5,3	5,6 4,5-5,1
Модуль упругости при растяжении при 20° С, кг/см <sup>2</sup>	32 200 39 100-39 100	29 600 34 100-33 800	30 500 35 100-34 800	32 300 31 000-35 200	26 700 28 200-28 000	25 200 35 100-36 300	23 200 32 400-31 800	26 100 34 800-35 000
Твердость по Бринеллю, кг/мм <sup>2</sup>	24,0 27,5-27,5	21,5 25,5-26,0	22,0 26,5-26,0	19,5 22,5-22,5	19,0 20,0-20,5	20,0 21,0-21,0	21,0 25,0-27,0	22,0 25,0-22,0
Влагопоглощение, %	-	0,64 0,9-0,89	1,04 1,04-1,01	1,46 2,37-2,24	1,77 3,37-3,15	-	-	-

\* Цифры в числителе — показатели свойств для стекла СТ-1, в знаменателе слева — для стекла 2-55, справа — для стекла Т-2-55.  
 \*\* Температура термообработки стекол СТ-1 — 145° С; стекол 2-55 и Т-2-55 — 165° С.  
 \*\*\* Температура термообработки стекол СТ-1 — 80° С; стекол 2-55 и Т-2-55 — 100° С.

**Изменение свойств органических стекол (номинальной толщиной 10 мм) при старении в условиях складского хранения**

Показатель	СОЛ		СОЛ*		СТ-1		ТСТ-Л		2-55		Т-2-55											
	Продолжительность старения, годы																					
	0	2	5	10	0	2	10	0	2	3	5	0	2	3	0	2	5	10	0	2	5	
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>																						
при растяжении	750	710	742	738	716	680	763	840	836	774	839	870	774	784	951	860	970	920	920	870	952	
> сжатии	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1373	-	1470	1328	1352	-	1573	-	-	-	-	-	
> статическом изгибе	1180	1088	1220	1036	-	1075	1097	1242	1311	-	1132	-	-	-	1430	-	1250	1270	1470	1390	1215	
Относительное удлинение при разрыве, %	5,4	3,4	5,0	5,0	-	3,8	4,8	4,5	5,2	4,6	4,6	4,5	4,8	4,4	3,1	3,2	2,8	2,7	2,7	3,2	3,1	
Предел прочности поверхности, кг/мм <sup>2</sup>	3,3	1,7	2,3	2,1	3,1	2,3	3,1	3,3	3,1	-	3,3	-	-	-	4,9	-	4,0	3,6	4,5	4,3	4,3	
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup>	13,7	12,3	13,0	13,1	16,7	12,8	13,2	13,3	12,2	12,7	13,3	14,4	13,4	12,2	14,2	13,4	14,0	13,7	15,9	16,1	17,0	
Твердость по Бринеллю, кг/мм <sup>2</sup>	22,0	22,6	22,0	21,2	20,6	22,0	21,6	22,8	23,8	22,4	21,4	23,0	22,4	22,7	28,0	25,4	27,4	26,6	27,7	28,6	24,1	
Температура размягчения, °С	96,0	94,5	91,0	93,5	91,5	92,0	92,5	118,0	114,0	110,0	112,5	114,0	109,0	108,0	136,5	122,5	123,0	124,0	135,5	131,0	127,0	
Светопрозрачность, %	93,4	93,6	92,0	91,6	93,2	93,6	92,2	92,3	91,9	92,2	91,2	90,6	91,0	91,3	91,2	91,5	91,0	91,4	91,4	91,1	91,2	
Стрела прогиба, мм	6,7	5,8	6,6	3,5	-	5,8	5,6	6,9	6,7	-	6,7	-	-	-	6,3	-	5,2	5,7	-	-	-	

\* Стекло было термообработано при 120° С в течение 1 ч, после чего хранилось в складском помещении.

**Изменение физико-механических свойств некоторых полиамидов при тепловом старении**

Показатели	Температура °C	Продолжительность старения, сутки																	
		0	2	5	15	30	40	0	2	5	15	30	40	0	2	5	15	30	40
		Капрон марки Б						Поликапроамид						П-АК7					
Предел прочности, $кг/см^2$																			
при растяжении . . . . .	70	762	844	884	748	—	710	740	841	867	711	—	707	802	760	776	714	—	741
	100	762	836	884	847	—	773	740	868	881	870	—	736	802	850	822	800	—	788
	140	762	379	296	237	193	—	740	431	326	286	248	—	802	347	279	230	195	—
при статическом изгибе	70	1090	1343	1190	1128	—	1030	704	1008	973	910	—	803	1092	1157	1172	1082	1195	1008
	100	—	1320	1245	1150	—	1160	704	1137	1068	1162	—	590	1092	1063	1225	1223	—	1033
	140	—	358	399	519	360	—	704	498	458	576	444	—	1092	425	426	417	344	—
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	70	144	148	154	154	—	—	125	141	141	126	—	—	153	141	—	157	—	—
	100	144	144	154	24	—	—	125	145	26	44	—	—	153	136	146	4,4	—	—
	140	144	1,89	2,89	2,63	1,45	—	125	2,09	1,93	4,1	1,9	—	—	—	—	—	—	—
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	70	80	52	33	74	—	2,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	100	80	68	33	22	—	3,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	140	80	4	2	5	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Статистика пластичности

**Изменение физико-механических свойств полиамида П-68 ненаполненного и наполненного дисульфидом молибдена при тепловом старении**

Показатель	Температура °C	Продолжительность старения, сутки											
		0	2	5	15	30	0	2	5	15	30	40	
		П-68						П-68/DM1,5					
Предел прочности, $кг/см^2$													
при растяжении . . . . .	70	585	712	621	629	662	578	483	443	396	—	386	
	100	585	723	626	632	597	578	483	443	558	—	577	
	140	585	126	199	238	126	578	595	526	686	416	—	
при статическом изгибе . . . . .	70	790	860	1307	1030	1000	852	837	904	950	983	845	
	100	790	889	1407	1093	955	852	973	965	965	1074	927	
	140	790	494	613	272	330	852	965	894	644	382	—	
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	70	97	113	97	111	121	117	18,7	14,5	26	—	—	
	100	97	118	105	21,6	14,8	117	15,8	17,0	23	—	—	
	140	97	3,9	2,5	2,0	2,0	117	7,5	4,9	2,6	—	—	
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	70	212	102	136	17	92	—	—	—	—	—	—	
	100	212	110	18	9	2	—	—	—	—	—	—	
	140	212	9	4	5	2	—	—	—	—	—	—	

Старение

## Изменение физико-механических свойств некоторых полиамидов при световом старении

Показатели	Продолжительность старения, сутки											
	Капрон марки Б						Поликапроамид					
	0	2	5	10	20	30	0	2	5	10	20	30
Предел прочности, $кг/см^2$ при растяжении . . . . .	762	—	672	799	652	717	740	735	769	773	554	670
	1090	1092	1273	1150	1295	1177	—	—	—	—	—	—
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	144	152	155	149	30	10	125	108	49	81	107	121
	80	62	117	131	146	—	22	88	90	12	22	16
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

## Изменение физико-механических свойств полиамида П-68 ненаполненного и наполненного дисульфидом молибдена при световом старении

Показатели	Продолжительность старения, сутки											
	П-68						П-68ДМ1,5					
	0	2	5	10	20	30	0	2	5	10	20	30
Предел прочности, $кг/см^2$ при растяжении . . . . .	585	434	418	317	333	297	578	537	443	505	514	425
	790	855	882	866	916	870	852	940	1002	933	1017	960
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	97	123	117	123	20,3	27	18	23,6	15,1	22,9	7,4	19,5
	212	33	5	2	2	2	8	2	2	2	2	2
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

## Изменение физико-механических свойств капрона и поликапроамида при старении в умеренно холодном климате

Показатели	Продолжительность старения, месяцы									
	Капрон марки Б					Поликапроамид				
	0	1	3	6	12	0	1	3	6	12
Предел прочности, $кг/см^2$ при растяжении . . . . .	762	587	499	372	358	740	489	459	412	336
	1090	622	465	475	438	704	369	319	326	339
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	144	101	100	64,7	8,9	125	66,8	59,8	63,0	68,1
	80	229	280	160	198	27	242	243	178	222

## Изменение физико-механических свойств полиамидов П-АК7 и П-68ДМ1,5 при старении в умеренно холодном климате

Показатели	Продолжительность старения, месяцы									
	П-АК7					П-68ДМ1,5				
	0	1	3	6	12	0	1	3	6	12
Предел прочности, $кг/см^2$ при растяжении . . . . .	802	514	512	397	354	540	518	585	356	392
	1092	653	468	488	464	691	740	692	694	416
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	158	96	94	96	93,8	18	10,6	6,4	6,2	4,3
	283	262	250	100	205	—	—	—	—	—

## Изменение свойств полиамида П-68 при старении в умеренно холодном климате

Показатели	Продолжительность старения, месяцы				
	0	1	3	6	12
Предел прочности, $кг/см^2$ . . . . .	585	602	426	302	215
	790	605	533	597	581
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	97	11,5	94,2	101	93,5

Продолжение

Показатели	Продолжительность старения, месяцы				
	0	1	3	6	12
Относительное удлинение при разрыве, %	212	256	143	—	16
Удельное объемное электрическое сопротивление, ом·см	$5,4 \cdot 10^{14}$	$5,9 \cdot 10^{13}$	$7,1 \cdot 10^{13}$	$2,1 \cdot 10^{13}$	$7,4 \cdot 10^{13}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при 60 гц	0,023	0,035	0,034	0,04	0,045
Диэлектрическая проницаемость при 60 гц	3,7	3,5	3,3	3,3	3,3

## Изменение физико-механических свойств капрона и поликапроамида при старении в теплом сухом климате

Показатели	Продолжительность старения, месяцы									
	Капрон марки Б					Поликапроамид				
	0	1	3	6	12	0	1	3	6	12
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup> при растяжении	762	690	600	217	389	740	535	278	199	287
» статическом изгибе	1090	771	715	370	571	704	465	447	320	447
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup>	144	134	23	3,3	4,4	125	86,1	38,2	4,2	5,4
Относительное удлинение при разрыве, %	80	276	246	—	100	27	146	55	44	6

## Изменение физико-механических свойств полиамидов П-АК7 и П-68ДМ1,5 при старении в теплом сухом климате

Показатели	Продолжительность старения, месяцы									
	П-АК7					П-68ДМ1,5				
	0	1	3	6	12	0	1	3	6	12
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup> при растяжении	802	586	439	203	279	540	451	413	303	391
» статическом изгибе	1092	777	777	316	587	691	806	722	291	692
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup>	153	120	14,3	3,7	5,6	18	12,6	5,5	2,6	5,1
Относительное удлинение при разрыве, %	283	271	167	7	4	—	—	—	—	—

## Изменение свойств полиамида П-68 при старении в теплом сухом климате

Показатели	Продолжительность старения, месяцы				
	0	1	3	6	12
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup> при растяжении	585	490	314	207	267
» статическом изгибе	790	703	704	275	421
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup>	97	9,3	5,6	2,5	2,8
Относительное удлинение при разрыве, %	212	221	2	2	4
Удельное объемное электрическое сопротивление, ом·см	$5,4 \cdot 10^{14}$	$1,0 \cdot 10^{13}$	$1,9 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{15}$	$6,3 \cdot 10^{13}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при 60 гц	0,023	0,030	0,022	0,029	0,054
Диэлектрическая проницаемость при 60 гц	3,7	3,5	3,4	3,3	3,5

## Изменение физико-механических свойств капрона и поликапроамида при старении в теплом влажном климате

Показатели	Продолжительность старения, месяцы									
	Капрон марки Б					Поликапроамид				
	0	1	3	6	12	0	1	3	6	12
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup> при растяжении	762	654	402	324	309	740	497	429	333	312
» статическом изгибе	1090	508	460	444	503	704	328	377	285	564
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup>	144	144	79	5,7	10,2	125	67,6	—	14,2	5,9
Относительное удлинение при разрыве, %	80	402	242	70	60	27	130	200	114	70

## Изменение физико-механических свойств полиамидов П-АК7 и П-68ДМ1,5 при старении в теплом влажном климате

Показатели	Продолжительность старения, месяцы									
	П-АК7					П-68ДМ1,5				
	0	1	3	6	12	0	1	3	6	12
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup> при растяжении	802	610	433	155	337	540	498	343	197	346
» статическом изгибе	1092	520	438	289	456	691	706	530	366	437
Удельная ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup>	158	115	3,8	2,7	7,5	18	3,97	2,3	2,6	12,5
Относительное удлинение при разрыве, %	283	296	230	—	65	—	—	—	—	—

## Изменение свойств полиамида П-68 при старении в теплом влажном климате

Показатели	Продолжительность старения, месяцы				
	1	2	3	6	12
Предел прочности, $\text{кг/см}^2$ при растяжении . . . . .	585	502	201	172	240
» статическом изгибе . . . . .	790	579	396	293	473
Удельная ударная вязкость, $\text{кг}\cdot\text{см/см}^2$ . . . . .	97	111	5,9	1,8	—
Относительное удлинение при разрыве, % . . . . .	212	313	—	—	5
Удельное объемное электри- ческое сопротивление, $\text{ом}\cdot\text{см}$	$5,4 \cdot 10^{14}$	$5,8 \cdot 10^{14}$	$3,1 \cdot 10^{13}$	$2,0 \cdot 10^{14}$	$1,4 \cdot 10^{13}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при 60 гц . . . . .	0,028	0,036	0,034	0,037	0,066
Диэлектрическая проницае- мость при 60 гц . . . . .	3,7	3,4	3,4	3,4	3,5

## Грибостойкость некоторых полиамидов (в баллах)

Полиамид	Продолжительность испытания, месяцы				
	1	3	6	12	24
Лабораторные испытания					
П-68 . . . . .	1	—	2	2	—
П-68Т20 . . . . .	1	2	2	2	2
П-68ДМ1,5 . . . . .	1	—	1	1	—
Капрон Б . . . . .	1	—	1	1	—
АК-7 . . . . .	1	—	1	1	—
Складское хранение					
П-68 . . . . .	—	—	1	2	—
П-68ДМ1,5 . . . . .	—	—	1	1	—
Капрон Б . . . . .	—	—	1	1	—
АК-7 . . . . .	—	—	0	1	—
Испытание на стеллажах					
П-68 . . . . .	—	—	0	1	—
П-68ДМ1,5 . . . . .	—	—	0	0	—
Капрон Б . . . . .	—	—	1	1	—
АК-7 . . . . .	—	—	0	1	—

## Старение полиакрилатов

Испытания проведены в соответствии с ГОСТ 10667—63. Данные о световом и атмосферном старении органических стекол, а также результаты испытаний их свойств после пребывания в условиях складского помещения приведены на стр. 379—385.

Стойкость органических стекол к воздействию тепла можно оценивать ускоренным способом. Для этого показатели свойств органических стекол определяют после прогрева их на воздухе в течение 5 ч при более высоких температурах. Показатели свойств органических стекол различных марок после ускоренного теплового старения приведены в таблице на стр. 380.

## Старение полиамидов

В таблицах на стр. 386—392 приведены данные о тепловом, световом и атмосферном старении полиамидов различных марок (наполненных и ненаполненных), а также данные об их грибостойкости.

## Старение поликарбоната

Ниже приведены данные об изменении свойств поликарбоната дифлон при тепловом и световом старении.

## Изменение некоторых свойств поликарбоната дифлон при тепловом старении

Показатели	Температура $^{\circ}\text{C}$	Продолжительность старения, сутки						
		0	5	10	20	30	90	120
Предел прочности при растяжении, $\text{кг/см}^2$ . . . . .	80	434	364	305	379	383	300	335
	100	434	216	276	241	259	231	174
	130	434	293	309	281	242	—	38
	150	434	156	121	42,4	—	56,5	—
	80	—	0,034	0,119	0,115	—	—	0,286
Потери массы, % . . . . .	100	—	0,04	0,123	0,169	—	—	—
	130	—	0,06	0,141	0,168	—	—	0,253
	150	—	0,107	0,180	0,220	—	—	—

## Изменение некоторых свойств поликарбоната дифлон при световом старении

Показатели	Продолжительность старения, сутки					
	0	5	10	20	30	90
Предел прочности при растяжении, $\kappa\Gamma/\text{см}^2$ . . . . .	434	303	289	266,8	281	178
Потери массы, % . . . . .	—	0,149	—	—	—	0,164

## Старение прессматериалов на основе феноло-формальдегидных смол

В таблицах на стр. 394—399 приведены результаты испытаний свойств различных прессматериалов на основе феноло-формальдегидных смол после теплового и атмосферного старения.

## Изменение физико-механических свойств прессматериала АГ-4в при тепловом старении

Показатели	Температура $^{\circ}\text{C}$	Продолжительность старения, сутки						
		0	30	60	90	120	270	360
Предел прочности, $\kappa\Gamma/\text{см}^2$ при растяжении . . . . .	60	962	785	639	791	747	924	885
	90	962	740	746	—	1003	902	1031
	120	962	804	832	891	729	770	872
	150	962	674	602	636	515	652	331
	200	962	—	—	386	—	49,7	46,5
при статическом изгибе . . . . .	60	2138	1682	1512	1412	1388	1530	1622
	90	2138	1456	1213	—	1050	902	1031
	120	2138	1531	1230	1210	1286	2190	1953
	150	2138	2089	1663	853	1264	2160	1946
	200	2138	—	—	779,6	—	157	127
Удельная ударная вязкость, $\kappa\Gamma \cdot \text{см}/\text{см}^2$ . . . . .	60	57,2	36,7	52,4	51,0	65,7	46,6	48,2
	90	57,2	43,8	29,1	—	26,1	23,1	28,6
	120	57,2	23,8	26,0	20,5	25,6	42,0	38,6
	150	57,2	13,3	37,8	24,3	18,9	29,7	27,4
	200	57,2	—	—	—	—	—	30,0
Твердость по Бринеллю, $\kappa\Gamma/\text{мм}^2$ . . . . .	60	46,5	43,4	42,3	42,5	45,2	38,4	48,8
	90	46,5	37,4	54,5	—	39,6	52,0	57,8
	120	46,5	56,5	52,7	40,3	53,1	46,5	53,5
	150	46,5	45,9	53,8	50,9	40,4	44,8	51,6
	200	46,5	—	—	14,4	—	9,2	10,1

## Изменение диэлектрических свойств прессматериала АГ-4в при тепловом старении

Показатели	Температура $^{\circ}\text{C}$	Продолжительность старения, сутки					
		0	60	120	180	360	
Удельное электрическое сопротивление объемное, $\text{ом} \cdot \text{см}$ . . . . .	60	$4,9 \cdot 10^{12}$	$3,3 \cdot 10^{14}$	$5,0 \cdot 10^{13}$	$1,6 \cdot 10^{15}$	$7,1 \cdot 10^{14}$	
	90	$4,9 \cdot 10^{12}$	$1,2 \cdot 10^{14}$	$3,6 \cdot 10^{14}$	$1,5 \cdot 10^{16}$	$3,1 \cdot 10^{15}$	
	120	$4,9 \cdot 10^{12}$	—	$12,1 \cdot 10^{15}$	$6,7 \cdot 10^{15}$	$1,3 \cdot 10^{13}$	
	150	$4,9 \cdot 10^{12}$	$1,3 \cdot 10^{14}$	$9,5 \cdot 10^{15}$	$8,2 \cdot 10^{15}$	$9,0 \cdot 10^{14}$	
	200	$4,9 \cdot 10^{12}$	—	—	$3,1 \cdot 10^{14}$	$1,4 \cdot 10^{12}$	
	поверхностное, $\text{ом}$ . . . . .	60	$3,05 \cdot 10^{13}$	$1,6 \cdot 10^{15}$	$4,5 \cdot 10^{12}$	$1,1 \cdot 10^{15}$	$3,5 \cdot 10^{13}$
		90	$3,05 \cdot 10^{13}$	$3,8 \cdot 10^{13}$	$1,6 \cdot 10^{13}$	$2,2 \cdot 10^{15}$	$2,8 \cdot 10^{14}$
		120	$3,05 \cdot 10^{13}$	$1,3 \cdot 10^{11}$	$10,3 \cdot 10^{15}$	$1,4 \cdot 10^{14}$	$27,3 \cdot 10^{13}$
		150	$3,05 \cdot 10^{13}$	$1,9 \cdot 10^{13}$	$4,4 \cdot 10^{15}$	$3,9 \cdot 10^{15}$	$8,3 \cdot 10^{14}$
		200	$3,05 \cdot 10^{13}$	—	—	$1,5 \cdot 10^{15}$	$8,5 \cdot 10^{12}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при $10^6$ $\text{гц}$ . . . . .	60	0,024	0,012	0,010	0,0065	0,0086	
	90	0,024	0,0081	0,0078	0,0062	0,0065	
	120	0,024	0,0087	0,007	0,0066	0,0063	
	150	0,024	0,0080	0,0062	0,0063	0,0069	
	200	0,024	—	—	0,0071	0,0083	
Диэлектрическая проницаемость при $10^6$ $\text{гц}$ . . . . .	60	6,5	5,1	5,1	5,1	5,2	
	90	6,5	4,8	5,1	4,8	5,0	
	120	6,5	4,5	4,8	4,6	5,2	
	150	6,5	4,7	4,8	4,6	4,9	
	200	6,5	—	—	4,1	3,7	
Электрическая прочность, $\text{кв}/\text{мм}$ . . . . .	60	12,7	15,4	14,1	12,4	13,0	
	90	12,7	14,9	13,4	9,4	13,5	
	120	12,7	12,7	14,0	13,0	8,9	
	150	12,7	13,7	10,2	5,1	5,7	
	200	12,7	—	—	3,7	4,1	

## Старение прессматериалов на основе карбамидных смол

В таблицах на стр. 400 приведены данные об изменении свойств прессматериалов К-79-79 и К-78-51 при атмосферном старении.

## Старение эпоксидных смол и компаундов

На стр. 401—403 приведены данные об изменении физико-механических и электрических свойств отвержденной смолы ЭД-6 и различных эпоксидных компаундов при атмосферном старении. В таблицах на стр. 404 приведены показатели грибостойкости (в баллах) некоторых реактопластов.

**Изменение свойств прессматериала АГ-4в при атмосферном старении**

Показатели	Продолжительность старения, месяцы									
	0	6	24	48	60	0	6	24	48	60
	В умеренно холодном климате					В жарком сухом климате				
Предел прочности, $\text{кг/см}^2$										
при растяжении . . . . .	962	—	645	786	722	962	—	1014	925	820
при статическом изгибе . .	2138	1606	1002	1590	854	2138	—	1380	835	1301
Удельная ударная вязкость, $\text{кг}\cdot\text{см/см}^2$ . . . . .	52,7	42,5	32,6	23,0	41,0	52,7	—	43,8	42,0	59,7
Твердость по Бринеллю, $\text{кг/мм}^2$ . . . . .	46,5	41,3	43,5	42,1	44,9	46,5	—	38,2	40,5	38,8
Удельное объемное электрическое сопротивление, $\text{ом}\cdot\text{см}$ . . . . .	$4,9 \cdot 10^{12}$	$1,6 \cdot 10^{12}$	$4,2 \cdot 10^{12}$	$2,4 \cdot 10^{12}$	$6,3 \cdot 10^{13}$	$4,9 \cdot 10^{12}$	—	—	—	—
Тангенс угла диэлектрических потерь при 60 гц . . . . .	0,024	0,029	0,064	0,086	0,090	0,024	0,014	0,021	0,031	0,0104
Диэлектрическая проницаемость при 60 гц . . . . .	6,5	6,4	6,0	6,3	6,3	6,5	5,57	4,9	5,1	5,2

**Изменение свойств прессматериала ВК-212 при атмосферном старении**

Показатели	Продолжительность старения, месяцы									
	0	6	12	24	36	0	12	24	36	
	В жарком климате					В умеренно холодном климате				
Предел прочности при статическом изгибе, $\text{кг/см}^2$ . . . . .	1021	900	1017	972	938	—	—	—	—	
Удельная ударная вязкость, $\text{кг}\cdot\text{см/см}^2$ . . . . .	4,51	4,68	7,3	6,5	11,2	—	—	—	—	
Твердость по Бринеллю, $\text{кг/мм}^2$ . . . . .	48,7	44,6	50,5	45,9	49,6	—	—	—	—	
Удельное объемное электрическое сопротивление, $\text{ом}\cdot\text{см}$ . . . . .	$1,0 \cdot 10^{14}$	$1,5 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{14}$	$6,2 \cdot 10^{13}$	$4,1 \cdot 10^{13}$	$1,0 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{13}$	$5,3 \cdot 10^{12}$	$2,2 \cdot 10^{13}$	
Тангенс угла диэлектрических потерь при 60 гц . . . . .	0,017	0,015	0,016	0,028	0,025	0,017	0,017	0,012	0,061	
Диэлектрическая проницаемость при 60 гц . . . . .	5,1	5,3	4,9	4,7	5,4	5,1	5,1	6,0	5,5	

**Изменение свойств прессматериалов К-17-23 и К-214-2 при старении в умеренно холодном климате**

Показатели	Продолжительность старения, месяцы							
	0	12	24	36	0	12	24	
	К-17-23				К-214-2			
Удельное объемное электрическое сопротивление, $\text{ом}\cdot\text{см}$ . . . . .	$5,9 \cdot 10^{12}$	$5,6 \cdot 10^{12}$	$2,0 \cdot 10^{13}$	$5,6 \cdot 10^{12}$	$1,4 \cdot 10^{12}$	$1,8 \cdot 10^{11}$	$2,1 \cdot 10^{12}$	
Тангенс угла диэлектрических потерь при 60 гц . . . . .	0,021	0,020	0,140	0,139	3,032	0,032	0,101	
Диэлектрическая проницаемость при 60 гц . . . . .	4,7	4,6	5,8	6,1	5,7	6,3	6,3	



## Изменение свойств прессматериалов К-18-2, К-211-34

Показатели	Продолжительность					
	0	6	12	24	60	0
	К-18-2					
Предел прочности при статическом изгибе, $кг/см^2$ . . .	675	760	777	729	675	611
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	4,8	4,7	5,4	5,4	4,8	3,09
Твердость по Бринеллю, $кг/мм^2$ . . .	21,3	41,0	41,8	36,9	37,7	40,83
Удельное объемное электрическое сопротивление, $ом \cdot см$ . . . . .	$3,7 \cdot 10^{11}$	$2,3 \cdot 10^{11}$	$3,9 \cdot 10^{10}$	$5,6 \cdot 10^{10}$	$9,8 \cdot 10^{11}$	$3,1 \cdot 10^{14}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при 60 гц . . . . .	0,034	0,035	0,037	0,340	0,225	0,006
Диэлектрическая проницаемость при 60 гц . . . . .	5,3	5,0	5,5	4,6	11,3	5,4

## Изменение свойств прессматериала К-214-2, К-18-42

Показатели	Продолжительность					
	0	6	12	24	60	0
	Волокнит					
Предел прочности при статическом изгибе, $кг/см^2$ . . .	1051,7	746	798	760	801	723
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$	7,21	10,23	7,4	10,4	9,2	5,9
Твердость по Бринеллю, $кг/мм^2$ . . .	32,5	37,0	33,3	32,1	30,76	33,7
Удельное объемное электрическое сопротивление, $ом \cdot см$	$4,8 \cdot 10^9$	$9,2 \cdot 10^9$	$2,8 \cdot 10^9$	$5,7 \cdot 10^9$	$1,2 \cdot 10^{11}$	$1,4 \cdot 10^{12}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при 60 гц . . . . .	0,694	0,663	0,512	—	0,500	0,032
Диэлектрическая проницаемость при 60 гц . . . . .	21,5	6,0	21,6	—	16,3	5,7

## и К-19-53 при старении в жарком сухом климате

старения, месяцы									
6	12	24	60	0	6	12	24	60	0
К-211-34					К-18-53				
657	642	693	611	635	637	690	675	673	673
3,42	3,30	3,70	3,60	3,1	3,15	3,3	3,4	3,5	3,5
53,2	47,9	36,6	41,5	60,3	59,8	54,6	53,1	45,9	45,9
$4,6 \cdot 10^{14}$	$6,1 \cdot 10^{13}$	$1,3 \cdot 10^{14}$	$6,9 \cdot 10^{13}$	$1,6 \cdot 10^{11}$	$3,4 \cdot 10^{12}$	$3,2 \cdot 10^{10}$	$1,0 \cdot 10^{11}$	$7,7 \cdot 10^{11}$	$7,7 \cdot 10^{11}$
0,0066	0,0084	0,0024	0,0100	0,271	0,047	0,237	0,260	0,226	0,226
5,4	5,4	5,0	5,2	15,3	6,3	12,0	8,1	12,9	12,9

## и волокнита при старении в жарком сухом климате

старения, месяцы									
6	12	24	60	0	6	12	24	60	0
К-214-2					К-18-42				
760	820	829	833	678	732	742	683	666	666
4,28	6,7	6,5	6,1	4,44	3,85	5,20	4,90	5,60	5,60
40,2	36,8	34,5	38,5	41,2	51,1	40,1	35,0	39,9	39,9
$6,9 \cdot 10^{12}$	$1,2 \cdot 10^{13}$	$4,8 \cdot 10^{12}$	$2,7 \cdot 10^{13}$	$1,8 \cdot 10^{13}$	$6,3 \cdot 10^{12}$	$5,4 \cdot 10^{12}$	$8,1 \cdot 10^{11}$	—	—
0,034	0,030	0,046	0,015	0,014	0,015	0,013	0,085	—	—
4,8	5,7	5,5	5,9	5,3	5,1	5,3	5,7	—	—

Изменение свойств прессматериала К-79-79 при атмосферном старении

Показатели	Продолжительность старения, месяцы									
	0	12	24	36	0	6	12	24	24	60
	В умеренно холодном климате					В сухом жарком климате				
Предел прочности при статическом изгибе, $кг/см^2$ . . .	942	982	1030	1003	942	1265	1247	1260	1112	
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	6,01	3,58	10,0	5,6	6,01	5,74	8,10	7,10	6,80	
Твердость по Бринеллю, $кг/мм^2$ . . . . .	57,63	60,3	17,5	66,3	57,63	62,9	60,9	60,0	47,8	
Удельное объемное электрическое сопротивление, $ом \cdot см$ . . . . .	$4,6 \cdot 10^{11}$	$5,6 \cdot 10^{10}$	$1,9 \cdot 10^{11}$	$2,5 \cdot 10^{11}$	$4,6 \cdot 10^{11}$	$3,8 \cdot 10^{12}$	$5,8 \cdot 10^{11}$	$2,1 \cdot 10^{12}$	$7,0 \cdot 10^{12}$	
Тангенс угла диэлектрических потерь при 60 $гц$ . . . . .	0,257	0,41	0,244	0,26	0,257	0,029	0,124	0,088	0,088	
Диэлектрическая проницаемость при 60 $гц$ . . . . .	13,1	20,7	13,1	12,6	13,1	7,9	8,9	7,5	8,8	

Изменение свойств прессматериала К-78-51 при атмосферном старении

Показатель	Продолжительность старения, месяцы									
	0	6	12	24	36	0	12	24	24	36
	В сухом жарком климате					В умеренно холодном климате				
Предел прочности при статическом изгибе, $кг/см^2$ . . . . .	898	647	1058	1019	953	—	—	—	—	—
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	6,9	6,05	6,0	5,8	9,2	—	—	—	—	—
Твердость по Бринеллю, $кг/мм^2$ . . . . .	49,1	63,9	55,9	54,6	46,6	—	—	—	—	—
Удельное объемное электрическое сопротивление, $ом \cdot см$ . . . . .	$7,1 \cdot 10^{12}$	$3,2 \cdot 10^{13}$	$1,3 \cdot 10^{13}$	$1,0 \cdot 10^{13}$	$9,7 \cdot 10^{12}$	$7,1 \cdot 10^{12}$	$3,9 \cdot 10^{11}$	$5,7 \cdot 10^{12}$	$1,8 \cdot 10^{12}$	
Тангенс угла диэлектрических потерь при 60 $гц$ . . . . .	0,125	0,022	0,054	0,066	0,068	0,125	0,243	0,138	0,161	
Диэлектрическая проницаемость при 60 $гц$ . . . . .	9,8	6,5	6,2	7,4	8,2	9,8	14,0	9,3	9,5	

Изменение свойств смолы ЭД-6, отвержденной малеиновым ангидридом, при атмосферном старении

Показатели	Продолжительность старения, месяцы									
	0	1	6	12	24	0	1	6	12	24
	В умеренно холодном климате					В теплом влажном климате				
Предел прочности при статическом изгибе, $кг/см^2$ . . . . .	650	960	612	765	872	650	567	695	575	668
Твердость по Бринеллю, $кг/мм^2$ . . . . .	15,8	12,0	23,1	19,7	16,1	15,8	21,2	22,5	19,4	17,5
Удельное объемное электрическое сопротивление, $ом \cdot см$ . . . . .	$6,8 \cdot 10^{15}$	$2,1 \cdot 10^{16}$	$3,3 \cdot 10^{16}$	$1,2 \cdot 10^{16}$	$1,2 \cdot 10^{15}$	$6,8 \cdot 10^{15}$	$2,1 \cdot 10^{16}$	$1,8 \cdot 10^{15}$	$6,2 \cdot 10^{14}$	$7,8 \cdot 10^{14}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при 60 $гц$ . . . . .	0,019	0,019	0,018	0,028	0,023	0,019	0,019	0,018	0,017	0,024
Диэлектрическая проницаемость при 60 $гц$ . . . . .	3,9	4,4	3,9	3,8	3,3	3,9	3,8	3,9	3,9	4,0

Изменение свойств эпоксидного компаунда К-115 при атмосферном старении\*

Показатели	Продолжительность старения, месяцы									
	0	1	6	12	24	0	1	6	12	24
	В умеренно холодном климате					В теплом влажном климате				
Предел прочности при статическом изгибе, $кг/см^2$ . . . . .	1327	930	605	—	580	1327	1356	700	728	—
Твердость по Бринеллю, $кг/мм^2$ . . . . .	15,3	17,1	22,8	22,8	18,3	15,3	24,2	20,2	21,1	—
Удельное объемное электрическое сопротивление, $ом \cdot см$ . . . . .	$1,41 \cdot 10^{14}$	$1,5 \cdot 10^{15}$	$3,3 \cdot 10^{15}$	$6,3 \cdot 10^{14}$	$1,1 \cdot 10^{15}$	$1,41 \cdot 10^{14}$	$1,7 \cdot 10^{14}$	$8,6 \cdot 10^{15}$	$3,6 \cdot 10^{14}$	$3,3 \cdot 10^{14}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при 60 $гц$ . . . . .	0,022	0,021	0,020	0,030	0,030	0,022	0,020	0,022	0,034	0,032
Диэлектрическая проницаемость при 60 $гц$ . . . . .	4,0	4,0	6,9	3,9	3,8	4,0	3,2	3,6	5,0	3,2

\* Поверхность образцов не меняется в процессе экспонирования до 6 месяцев. К этому времени она постепенно теряет блеск и выцветает (независимо от климатической зоны). В теплом влажном климате через год образцы темнеют, а через два года происходит их коробление.

## Изменение свойств эпоксидного компаунда К-139 при атмосферном старении

Показатели	Продолжительность старения, месяцы									
	0	1	6	12	24	0	1	6	12	24
	В умеренно холодном климате					В теплом влажном климате				
Предел прочности при статическом изгибе, $кг/см^2$ . . . . .	913	890	830	1005	840	913	1105	1020	649	825
Твердость по Бринеллю, $кг/мм^2$ . . . . .	11,9	14,5	21,4	20,2	14,2	11,9	14,5	21,4	20,2	14,2
Удельное объемное электрическое сопротивление, $ом \cdot см$ . . . . .	$2,9 \cdot 10^{13}$	$3,7 \cdot 10^{14}$	$6,5 \cdot 10^{14}$	$3,5 \cdot 10^{14}$	$6,9 \cdot 10^{14}$	$2,9 \cdot 10^{13}$	$3,7 \cdot 10^{14}$	$6,5 \cdot 10^{14}$	$3,5 \cdot 10^{14}$	$6,9 \cdot 10^{14}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при 60 $гц$ . . . . .	0,043	0,033	0,031	0,047	0,040	0,043	0,033	0,031	0,044	0,046
Диэлектрическая проницаемость при 60 $гц$ . . . . .	4,5	4,4	4,1	4,2	3,6	4,5	4,8	4,1	4,1	4,5

\* Поверхность образцов не меняется в процессе экспонирования до 6 месяцев. К этому времени она теряет блеск и выпцает (в условиях умеренно холодного климата). В теплом влажном климате через 6 месяцев поверхность становится матовой.

## Изменение свойств эпоксидного компаунда К-153 при атмосферном старении \*

Показатели	Продолжительность старения, месяцы									
	0	1	6	12	24	0	1	6	12	24
	В умеренно холодном климате					В теплом влажном климате				
Предел прочности при статическом изгибе, $кг/см^2$ . . . . .	753	835	414	720	611	753	720	708	718	695
Твердость по Бринеллю, $кг/мм^2$ . . . . .	8,47	14,7	18,7	16,2	14,2	8,47	17,0	15,0	12,5	9,2
Удельное объемное электрическое сопротивление, $ом \cdot см$ . . . . .	$1,4 \cdot 10^{14}$	$1,0 \cdot 10^{15}$	$2,3 \cdot 10^{15}$	$1,4 \cdot 10^{14}$	$4,6 \cdot 10^{13}$	$1,4 \cdot 10^{14}$	$1,5 \cdot 10^{14}$	$6,9 \cdot 10^{14}$	$6,4 \cdot 10^{13}$	$2,8 \cdot 10^{14}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при 60 $гц$ . . . . .	0,027	0,033	0,030	0,043	0,043	0,027	0,031	0,030	0,043	0,038
Диэлектрическая проницаемость при 60 $гц$ . . . . .	4,3	4,3	3,9	3,7	4,2	4,3	4,4	4,1	4,4	3,7

\* Через 6 месяцев экспонирования теряется блеск, поверхность становится матовой, появляется незначительное коробление образцов.

## Изменение свойств эпоксидного компаунда К-156 при атмосферном старении \*

Показатели	Продолжительность старения, месяцы									
	0	1	6	12	24	0	1	6	12	24
	В умеренно холодном климате					В теплом влажном климате				
Предел прочности при статическом изгибе, $кг/см^2$ . . . . .	885	780	990	995	651	885	883	670	594	491
Твердость по Бринеллю, $кг/мм^2$ . . . . .	16,0	18,4	31,2	20,4	17,0	16,0	24,2	22,4	20,8	18,1
Удельное объемное электрическое сопротивление, $ом \cdot см$ . . . . .	$1,2 \cdot 10^{14}$	$9,8 \cdot 10^{13}$	$3,5 \cdot 10^{14}$	$2,4 \cdot 10^{13}$	$4,7 \cdot 10^{13}$	$1,2 \cdot 10^{14}$	$1,4 \cdot 10^{13}$	$3,4 \cdot 10^{13}$	$1,8 \cdot 10^{12}$	$1,5 \cdot 10^{12}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при 60 $гц$ . . . . .	0,032	0,028	0,029	0,050	0,043	0,032	0,037	0,040	0,058	0,056
Диэлектрическая проницаемость при 60 $гц$ . . . . .	4,2	4,3	3,9	4,0	4,0	4,2	3,9	4,1	4,8	4,2

\* Через 6 месяцев экспонирования поверхность мутнеет, теряет блеск, на отдельных участках появляется коробление.

## Изменение свойств эпоксидного компаунда К-160 при атмосферном старении \*

Показатели	Продолжительность старения, месяцы									
	0	1	6	12	24	0	1	6	12	24
	В умеренно холодном климате					В теплом влажном климате				
Предел прочности при статическом изгибе, $кг/см^2$ . . . . .	791	226	285	465	388	791	801	255	309	233
Твердость по Бринеллю, $кг/мм^2$ . . . . .	13,7	15,5	20,5	21,8	16,9	13,7	21,7	19,3	17,5	15,7
Удельное объемное электрическое сопротивление, $ом \cdot см$ . . . . .	$1,5 \cdot 10^{14}$	$6,9 \cdot 10^{14}$	$1,4 \cdot 10^{14}$	$9,3 \cdot 10^{13}$	$7,9 \cdot 10^{14}$	$1,5 \cdot 10^{14}$	$1,6 \cdot 10^{14}$	$4,2 \cdot 10^{14}$	$2,5 \cdot 10^{11}$	$2,2 \cdot 10^{11}$
Тангенс угла диэлектрических потерь при 60 $гц$ . . . . .	0,024	0,020	0,021	0,033	0,031	0,024	0,020	0,023	0,035	0,032
Диэлектрическая проницаемость при 60 $гц$ . . . . .	3,8	4,7	4,0	3,7	3,6	3,8	3,3	4,0	4,0	3,6

\* Через 6 месяцев экспонирования исчезает блеск, поверхность становится матовой. Через 12 месяцев экспонирования наблюдается незначительное коробление образцов.

## Грибостойкость некоторых реактопластов

Материал	Продолжительность испытания, месяцы					Материал	Продолжительность испытания, месяцы				
	1	3	6	12	24		1	3	6	12	14
Лабораторные испытания						Прессматериалы					
Отвержденные эпокси- дные компаунды						Испытания на стеллажах					
K-115	2	—	2	2	2	K-217-57П	3	3	3	3	3
K-139	2	—	3	3	3	K-220-21	3	3	3	3	—
K-153	2	—	2	2	3	K-228-501	1	1	1	1	1
K-156	1	—	2	2	2	K-236-58	3	3	3	3	3
Прессматериалы						Прессматериалы					
АГ-4в	1	1	1	1	1	АГ-4в	—	—	1	1	2
ФКПМ-10	3	3	3	3	3	ФКПМ-10	—	—	3	3	3
ФКПМ-15	2	3	3	3	3	ФКПМ-15	—	—	—	2	3
ФКПМ-15Т	2	3	3	3	3	ФКПМ-15Т	—	—	2	3	3
В-4-70	—	—	2	2	2	Волокнит	—	—	1	3	3
Волокнит	3	3	3	3	—	K-18-42	—	—	2	3	3
K-6	3	3	3	3	3	K-18-53	—	—	2	3	3
KФ-3М	3	3	3	3	3	K-18-56	—	—	2	3	3
K-15-2	3	3	3	3	3	K-18-81	—	—	2	2	2
K-15-56	3	3	3	3	—	K-114-35	—	—	2	3	3
K-18-2	3	3	3	3	—	K-211-3	—	—	1	2	2
K-18-22	3	3	3	3	—	K-214-42	—	—	1	2	3
K-18-23	2	—	3	3	3	K-214-43	—	—	1	2	2
K-18-37	1	1	1	2	—	K-220-21	—	—	1	2	3
K-18-41	1	1	1	2	3	Складское хранение					
K-18-42	3	3	3	3	3	Прессматериалы					
K-18-46	1	1	1	1	—	АГ-4в	—	—	1	1	2
K-18-48	3	3	—	—	—	ФКПМ-10	—	—	1	2	2
K-18-53	1	1	1	2	3	ФКПМ-15	—	—	1	1	2
K-18-56	3	3	3	3	—	ФКПМ-15Т	—	—	2	2	2
K-18-81	1	1	1	2	—	Волокнит	—	—	2	2	2
K-18-82	1	1	1	2	—	K-18-42	—	—	2	2	2
K-114-35	—	2	2	—	—	K-18-53	—	—	3	3	3
K-119-56	2	3	3	3	3	K-18-56	—	—	2	2	2
K-124-38	1	1	2	2	—	K-18-81	—	—	1	1	1
K-211-2	2	—	—	—	—	K-114-35	—	—	2	2	2
K-211-34	1	1	1	1	1	K-211-3	—	—	1	2	2
K-214-2	2	3	—	—	—	K-214-42	—	—	2	2	2
K-214-22	3	3	3	3	—	K-214-43	—	—	1	2	2
K-214-42	1	2	2	—	—	K-220-21	—	—	2	2	2
K-214-43	3	3	3	3	—						
Фенолит РСТ	1	1	1	1	1						

## Старение пентапласта

Ниже приведены данные о тепловом старении пентапласта в различных средах, а также при хранении.

## Изменение свойств пентапласта при тепловом старении (150° С) в различных средах

Показатели	Продолжительность старения, ч			
	4	4	4	0,5
	кислород	воздух	азот	азот
Потери массы, %	30—40	15	0,1	0,2
Приведенная вязкость				
исходная	1,8	1,8	1,8	1,8
конечная	0,14—0,2	1,4	1,8	1,8
Увеличение содержания кислорода, %	5—6,6	4,9	0	0
Уменьшение содержания хлора, %	4,9—5,2	3,6	0	0

## Изменение свойств пентапласта при хранении в отсутствие прямого солнечного света

Продолжительность хранения, годы	Приведенная вязкость порошка	Прессованные пленки, изготовленные из порошка после хранения			Прессованные пленки толщиной 100 мк после хранения		
		приведенная вязкость	предел прочности при растяжении кг/см <sup>2</sup>	относительное удлинение при разрыве %	приведенная вязкость	предел прочности при растяжении кг/см <sup>2</sup>	относительное удлинение при разрыве %
0	1,48	1,54	378	18	—	—	—
1	1,54	1,56	407	15	1,5	404	12
2	1,44	—	—	—	1,36	408	12
0	1,72	1,80	409	16	—	—	—
1	1,72	—	—	—	—	—	—
2	1,92	1,88	442	15	1,9	358	16
3	1,72	—	—	—	1,58	423	10
0	1,70	1,64	377	22	—	—	—
1	1,62	1,6	398	21	—	—	—
2	1,64	—	—	—	—	—	—
3	1,66	1,51	332	12	1,50	420	15
4	1,54	—	—	—	1,56	421	11
0	1,80	1,72	370	22	—	—	—
1	1,85	1,74	400	20	—	—	—
2	1,78	1,72	394	24	—	—	—
3	1,84	—	—	—	—	—	—
4	1,70	1,52	394	23	1,58	435	14
5	1,62	—	—	—	1,66	429	13

## СТАБИЛИЗАЦИЯ

Для замедления процессов старения, протекающих при переработке и эксплуатации, в полимерные материалы вводят стабилизаторы. По характеру действия стабилизаторы делятся на антиоксиданты, или термостабилизаторы (против термоокислительной деструкции) и светостабилизаторы, или УФ-абсорберы (против фотолиза и фотоокисления).

При стабилизации полимеров против фотохимической деструкции рекомендуется использовать вещества, обладающие интенсивным поглощением в ультрафиолетовой области, главным образом между 3000 и 4000 Å.

## Стабилизация полимеров против термоокислительного старения

Для оценки эффективности стабилизаторов (антиоксидантов) изучается кинетика термоокисления полимеров, а затем сравниваются свойства стабилизированного и нестабилизированного образцов.

Методы исследования кинетики ускоренного термоокислительного старения полимеров основаны на изучении процесса по изменению давления в системе в результате поглощения кислорода, по потере массы, по изменению вязкости разбавленных растворов или расплавов полимеров, а также по изменению показателей физико-механических свойств.

Оценка эффективности стабилизаторов по поглощению кислорода осуществляется обычно на статической установке.

Изучение эффективности стабилизаторов по потере массы проводится на лабораторной установке типа весов Мак-Бена.

Оценка эффективности стабилизаторов по изменению характеристической вязкости растворов полимера может проводиться на вискозиметрах, применяющихся для измерения вязкости разбавленных растворов.

Для оценки эффективности стабилизаторов, применяемых для термопластов, можно использовать метод определения индекса расплава.

Методы исследования процессов старения и стабилизации пока еще не стандартизованы и по условиям эксперимента могут быть разделены на следующие группы:

1. Изучение поведения полимера в кислородной среде при повышенных температурах.

2. Изучение поглощения кислорода полимером в динамических условиях (при непрерывной циркуляции кислорода в системе и удалении газообразных продуктов разложения). Величина индукционного периода поглощения кислорода может быть использована для сравнительной оценки стойкости полимеров или для определения эффективности стабилизатора.

## Различные классы термостабилизаторов полиолефинов

Термостабилизатор	Формула	Заместители
Алкилфенолы		$R = H; CH_3; C(CH_3)_3;$ 
Фосфиты алкил(арил)фенолов		$R = \text{алкил, арил}$
Алкилфенол-сульфиды		$n = 1-2; R = H; C(CH_3)_3$
Вторичные ароматические амины		$R =$
Азотетины		$R = OH; N(CH_3)_2; C(CH_3)_3;$ $R' = OH; NH_2;$
Гидразоны		$R = OH; N(CH_3)_2; C(CH_3)_3;$ $R' = C_6H_5; COC_6H_4OH$
Синергические смеси	Амины и сажа; сульфиды и сажа	

**Тепловое старение (при 160° С) стабилизированных полиолефинов**  
(испытание методом вальцевания)

Стабилизатор	Исходные данные				Продолжительность вальцевания							
					4 ч				8 ч			
	относительное удлинение при разрыве, %	предел прочности при растяжении КГ/СМ <sup>2</sup>	тангенс угла диэлектрических потерь при 10 <sup>6</sup> Гц	морозостойкость °С	относительное удлинение при разрыве %	предел прочности при растяжении КГ/СМ <sup>2</sup>	тангенс угла диэлектрических потерь при 10 <sup>6</sup> Гц	морозостойкость °С	относительное удлинение при разрыве %	предел прочности при растяжении КГ/СМ <sup>2</sup>	тангенс угла диэлектрических потерь при 10 <sup>6</sup> Гц	морозостойкость °С
<b>Полиэтилен низкого давления</b>												
Без стабилизатора . . . . .	600	240	0,0002		Разрушается после 2 ч вальцевания							
Неозон А и дифенил- <i>п</i> -фенилендиамин . . . . .	750	248	0,0002	> -60	-	218	0,0004	> -60	764	202	0,0003	> -60
Ди-β-нафтил- <i>п</i> -фенилендиамин (диафен НН) . . . . .	874	241	0,0002	> -60	640	203	0,0003	> -60	520	204	0,0003	> -60
Фосфит П-24 . . . . .	884	243	0,0002	> -60	640	200	0,0003	> -60	0	210	0,0014	+20
2,2'-Метилен-бис-(6-трет-бутил-4-метилфенол) (бисалкофен БП или антиоксидант 22-46) . . . . .	827	241	0,0002	> -60	755	209	0,0002	> -60	775	200	0,0005	> -60
<b>Полиэтилен высокого давления</b>												
					60 мин				90 мин			
Без стабилизатора . . . . .	594	110	0,0002	> -60	540	96	0,0022	-	168	91	0,0060	< -45
Неозон А и дифенил- <i>п</i> -фенилендиамин . . . . .	538	121	0,0002	> -60	538	120	0,0003	> -60	570	127	0,0006	> -60
Ди-β-нафтил- <i>п</i> -фенилендиамин (диафен НН) . . . . .	650	137	0,0002	> -60	600	134	0,0003	> -60	590	124	0,0004	> -60
Фосфит П-24 . . . . .	650	121	0,0004	> -60	120	97	0,0100	< -45	-	-	-	-

2,2'-Метилен-бис-(6-трет-бутил-4-метилфенол) (бисалкофен БП или антиоксидант 22-46) . . . . .	600	130	0,0003	> -60	620	128	0,0003	> -60	600	107	0,0006	> -60
4,4'-Тио-бис-(2-трет-бутил-5-метилфенол) (тиоалкофен БМ) . . . . .	600	125	0,0003	> -60	590	125	0,0003	> -60	590	124	0,0003	> -60
<b>6 ч</b>												
2,2'-Тио-бис-(4-метил-6-трет-бутилфенол) (тиоалкофен БП) . . . . .	650	121	0,0003	> -60	590	112	0,0004	> -60	160	93	0,0080	-45
Бис-(4-окси-3,5-ди-трет-бутилбензил)-сульфид (ТБ-3) . . . . .	620	132	0,0003	> -60	620	133	0,0004	> -60	620	134	0,0005	> -60
2,2'-Тио-бис-(4-метил-6-α-метилбензилфенол) (тиоалкофен МБП) . . . . .	660	145	0,0003	> -60	620	128	0,0004	-60	590	126	0,0005	-60
2,2'-Метилен-бис-(4-метил-6-α-метилциклогексилфенол) (стабин 2 МЦПМ) . . . . .	620	140	0,0003	> -60	630	130	0,0003	-60	630	132	0,0005	-60

**Сополимер этилена с пропиленом**

					60 мин			120 мин				
Без стабилизатора . . . . .	904	288	0,0004	-	907	134	0,0012	-	36	137	0,0041	-
Ди-β-нафтил- <i>п</i> -фенилендиамин (диафен НН) . . . . .	780	287	0,0002	-	733	280	0,0003	-	750	289	0,0003	-
<b>6 ч</b>												
Фосфит П-24 . . . . .	700	321	0,0003	-	590	231	0,0004	-	590	231	0,0016	-
2,2'-Метилен-бис-(6-трет-бутил-4-метилфенол) (бисалкофен БП) . . . . .	710	273	0,0003	-	684	276	0,0003	-	834	274	0,0003	-
4,4'-Тио-бис-(2-трет-бутил-5-метилфенол) (тиоалкофен БМ) . . . . .	700	304	0,0005	-	719	280	0,0004	-	726	263	0,0004	-
2,2'-Тио-бис-(4-метил-6-трет-бутилфенол) (тиоалкофен БП) . . . . .	680	256	0,0005	-	644	252	0,0004	-	-	-	-	-

3. Изучение поглощения кислорода полимером при ультрафиолетовом облучении.

4. Изучение поведения полимеров при различных температурах без нагрузки и под нагрузкой на воздухе или в аэрированной воде.

5. Изучение поведения полимера при длительном вальцевании.

#### Стабилизация полиолефинов

Процесс старения полиолефинов является свободно-радикальным процессом, поэтому даже небольшие добавки ингибиторов существенно изменяют его скорость. Термостабилизаторы для полиолефинов применяют обычно в малых количествах. В таблице на стр. 407 приведены основные классы термостабилизаторов, рекомендуемых для полиолефинов.

Стабилизирующее действие ингибиторов процесса окисления может быть оценено по индукционному периоду поглощения кислорода, по изменению свойств в процессе вальцевания и при старении в термостате.

В таблице на стр. 408—409 показано изменение свойств полиолефинов, стабилизированных наиболее эффективными антиоксидантами, в процессе длительного испытания на вальцах при 160°С.

Ниже приведены результаты испытания на стойкость к тепловому старению, определенную по моменту наступления хрупкости, полиэтилена низкого давления, стабилизированного различными соединениями.

Тепловое старение (при 160°С) стабилизированного полиэтилена низкого давления  
(испытание методом вальцевания)

Стабилизатор	Продолжительность испытания до наступления хрупкости ч
Без стабилизатора . . . . .	2
Октилфенол . . . . .	2
Октил- <i>n</i> -крезол . . . . .	2
Дикрезилпропан . . . . .	8
2,2'-Диокси-3,3'-( $\alpha$ -метил-циклогексил)-5,5-диметилдифенилметан (стабин 2 МЦПМ)	29
2-Изоборнил-4-метилфенол (Н-365Д) . . . . .	4
Днизоамилгидрохинон (сантовар) . . . . .	4
Бис-(2-метил-5- <i>трет</i> -бутил-4-оксифенил)-моносουλфид (тиоалкофен БМ) . . . . .	13
Бис-(5-метил-3- <i>трет</i> -бутил-2-оксифенил)-моносουλфид [тиоалкофен БП (СаО-6)] . . . . .	8
2,2-Метилен-бис-(4-метил-6- <i>трет</i> -бутилфенол) (бискалофен БП или антиоксидант 22-46) . . . . .	12

Продолжение

Стабилизатор	Продолжительность испытания до наступления хрупкости ч
Бис-(5-метил-3- $\alpha$ -метилбензил-2-оксифенил)-моносулфид (тиоалкофен МБП) . . . . .	15—18
2,2'-Метилен-бис-(4-этил-6- <i>трет</i> -бутилфенол) (антиоксидант 425) . . . . .	>6
2,6-Бис-(2'-окси-3'- <i>трет</i> -бутил-5-метилбензил)-метилфенол . . . . .	6
2,6-Ди- <i>трет</i> -бутил-4-метилфенол [ионол (алкофен БП)] . . . . .	4
2,6-Диизоборнил-4-метилфенол . . . . .	6
2-Изоборнил-6-метилфенол . . . . .	4
2-Изоборнил-5-метилфенол . . . . .	4
2,6-( $\alpha$ -Фенилэтил)- <i>n</i> -крезол . . . . .	>6
4,4'-Тио-бис (2-метил-6-циклогексилфенол)	9
2,2'-Тио-бис-(4-метил-6-изоборнилфенол)	19
4,4'-Метилен-бис-(2,6-ди- <i>трет</i> -бутилфенол) (МБ-1) . . . . .	10,5
2,4,4'-Трис-(3- <i>трет</i> -бутил-4-окси-6-метилфенол)-бутан (гопанол СА) . . . . .	18
Дилаурилтиодипропионат . . . . .	9
Синергическая смесь топанола СА с дилаурилтиодипропионатом . . . . .	30
4,4'-Тио-бис-(2-метил-6- $\alpha$ , $\alpha$ -диметилбензилфенол) . . . . .	15
4,4'-Тио-бис-(2-метил-6- <i>трет</i> -бутилфенол) (ТБ-2) . . . . .	18
Фенилэтилпирокатехин . . . . .	4—6
Фенилизоборнилпирокатехин . . . . .	4—6
4,5-Дибензилпирокатехин . . . . .	10,5
<i>n</i> -Бензилпирокатехин . . . . .	9,5
4- <i>Трет</i> -бутил-6-бензилпирокатехин . . . . .	6
Фенил- $\alpha$ -нафтиламин (неозон А) . . . . .	7
Дифенил- <i>n</i> -фенилендиамин (ДФФД) . . . . .	16
Смесь фенил- $\alpha$ -нафтиламина (2 вес. ч.) и дифенил- <i>n</i> -фенилендиамина (1 вес. ч.) . . . . .	16
Ди- $\beta$ -нафтил- <i>n</i> -фенилендиамин (диафен НН) . . . . .	18—24
Дифениламин . . . . .	6
N, N'-ди-(C <sub>7</sub> —C <sub>9</sub> )-алкил- <i>n</i> -фенилендиамин	9
Бензилат- <i>n</i> -оксианилин . . . . .	>6
N, N'-диметиламинобензила- <i>n</i> -оксианилин	>6
Салицилал- <i>n</i> -аминофенол . . . . .	6
Тринонилфенилфосфит (полигард, или фосфит П-24) . . . . .	6
Фенилэтилфениловый эфир пирокатехинфосфористой кислоты . . . . .	>6
Дибутиловый эфир фенилэтилпирокатехинфосфористой кислоты . . . . .	>6
Фениловый эфир фенилэтилпирокатехинфосфористой кислоты . . . . .	>6

Длительность эксплуатации при повышенных температурах значительно возрастает для стабилизированных полиолефинов. Пластины из полиэтилена высокого давления толщиной 1—2 мм при 80°С сохраняют хорошие физико-механические свойства после 12,5—18 месяцев испытания.

**Изменение свойств стабилизированного смесью фенил- $\alpha$ -нафтиламина и дифенил-*n*-фенилендиамин полиэтилена высокого давления при старении при 80°С**

Показатель	Продолжительность старения, сутки							
	0	15	30	60	90	180	300	450
	Индекс расплава 0,8 г/10 мин							
Предел прочности при растяжении, кг/см <sup>2</sup>	203	195	201	—	202	181	184	—
Относительное удлинение при разрыве, %	625	535	654	—	645	614	778	—
	Индекс расплава 1,5 г/10 мин							
Предел прочности при растяжении, кг/см <sup>2</sup>	165	130	119	116	—	152	120	104
Относительное удлинение при разрыве, %	716	696	706	716	—	682	594	696

Длительность эксплуатации образцов различных полиолефинов толщиной 1—2 мм при 100°С указана ниже.

**Продолжительность эксплуатации стабилизированных полиолефинов при повышенных температурах (100°С)**

Стабилизатор	Стойкость, ч			
	полиэтилен высокого давления	полиэтилен низкого давления	сополимер этилена с пропиленом	полипропилен
Без стабилизатора . . . . .	200	150	300	30
Смесь фенил- $\alpha$ -нафтиламина и дифенил- <i>n</i> -фенилендиамина . . . . .	>5000	>7000	—	—
Ди- <i>B</i> -нафтил- <i>n</i> -фенилендиамин (диафен НН) . . . . .	>10000	15000	10000	>6000 *

Продолжение

Стабилизатор	Стойкость, ч			
	полиэтилен высокого давления	полиэтилен низкого давления	сополимер этилена с пропиленом	полипропилен
Фосфит П-24 . . . . .	>4000	>9500	>2000	—
2,2'-Метилен-бис-(4-метил-6- <i>трет</i> -бутилфенол) (бисалкофен БП) . . . . .	8000	>7000	—	<350 * (появляется хрупкость)
Бис-(5-метил-3- $\alpha$ -метилбензил-2-оксифенил)-моносουλфид (тиоалкофен МБП) . . . . .	>11000	9500	>7000	<960 * (появляется хрупкость)
Бис-(2-метил-5- <i>трет</i> -бутил-4-оксифенил)-моносулфид [тиоалкофен БМ (сантонокс)] . . . . .	10000	>10000	>6000	600
Синергическая смесь топанола СА с дилаурилтиодипропионатом . . . . .	—	—	6000	<1100 * (появляется хрупкость)
Бис-(4-окси-3,5-ди- <i>трет</i> -бутил-бензил)-сульфид (ТБ-3) . . . . .	10000	—	—	—
2,2'-Метилен-бис-(4-метил-6-циклогексилфенол) (стабин 2 МЦПМ) . . . . .	>12000	—	—	—

\* Эксплуатация при 150°С.

Для светостабилизации полиолефинов наиболее широко применяют следующие классы органических соединений:

- 1) гидроксипроизводные бензофенона;
- 2) производные бензотриазола;
- 3) производные салициловой кислоты;
- 4) производные акрилонитрила;
- 5) металлические хелатные комплексы;
- 6) сажа.



## Влияние светостабилизаторов на старение

Условные обозначения:  $\epsilon$  — относительное удлинение при разрыве, %;  $\sigma_T$  — предел текучести при растяжении,  $\text{кг/см}^2$ ;  $\text{tg } \delta$  — тангенс угла диэлектрических потерь;  $\eta$  — вязкость расплава,  $\text{г/10 мин}$ ;  $M$  — морозостойкость по

Полимер	Наименование стабилизатора	Показатели							
		до облучения							
		$\epsilon$	$\sigma_T$	$\sigma_p$	$\text{tg } \delta$	НФ	$i$	$M$	$D$
Полиэтилен высокого давления	Полиэтилен П-2020-Т без стабилизатора	560	95	130	0,0003	0	1,6	-70	0,036
	<del>2-оксн-4алкнл</del> (С7-С9) оксн бен-зофнл Бензон ОА } Фосфит П-24 }	525	90	120	0,0013	0	2,0	-70	0,036
	Бензон ОА } Бисалкофен БП }	560	90	120	0,0013	0	2,0	-70	0,039
	Бензон ОА	550	95	130	0,0014	0	1,8	-70	0,032
	Сажа ДГ-100	550	95	150	0,0007	0	1,4	-70	—
	Полиэтилен низкого давления	Полиэтилен П-4020 без стабилизатора	640	250	220	0,0002	0	1,25	-70
Бензон ОА } Фосфит П-24 }		510	250	220	0,0017	0	1,0	-70	0,042
Бензон ОА } Бисалкофен БП }		420	260	190	0,0020	0	1,1	-70	0,044
Сажа ДГ-100		300	230	230	0,0005	—	—	-70	—

## полиэтилена в процессе облучения лампой ПРК-2

$\eta$  — вязкость при растяжении,  $\text{кг/см}^2$ ;  $\sigma_p$  — предел прочности при растяжении, НФ — количество нерастворимой в кипящем ксилоле фракции, %;  $i$  — индекс термодинки МРТУ 6-0,5-889-65;  $D$  — оптическая плотность при частоте  $1720 \text{ см}^{-1}$ .

Полимер	Наименование стабилизатора	Показатели																Продолжительность облучения до наступления хрупкости ч									
		до облучения								после 50 ч облучения									после 100 ч облучения								
		$\epsilon$	$\sigma_T$	$\sigma_p$	$\text{tg } \delta$	НФ	$i$	$M$	$D$	$\epsilon$	$\sigma_T$	$\sigma_p$	$\text{tg } \delta$	НФ	$i$	$M$	$D$		$\epsilon$	$\sigma_T$	$\sigma_p$	$\text{tg } \delta$	НФ	$i$	$M$	$D$	
Полиэтилен высокого давления	Полиэтилен П-2020-Т без стабилизатора	560	95	130	0,0003	0	1,6	-70	0,036	65	105	110	0,0018	10	0,03	-30	0,330	50	100	115	0,0030	22	0	-20	0,636	350	
	<del>2-оксн-4алкнл</del> (С7-С9) оксн бен-зофнл Бензон ОА } Фосфит П-24 }	525	90	120	0,0013	0	2,0	-70	0,036	400	100	100	0,0016	8	1,08	-70	0,339	75	115	115	0,0017	16	1,0	-65	0,562	700	
	Бензон ОА } Бисалкофен БП }	560	90	120	0,0013	0	2,0	-70	0,039	300	110	110	0,0017	—	1,21	-65	0,335	60	115	115	0,0016	18	1,25	-65	0,627	700	
	Бензон ОА	550	95	130	0,0014	0	1,8	-70	0,032	450	110	125	0,0016	6	1,1	-65	0,284	130	110	110	0,0019	15	1,0	-65	0,522	700	
	Сажа ДГ-100	550	95	150	0,0007	0	1,4	-70	—	525	100	155	0,0007	—	1,4	-70	—	500	105	140	0,0009	—	1,4	-70	—	> 1500	
	Полиэтилен низкого давления	Полиэтилен П-4020 без стабилизатора	640	250	220	0,0002	0	1,25	-70	0,039	10	170	170	0,0004	8	0,09	—	0,320	Хрупкая	0,0010	15	0,01	—	0,366	> 100		
		Бензон ОА } Фосфит П-24 }	510	250	220	0,0017	0	1,0	-70	0,042	15	260	160	0,0014	2	0,4	-70	0,307	5	260	260	0,0015	8	0,45	-70	0,334	250
		Бензон ОА } Бисалкофен БП }	420	260	190	0,0020	0	1,1	-70	0,044	20	280	280	0,0018	8	—	-70	0,284	5	260	260	0,0017	10	—	-70	0,394	250
		Сажа ДГ-100	300	230	230	0,0005	—	—	-70	—	75	240	240	0,0007	—	0,7	-70	—	50	245	245	0,0007	—	0,6	-70	—	> 1500

## Изменение свойств светостабилизированных полиолефинов при атмосферном старении под Ленинградом

Показатель	Полиэтилен П-2020Т			Полиэтилен П-4020		
	без ста- близита- тора	бензон ОА Фосфит П-24	сажа ДГ-100	без ста- близита- тора	бензон ОА Фосфит П-24	сажа ДГ-100
До старения						
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>						
при растяжении . .	130	120	150	220	220	230
» сжатии . . . . .	0,5	90	95	250	250	230
Относительное удлине- ние при разрыве, %	560	525	550	640	510	300
Тангенс угла диэлектри- ческих потерь . . . . .	0,0003	0,0013	0,0007	0,0002	0,0017	0,0005
Количество фракции, не- растворимой в кипя- щем ксилоле, % . . . .	0	0	0	0	0	0
Индекс расплава, г/10 мин . . . . .	1,6	2,0	1,4	1,25	1,0	0,7
Морозостойкость *, °С	-70	-70	-70	-70	-70	-70
Оптическая плотность при 1720 см <sup>-1</sup> . . . . .	0,036	0,036	—	0,039	0,042	—
После старения в течение 5 месяцев						
Индекс расплава, г/10 мин . . . . .	0,04	0,6	0,5	14,0	0,4	0,4
Оптическая плотность	1,109	0,233	—	1,5	0,457	—
Продолжительность ста- рения до наступления хрупкости, месяцы . .	16	48	> 48	3	20	> 48
После старения в течение 1 года						
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>						
при растяжении . .	120	120	150	—	270	140
» сжатии . . . . .	110	100	110	—	270	250
Относительное удлине- ние при разрыве, %	60	480	550	—	140	80
Тангенс угла диэлек- трических потерь . .	0,0005	0,0015	0,0008	—	0,0020	0,0008
Количество фракции, нерастворимой в ки- пящем ксилоле, % . .	4	10	—	0	0	—
Морозостойкость, °С . .	-35	-70	-70	—	-65	-65

\* По методике МРТУ 6-0,5-889—65.

## Стабилизация поливинилхлорида

Наиболее широко применяемые для стабилизации поливинилхлорида вещества приведены в таблице на стр. 417—418.

## Стабилизаторы поливинилхлорида

Условные обозначения: А — акцептор HCl; С — заметно выраженное специфическое светостабилизирующее действие

Стабилизаторы	Химические соединения	Примечания	
Соединения свинца Соли органических кислот	Стеарат	А	
	Двухосновой стеарат	А	
	Салицилат	А, С	
	Этилгексоат	А	
	Двухосновой фталат	А	
	Четырехосновой фумарат	А	
Соли неорганических кислот	Трехосновой малеат	А	
	Трехосновой сульфат	А, С	
	Двухосновой фосфит	А	
	Основной карбонат	А	
Окись свинца	Силикаты с различным соотношением SiO <sub>2</sub> : PbO	А	
	Смеси силикатов и сульфатов	А	
Соли щелочных и щелочноземельных металлов	Глет (красная модификация)	А	
	Соли неорганических кислот	Карбонат натрия	А
Соли органических кислот	Пирофосфат натрия	А, С	
	Тринатрийфосфат	А, С	
	Гексаметафосфат натрия	А, С	
	Фосфаты натрия различной степени замещения	А	
	Соли органических кислот	Стеараты Ca, Sr, Ba, Mg, Cd, Zn	А
Феноляты	Лаураты Ca, Cd, Ba, Zn	А	
	Рицинолеаты Ca, Ba, Cd	А	
	Этилгексоаты Cd, Ba	А	
	Гептаноат Ca	А	
	Каприлаты Zn, Cd	А	
	Сосажденные соли различных органических кислот и различных металлов:	А	
	Ba — Cd	Sr — Zn	
	Ba — Cd — Zn	Ca — Zn	
	Ba — Zn	Ca — Mg — Zn	
	Cd — Zn		
Феноляты Ba, Ca, Cd, Zn фенолов:	бутил-, дибутил-, амил-, диамил-, октил-, нонил-, динонил-, додецил-, октадецил-, дидодецил-, ди-трет-бутил-о-метилфенола, ди-трет-бутил-о-крезола, о- или п-фенилindoла, п-бензоилфенола	А, С	
Оловоорганические соединения	Диоктилмеркапид дибутилолова	А	
	Малеат дибутилолова	А, С	
	Ди-лаурат дибутилолова	А, С	
	Лауратмалеат дибутилолова	А, С	



Интересны данные о сроках службы изделий из стабилизированного ПВХ и зависимости их от условий эксплуатации и типа стабилизатора (см. таблицу на стр. 419).

Для стабилизации ПВХ наряду с индивидуальными стабилизаторами применяют и их смеси. Синергический эффект дают стабилизаторы, которые при индивидуальном применении замедляют разложение полимера или ускоряют его.

### Синергические смеси соединений свинца с фенил-β-нафтиламином

Состав смеси, вес. ч. на 100 вес. ч. ПВХ	Температура начала разложения смеси °С	Индукционный период до начала выделения HCl в свободном состоянии при 175° С мин		Скорость выделения HCl при 175° С в токе воздуха в течение 180 мин, мг HCl на 1 г ПВХ	
		до облучения	после облучения в течение 4 ч лампой ПРК-2	до облучения	после облучения в течение 4 ч лампой ПРК-2
ПВХ без добавок	125	7	1	2,1	4,1
Фенил-β-нафтиламин, 0,5	145	15	2	46,0	51,0
Стеарат свинца, 3,0	207	85	53	1,4	2,5
Окись свинца, 1,5	205	92	50	1,5	2,7
Стеариновая кислота, 1,5					
Стеарат свинца, 3,0	209	111	95	0,2	1,9
Фенил-β-нафтиламин, 0,5					
Окись свинца, 1,5	206	115	99	0,4	1,8
Стеариновая кислота, 1,5					
Фенил-β-нафтиламин, 0,5					

### Синергические смеси солей свинца с антиоксидантами, эпоксидными стабилизаторами и трикрезилфосфатом

Состав смеси (в вес. ч.)

ПВХ — 100  
Трехосновной сульфат свинца — 3,3  
Двухосновной фталат свинца — 1,7  
Двухосновной стеарат свинца — 1,0

Пластификатор вес. ч.	Антиоксидант вес. ч.	Продолжительность индукционного периода до начала выделения HCl при 170° С мин	
		порошок	пленка, полученная вальцеванием в течение 10 мин
Диоктилфталат, 45	Без антиоксиданта	850	900
	Дифенилолпропан, 0,3	1490	1699
	Тринонилфенилфосфит, 0,2	1290	1464
	β-Нафтоксипропенноксид, 0,5	1482	1464
	Трикрезилфосфат, 1,0	1419	1681
	Эпоксидная смола ЭД-5,1	1420	1699
	Эпоксидная смола 5Н,1	1420	1700
Диоктилсебацат, 30	Без антиоксиданта	865	837
	Дифенилолпропан, 0,3	1388	1205
	Тринонилфенилфосфит, 0,2	925	915
	β-Нафтоксипропенноксид, 0,5	1353	952
	Трикрезилфосфат, 1	1123	984
	Эпоксидная смола ЭД-5,1	1005	1226
	Эпоксидная смола 5Н, 1	990	1105

### Синергические смеси стеаратов свинца и кальция с антиоксидантами

Состав смеси г на 10 г ПВХ	Температура начала разложения °С	Продолжительность индукционного периода до начала выделения HCl при 175° С, мин	
		в токе воздуха	в токе азота
ПВХ без добавок	155	6	10
2,4-Диоксиацетофенон, 0,038	148	9	9
Гидрохинон, 0,027	153	10	12
Стеарат свинца, 0,200	190	37	47
Стеарат свинца, 0,200	240	40	51
2,4-Диоксиацетофенон, 0,038			
Стеарат свинца, 0,200	220	47	55
Гидрохинон, 0,027			
Стеарат кальция, 0,150	181	17	18
Стеарат кальция, 0,150	186	21	22
2,4-Диоксиацетофенон, 0,038			
Стеарат кальция, 0,150	186	22	23
Гидрохинон, 0,027			

## Стабилизация полистирола и его производных

Изделия из полистирола и его производных эксплуатируются при довольно низкой температуре. Поэтому гораздо важнее стабилизация полимера не против теплового, а против светового старения.

В качестве светостабилизаторов используют 2-окси-4-метоксибензофенон или 2-(2'-окси-5-метилфенил)-бензтриазол, в качестве антиоксидантов — ди-*трет*-бутил-*n*-крезол, 2,2'-метилен-бис-(4-метил-6-*трет*-бутилфенол) и др.

Весьма интересна стабилизация полимеров веществами, сочетающими свойства антиоксиданта и красителя.

Имеются данные о грибостойкости полистирола и его производных.

## Грибостойкость полистирола и его производных

	Продолжительность испытаний	
	3 года	5 лет
Полистирол		
блочный . . . . .	3	3
суспензионный . . . . .	3	3
эмульсионный . . . . .	3	3
Полистирол ударопрочный		
УП-1 . . . . .	2	3
УП-1, светостабилизированный . . . . .	1	3
ПС-СУ <sub>2</sub> . . . . .	2	3
ПС-СУ <sub>3</sub> . . . . .	2	3
СНП-2 . . . . .	2	3
Сополимер стирола с метилстиролом . . . . .	2	3
Сополимер стирола с метилметакрилатом МС . . . . .	2	3
Сополимер стирола с метилакрилатом и акрилонитрилом МСН . . . . .	2	3

Примечание. Один балл обозначает отсутствие роста гриба при микроанализе, материал — грибостойкий; два балла — слабый рост гриба при микроанализе (увеличенно в 56 раз), материал по грибостойкости — удовлетворительный; три балла — рост гриба — видимый при микроанализе или невооруженным глазом, материал — негрибостойкий.

## Стабилизация полиамидов

Наиболее эффективными стабилизаторами против термоокисления полиамидов являются ароматические амины: *N*-фенил- $\beta$ -нафтиламин (неозон Д), *N,N'*-ди- $\beta$ -нафтил-*n*-фенилендиамин (ДНФДА).

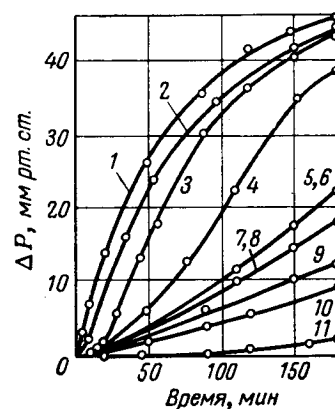


Рис. 1. Кинетические кривые термоокислительной деструкции полиамида П-68 в присутствии различных стабилизаторов ( $P_{O_2} = 200$  мм рт. ст.,  $t = 200^\circ$  С, концентрация стабилизатора 0,02 моль/кг):

1 — без стабилизатора; 2 — 2,6-ди-*трет*-бутил-4-метилфенол (нонол); 3 — 2,2-метилен-бис-(4-метил-6-*трет*-бутилфенол); 4 —  $\alpha$ -нафтол; 5 —  $\alpha$ -нафтиловый эфир ПКФ; 6 —  $\beta$ -нафтиловый эфир ПКФ; 7 — 2,6-ди-*трет*-бутил-4-метилфениловый эфир ПКФ; 8 — 2,4,6-три-*трет*-бутилфениловый эфир ПКФ; 9 — *N*-фенил-*N'*-циклогексил-*n*-фенилендиамин; 10 — ДНФДА (4010); 11 — неозон Д.

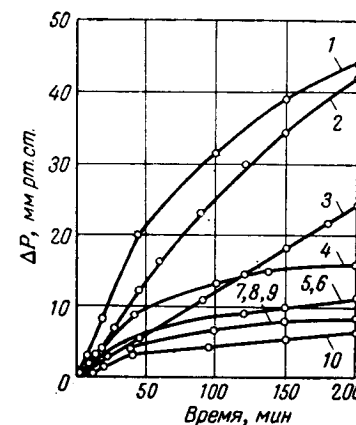


Рис. 2. Кинетические кривые уменьшения давления при термоокислительной деструкции полиапроамида в присутствии различных стабилизаторов ( $P_{O_2} = 200$  мм рт. ст.,  $t = 200^\circ$  С, концентрация стабилизатора 0,02 моль/кг):

1 — без стабилизатора; 2 — ионол; 3 — стабилизатор 22-46; 4 —  $\alpha$ -нафтиловый эфир ПКФ; 5 — 2,6-ди-*трет*-бутил-4-метилфениловый эфир ПКФ; 7 — *N*-фенил-*N'*-циклогексил-*n*-фенилендиамин; 8 — *N*-изопропил-*N'*-фенилендиамин; 9 — неозон Д; 10 — ДНФДА.

Довольно эффективны некоторые органические производные фосфора, например эфиры пирокатехинфосфористой кислоты (ПКФ). Фенолы, как стабилизаторы термоокисления полиамидов, мало эффективны.

На рис. 1 приведены кинетические кривые окисления полиамида П-68 (полигексаметиленсебацинамида) в присутствии различных стабилизаторов. Наиболее эффективны стабилизаторы *N,N'*-ди- $\beta$ -нафтил-*n*-фенилендиамин (ДНФДА) и *N*-фенил- $\beta$ -нафтиламин (неозон Д). Высокую ингибирующую активность проявляют также эфиры ПКФ. Фенолы менее эффективны при стабилизации полиамида П-68.

На рис. 2 приведены кинетические кривые уменьшения давления при термоокислительном старении поликапроамида в присутствии различных антиоксидантов. Для этого полнамида ароматические амины и фосфорсодержащие стабилизаторы (эфиры ПКФ) также являются весьма эффективными стабилизаторами.

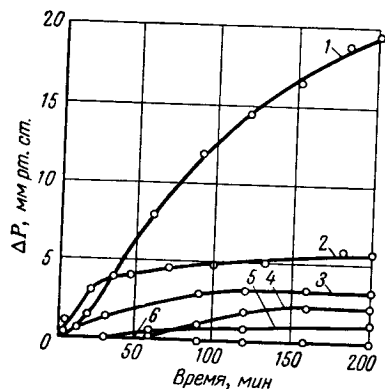


Рис. 3. Кинетические кривые уменьшения давления при термоокислительной деструкции полиамида П-548 в присутствии различных стабилизаторов ( $P_{O_2} = 200$  мм рт. ст.,  $t = 200^\circ C$ , концентрация стабилизатора 0,02 моль/кг):

1 — без стабилизатора; 2 — нонол; 3 — а-нафтиловый эфир ПКФ; 4 — 2,6-ди-*трет*-бутил-4-метилфениловый эфир ПКФ; 5 — неозон Д; 6 — ДНФДА.

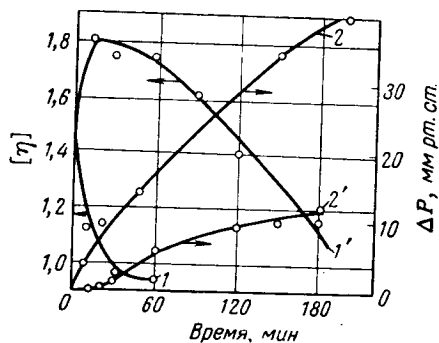


Рис. 4. Изменение характеристической вязкости и уменьшение давления при термоокислительной деструкции поликапроамида в присутствии фенол-β-нафтиламина ( $P_{O_2} = 200$  мм рт. ст.,  $t = 200^\circ C$ ): 1, 2 — без стабилизатора; 1', 2' — фенол-β-нафтиламин.

При окислении смешанного полиамида П-548 (продукт совместной поликонденсации ε-капролактама, соли АГ и соли СГ, взятых в соотношении 44:37:19) стабилизаторы ДНФДА и неозон Д также наиболее эффективны (рис. 3). Действие стабилизаторов наряду с замедлением поглощения кислорода проявляется и в сохранении молекулярного веса полиамида. Так, при окислении поликапроамида в присутствии ингибитора (рис. 4) наблюдается резкое снижение характеристической вязкости раствора полиамида в *m*-крезоле уже в начале процесса. В присутствии неозона Д вязкость сначала даже несколько повышается. Только по окончании периода индукции вязкость начинает уменьшаться, причем не так резко, как в отсутствие стабилизатора.

При исследовании эффективности стабилизаторов методом определения индекса расплава получены аналогичные результаты:

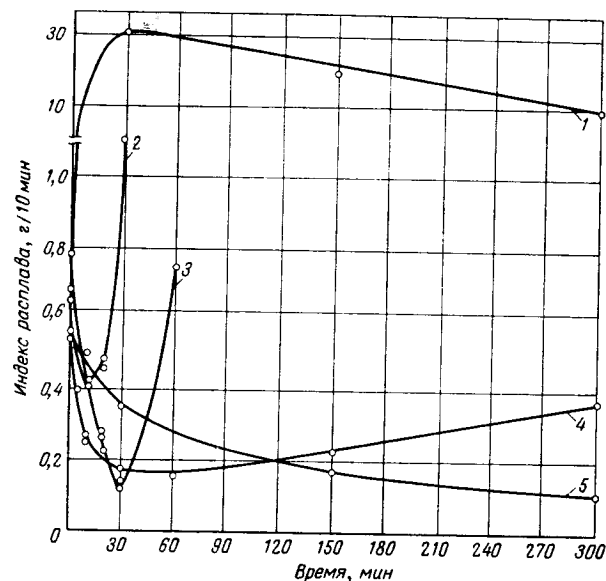


Рис. 5. Кинетика изменения индекса расплава при термоокислении полиамида П-68 на воздухе при  $200^\circ C$ : 1 — без стабилизатора; 2 — 0,05% 22-46; 3 — 0,05% ДНФДА; 4 — 0,5% 22-46; 5 — 0,5% ДНФДА.

#### Изменение физико-механических свойств полиамида П-68, стабилизированного ди-β-нафтил-*л*-фенилендиамин и неозоном Д (фенил-β-нафтиламин) при тепловом старении

Показатели	Температура $^\circ C$	Продолжительность старения, сутки												
		0	5	15	30	60	90	0	5	15	30	60	90	
Предел прочности, $кг/см^2$ при растяжении . . . .	90	568	683	665	657	668	656	531	Ди-β-нафтил- <i>л</i> -фенилендиамин					
	135	538	585	685	676	696	677	531	Неозон Д					
при статическом изгибе	90	815	1050	997	—	925	1070	745	676	626	645	641	660	
	135	815	1045	1022	—	839	1045	745	684	645	649	649	655	
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . .	90	114	131	116	111	130	141	104	1006	980	—	935	1090	
	135	114	123	123	119	6,2	4,1	104	985	1050	—	823	390	



**Изменение свойств полиформальдегида, стабилизированного  
антиоксидантом 22-46 и двуокисью титана, при световом старении**

Показатели	Продолжительность старения, сутки											
	0	2	5	15	30	90	0	2	5	15	30	90
	22-46						22-46 + двуокись титана					
Предел прочности при растяжении, $кг/см^2$	627	659	613	540	536	407	623	641	668	522	525	372
Потери массы, % . . . .	—	0,39	0,58	1,4	3,8	—	—	0,36	0,39	0,67	1,28	7,2

**Изменение свойств полиформальдегида, стабилизированного П-54  
и антиоксидантом 22-46, при атмосферном старении**

Показатели	Продолжительность старения, месяцы									
	0	1	3	6	12	0	1	3	6	12
	В умеренно холодном климате					В теплом влажном климате				
Предел прочности, $кг/см^2$ при растяжении . . . . .	627	554	538	565	483	627	600	537	580	494
» статическом изгибе . . . . .	983	951	989	1127	907	983	1006	1176	1081	930
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	147	13,7	10,7	13,2	11,3	147	146	—	—	147,3
Относительное удлинение при раз- рыве, % . . . . .	43	21	15,5	3,0	4,0	43	24	15	6,2	5,0
Твердость по Бринеллю, $кг/мм^2$ . . . .	16,3	16,3	17,0	16,4	20,3	16,3	—	16,3	18,3	15,2

**Изменение свойств полиформальдегида, стабилизированного П-54, антиоксидантом 22-46  
и двуокисью титана, при атмосферном старении**

Показатели	Продолжительность старения, месяцы									
	0	1	3	6	12	0	1	3	6	12
	В умеренно холодном климате					В теплом влажном климате				
Предел прочности, $кг/см^2$ при растяжении . . . . .	623	576	573	592	513	623	587	581	592	511
» статическом изгибе . . . . .	1082	913	996	1022	908	1082	1000	1060	1095	911
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	140	18,6	14,4	15,5	13,3	140	19,6	—	—	13,9
Относительное удлинение при раз- рыве, % . . . . .	61	25	21	10	9	61	27	16,4	7,5	6,0
Твердость по Бринеллю, $кг/мм^2$ . . . .	16,4	15,7	16,1	16,7	21,0	16,4	17,0	15,8	18,5	15,9

**Изменение свойств полиформальдегида, стабилизированного антиоксидантом 22-46  
и двуокисью титана, при старении в сухом жарком климате**

Показатели	Продолжительность старения, месяцы									
	0	1	3	6	12	0	1	3	6	12
	22-46					22-46 + двуокись титана				
Предел прочности, $кг/см^2$ при растяжении . . . . .	627	437,7	457,6	458,9	416,1	623	470,8	433,1	459,2	421,1
» статическом изгибе . . . . .	983	1113	882	—	725	1082	1113	976	—	812
Удельная ударная вязкость, $кг \cdot см/см^2$ . . . . .	147	164,8	—	—	2,9	140	98,4	32,3	11,3	6,6
Относительное удлинение при раз- рыве, % . . . . .	43	10,8	14,7	13,3	16,8	61	12,8	15,7	20,0	14,0



Оценка эффективности различных классов антиоксидантов при термоокислительной деструкции полиформальдегида (с добавкой 1 вес. % П-54) и сополимера триоксана с диоксоланом ( $P_{O_2} = 200$  мм рт. ст., температура 200° С)

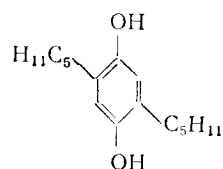
Антиоксидант	Формула	Молекулярный вес	Температура плавления °С	Концентрация моль/кг полимера	Период индукции мин		Потери массы, %			
					полиформальдегид	сополимер	за 20 мин		за 30 мин	
							полиформальдегид	сополимер	полиформальдегид	сополимер
Без антиоксиданта ПФА и полиамид 54 (П-54)	—	—	150	2 вес. %	10 15	10 —	70 40	20 —	90 60	30 —
Алкилированные монофенолы										
4,6-Ди- <i>tert</i> -бутил- <i>o</i> -крезол		220	25-27	0,05	19	15	10	14	15	25
6- <i>tert</i> -Бутил- <i>m</i> -крезол		164	21,7	0,05	18	11	11	18	17	27
6- <i>tert</i> -Бутил- <i>o</i> -крезол		164	—	0,05	—	36	—	1,5	—	3
2,6-Ди- <i>tert</i> -бутил-фенол		182	—	0,05	20	—	9	—	14	—
2,6-Ди- <i>tert</i> -бутил-4-метилфенол (нонол)		196	69,8	0,05	30	15	6	13	10	20
Нафтолы										
$\alpha$ -Нафтол		144	122	0,05	50	—	3	—	5	—
$\beta$ -Нафтол		144	96	0,05	100	22	2	2	4	8
Бисфенолы										
2,2-Метилен-бис-(4-метил-6- <i>tert</i> -бутилфенол) (22-46)		340	131	0,025	190	110	1	3	1,5	4

Антиоксидант	Формула	Молекулярный вес	Температура плавления °С	Концентрация, моль/кг полимера	Период индукции мин		Потери массы, %			
					полиформальдегид	сополимер	за 20 мин		за 30 мин	
							полиформальдегид	сополимер	полиформальдегид	сополимер
4,4'-Метилен-бис-(2-метил-6- <i>tert</i> -бутилфенол) (букремет)		340	98-100	0,025	148	50	5	5	9	6
2,2'-Метилен-бис-(6- <i>tert</i> -октил- <i>p</i> -крезол)		452	—	0,025	—	140	—	1	—	2
2,5-Ди- <i>tert</i> -бутил-гидрохинон (сантовар О)		222	213-214	0,025	140	18	4	9	7	14
4,4'-Метилен-бис-(2,6-ди- <i>tert</i> -бутилфенол)		382	155	0,025	135	50	6	1,5	8	2

Стабилизация пластмасс

28 Зак. 213

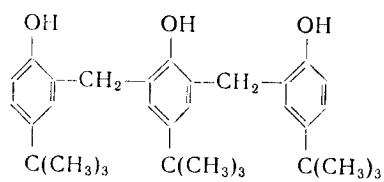
2,5-Ди-*tert*-амил-гидрохинон



250	180	0,025	70	—	6	—	10	—
-----	-----	-------	----	---	---	---	----	---

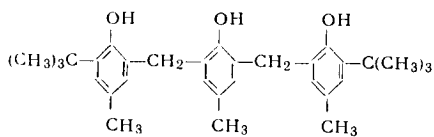
Трисфенолы

2,6-Бис-(2-окси-5-*tert*-бутилбензил)-4-*tert*-бутилфенол



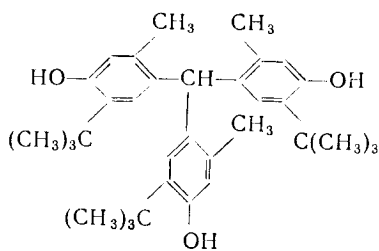
474		0,017	100	—	3	—	6	—
-----	--	-------	-----	---	---	---	---	---

2,6-Бис-(2-окси-3-*tert*-бутил-5-метилбензил)-4-метилфенол



460		0,017	150	—	2	—	4	—
-----	--	-------	-----	---	---	---	---	---

Три-(2-метил-4-окси-5-*tert*-бутилфенол)-метан



503	185-188	0,017	80	90	6	1	9	2
-----	---------	-------	----	----	---	---	---	---

Стабилизация

Антиоксидант	Формула	Молекулярный вес	Температура плавления °С	Концентрация моль/кг полимера	Период индукции мин		Потери массы, %			
					полиформальдегид	сополимер	за 20 мин		за 30 мин	
							полиформальдегид	сополимер	полиформальдегид	сополимер
Производные <i>p</i> -фенилендиамина										
<i>p</i> -Фенилендиамин	<chem>Nc1ccc(N)cc1</chem>	108	147	0,025	—	60	—	1,5	—	2
<i>N</i> -Изопропил- <i>N'</i> -фенил- <i>p</i> -фенилендиамин (40-10NA)	<chem>(CH3)2CHNHc1ccc(Nc2ccccc2)cc1</chem>	226	80,5	0,025	86	87	4	1,7	6	2,3
<i>N, N'</i> -Дифенил- <i>p</i> -фенилендиамин	<chem>Nc1ccc(Nc2ccccc2)cc1</chem>	260	152	—	80	—	5	—	8	—
<i>N, N'</i> -Ди- $\beta$ -нафтил- <i>p</i> -фенилендиамин	<chem>Nc1ccc(Nc2ccc3ccccc3cc2)cc1</chem>	360	235	0,025	150	300	5	2	8	3
<i>N</i> -Циклогексил- <i>N'</i> -фенил- <i>p</i> -фенилендиамин (40-10)	<chem>C1CCNCC1c1ccc(Nc2ccccc2)cc1</chem>	266	103—107	0,025	130	300	5	1	8	2
<i>p</i> -Фенил- <i>N'</i> -цианэтил- <i>p</i> -фенилендиамин	<chem>Nc1ccc(NC#NCC)cc1</chem>	237	143—144	0,025	—	—	—	1,3	—	1,6

Стабилизация пластмасс

## Аминофенолы

28\*

<i>p</i> -Оксифенил- $\beta$ -нафтиламин ( <i>p</i> -оксинеозон)	<chem>Nc1ccc(O)cc1c2ccc3ccccc3cc2</chem>	235	135	0,025	160	240	2	1	4	1,5
<i>p, p'</i> -Диоксидифениламин	<chem>Oc1ccc(Nc2ccc(O)cc2)cc1</chem>	201		0,017	100	120	3	2	3,5	3

## Амины

Дифениламин	<chem>Nc1ccc(cc1)Nc2ccccc2</chem>	169	53	0,05	170	15	1	10	2	16
Фенил- $\beta$ -нафтиламин (неозон Д)	<chem>Nc1ccc(cc1)Nc2ccc3ccccc3cc2</chem>	219	108	0,05	90	85	3,5	1,5	9	2
Фенил- $\alpha$ -нафтиламин (неозон А)	<chem>Nc1ccc(cc1)Nc2ccc3ccccc3cc2</chem>	219	62	0,05	70	10	4	18	8	25
Альдол- $\beta$ -нафтиламин	<chem>CN(C)C(O)CNc1ccc2ccccc2cc1</chem>	213	60—70	0,05	154	190	1	1	2	2
Триметилсилоксидифениламин (С-21)	<chem>C[Si](C)(C)Oc1ccc(Nc2ccccc2)cc1</chem>	257	Т. кип. 155—156	0,05	90	70	2	2	3	2,5

Стабилизация

Антиоксидант	Формула	Молекулярный вес	Температура плавления °С	Концентрация моль/кг полимера	Период индукции мин		Потери массы, %			
					полиформальдегид	сополимер	за 20 мин		за 30 мин	
							полиформальдегид	сополимер	полиформальдегид	сополимер
<b>Д и а м и н ы</b>										
Дифенил-ди-(фениламинофенокси)-силан (С-3)		550	102,5—103	0,025	180	250	1	2	1,5	3
Ди-(фениламинофенил)-карбонат (С-7)		396	161	0,025	~ 220		4		5	
Ди-(фениламинофенил)-мочевина		394	255	0,0125	~ 220	—	2	—	4	—
Ди-(фениламинофенил)-метан		350	113—114	0,025	220	300	4	2	5	3
α, α-Метилден-бис-(фенил-β-нафтиламин) (С-23)		450	196—197	0,025	~ 180	—	8	—	10	—

Стабилизация пластмасс

Метилфенил-ди-(фениламинофенокси)-силан (С-20)		488	Т. кип. 318/1 мм рт. ст.	0,025	210	—	2	—	3	—
Ди-(фениламинофенил)-терефталат (С-31)		500	218—219	0,025	~ 200	—	2	—	5	—
Ди-(фениламинофенил)-фталат (С-33)		500	170—171	0,025	~ 210	—	2	—	4	—
Ди-(оксифениламинофенил)-метан (С-19)		382	137		150	—	2	—	3	—
Диметил-ди-(фениламинофенокси)-силан (С-1)		426	105—106	0,025	420	180	0,5	1	1	2

Стабилизация

## Серу- и фосфорсодержащие соединения

4,4-Тио-бис-(5-метил-2-трет-бутилфенол) (букресуль)		358	154—156	0,025	60	—	9	—	12	—
-----------------------------------------------------	--	-----	---------	-------	----	---	---	---	----	---

Продолжение

Антиоксидант	Формула	Молекулярный вес	Температура плавления °С	Концентрация, моль/кг полимера	Период индукции мин		Потери массы, %			
					полиформальдегид	сополимер	за 20 мин		за 30 мин	
							полиформальдегид	сополимер	полиформальдегид	сополимер
Бис-(5-метил-3-трет-бутил-2-оксифенил)-моносульфид (СаО-6)	<chem>Cc1cc(O)c(C(C)(C)C)cc1S2=C(C(C)C)C(O)=C(C)C2</chem>	358	83—86	0,025	80	—	7	—	11	—
Меркаптобенз-имидазол	<chem>C1=NC2=CC=CC=C2N=C1S</chem>	150	304	0,025	100	—	6	—	9	—
<b>Комбинированные стабилизаторы</b>										
Дициандиамид + +22-46	—	—	—	0,12 + +0,025	—	160	—	1	—	2
Дициандиамид + ди-β-нафтил-п-фенилендиамин	—	—	—	0,12 + +0,025	—	370	—	1,3	—	2
Дициандиамид + С-1	—	—	—	0,12 + +0,025	—	300	—	1	—	1,5
Полиамид П-54 + +22-46	—	—	—	1 вес. % + +0,025	—	70	—	—	—	1,5

Политетраметиленоксида (политетрагидрофуран)  
 Наиболее эффективными антиоксидантами для политетраметиленоксида (ПТМО) являются ароматические амины (например, N-фенил-N'-циклогексил-п-фенилендиамин) и двухатомные фенолы (пирокатехин и стабилизатор 22-46).

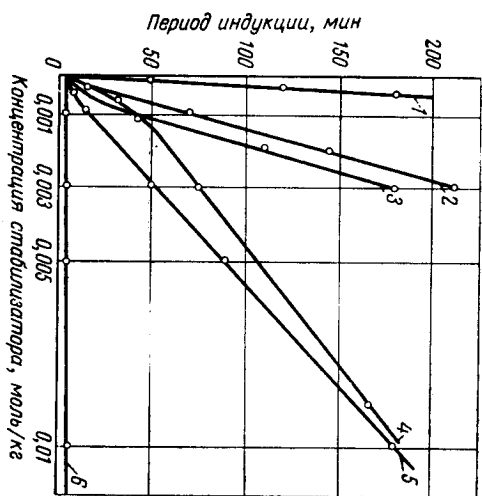


Рис. 6. Зависимость периода индукции от концентрации стабилизатора ( $P_{O_2} = 200$  мм.рт.ст.,  $t = 120^\circ C$ ):

- 1 — N-фенил-N'-циклогексил-п-фенилендиамин; 2 — 2,2-метилден-бис(4-метил-6-трет-бутилфенол) (стабилизатор 22-46); 3 — пирокатехин; 4 — 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенол (нонол); 5 — полипирокатехинфосфит; 6 — тринолфенилфосфит (полиларм).

Эфиры фосфористой и пирокатехинфосфористой кислот менее эффективны (рис. 6).

**Стабилизация поликарбоната**

Поликарбонат перерабатывается при высоких температурах (270—300°С). В этих условиях в полимере протекают процессы термоокислительной деструкции, приводящие к уменьшению молекулярного веса и ухудшению механических свойств поликарбоната. Для высокотемпературной стабилизации поликарбоната рекомендуются некоторые соединения с системой сопряженных двойных связей и эфиры фосфористой и пирокатехинфосфористой кислот. Ниже приведены свойства некоторых стабилизаторов — соединений с системой сопряженных двойных связей.

Стабилизатор	Содержание парамагнитных частиц на 1 г стабилизатора	Молекулярный вес	Температура плавления или разложения °С
Полифенилалетилден (ФФА) . . . . .	$7,0 \cdot 10^{15}$	6000	188—192
Полинафталин (ПН) . . . . .	$1,3 \cdot 10^{18}$	650—700	350
Сополимер нафталина с бензо, том (НВ) . . . . .	$2,9 \cdot 10^{19}$	(919)	300
Полихлордиоксин (ПХД) . . . . .	$3,5 \cdot 10^{18}$	—	350
Продукт взаимодействия антрацена с серой (АС) . . . . .	$3 \cdot 10^{18}$	—	300

Исследование кинетики поглощения кислорода (рис. 7), потери массы (рис. 8), а также изменения характеристической вязкости (рис. 9) при ингибированном термоокислении поликарбоната показывает, что такие соединения с сопряженными двойными свя-

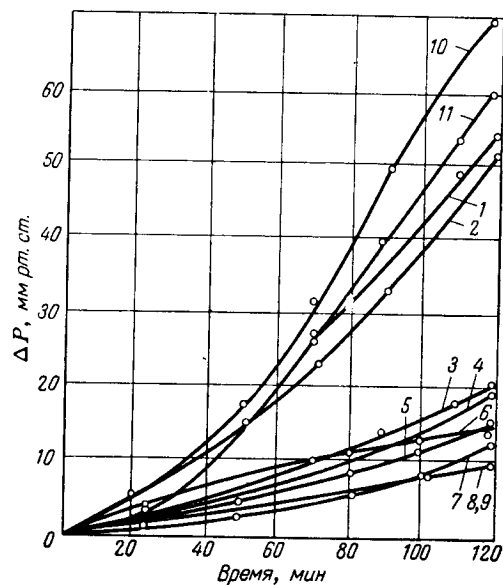


Рис. 7. Кинетика уменьшения давления при термоокислении поликарбоната дифлон в присутствии различных стабилизаторов ( $P_{O_2} = 500$  мм рт. ст.,  $t = 300^\circ\text{C}$ , концентрация стабилизатора 2%):

1 — без стабилизатора; 2 — бис-(6-метил-3-трет-бутил-2-оксибензил)-моносульфид (стабилизатор СаО-6); 3 — НБ; 4 — ПН; 5 — ПХД; 6 — АС; 7 — ПФА; 8 — полигард; 9 — 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфениловый эфир пирокатехин-фосфористой кислоты; 10 — 23-46; 11 — неозон Д.

зьями, как продукты взаимодействия антрацена с серой и полихинондиоксины, а также фосфорсодержащие антиоксиданты (полигард или 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфениловый эфир пирокатехин-фосфористой кислоты), — весьма эффективные высокотемпературные стабилизаторы для поликарбоната. Ниже приведены данные об изменении физико-механических свойств поликарбонатной пленки, стабилизированной полигардом (тринионилфенилфосфат) в процессе старения при  $150^\circ\text{C}$ .

Изменение физико-механических свойств поликарбонатной пленки, стабилизированной полигардом\*, в процессе старения на воздухе при  $150^\circ\text{C}$

Продолжительность старения сутки	Предел прочности при растяжении $\text{кг/см}^2$		Относительное удлинение при разрыве, %	
	без стабилизатора	с полигардом	без стабилизатора	с полигардом
0	600	740	81	91
1	590	730	40	80
2	590	740	15	68
3	570	750	10	65
4	570	745	8	65
5	560	730	3	70

\* Концентрация полигарда — 1 вес. %.

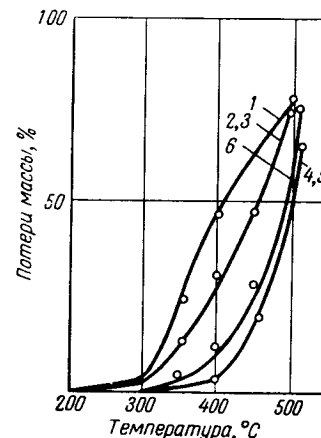


Рис. 8. Зависимость потери массы поликарбоната, стабилизированного различными антиоксидантами (2%), от температуры при нагревании на воздухе (скорость нагревания  $5$  град/мин):

1 — без стабилизатора; 2 — ПФА; 3 — АС; 4 — полигард; 5 — ПХД; 6 — НБ.

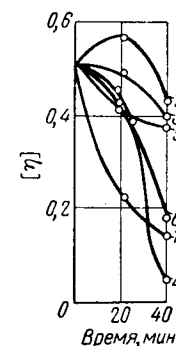


Рис. 9. Изменение характеристической вязкости при термоокислении поликарбоната дифлон в присутствии различных стабилизаторов ( $P_{O_2} = 500$  мм рт. ст.,  $t = 300^\circ\text{C}$ , концентрация стабилизатора 2%): 1 — без стабилизатора; 2 — полигард; 3 — АС; 4 — ПФА; 5 — ПХД; 6 — НБ.

Антиоксиданты типа ароматических аминов и замещенных фенолов не ингибируют процесс термоокисления поликарбоната.

#### Стабилизация полиэтилентерефталата

Для повышения устойчивости полиэтилентерефталата (ПЭТФ) при его переработке (выше  $260^\circ\text{C}$ ) можно применять различные

стабилизаторы: фенолы, амины, фосфиты и соединения с системой сопряженных двойных связей.

Данные о кинетике поглощения кислорода (рис. 10) показывают, что стабилизаторы 22-46, *n*-изоборнилфенол, неозон Д, 2,6-

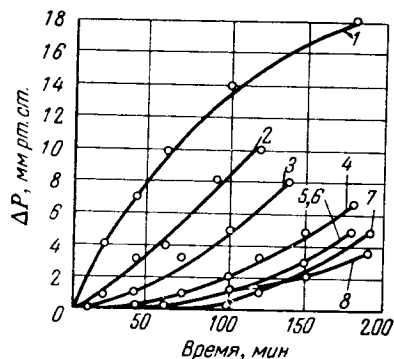


Рис. 10. Кинетика уменьшения давления при термоокислении ПЭТФ в присутствии различных стабилизаторов ( $P_{O_2} = 400$  мм рт. ст.,  $t = 260^\circ C$ , концентрация стабилизатора 0,5%):

1 — без стабилизатора; 2 — полигард; 3 — 2,2'-тио-бис-(4-метил-2,6-ди-*трет*-бутил)-фенол; 4 — 2,6-ди-*трет*-бутил-4-метилфениловый эфир ПКФ; 5 — *n*-изоборнилфенол; 6 — неозон Д; 7 — 22-46; 8 — ТА.

ди-*трет*-бутил-4-метилфениловый эфир ПКФ, а также термообработанный антрацен (ТА)\* являются эффективными антиоксидантами при высокотемпературном окислении ПЭТФ (см. также таблицу).

Изменение предела прочности при растяжении (в  $кг/см^2$ ) стабилизированной ориентированной полиэтилентерефталатной пленки в процессе старения на воздухе при  $150^\circ C$

Продолжительность старения сутки	ПЭТФ без стабилизатора	ПЭТФ с 0,1% неозона Д (N-Фенил-β-нафтиламин)	ПЭТФ с 0,1% стабилизатора 22-46 [2,2'-метилен-бис-(2,6-ди- <i>трет</i> -бутил-4-метил)-фенол]	ПЭТФ с 0,1% <i>n</i> -изоборнилфенола	ПЭТФ с 0,1% термообработанного антрацена	ПЭТФ с 0,1% стабилизатора  где R = -N=N-
1	980	1755	1816	1375	1380	1920
5	950	1616	1365	1120	1280	1520
10	880	1212	1238	1123	1310	1400
15	820	1240	1150	—	1200	1350
20	810	1137	1150	1210	1190	1300
25	750	1125	1112	—	—	1320
30	670	750	1020	1290	1100	1350

\* ТА — продукт, полученный нагреванием антрацена в атмосфере инертного газа в течение 1 ч при  $450^\circ C$ , содержание парамагнитных частиц —  $10^{18}$  на 1 г продукта.

### Стабилизация пентапласта

Наиболее распространенными термостабилизаторами для пентапласта служат производные *n*-фенилендиамина, алкиларилфенолов, тиофенолов, азометинов, меркаптанов, эфиров фосфористой борной и лауриловой кислот.

Время сохранения значений приведенной вязкости пентапласта, стабилизированного различными стабилизаторами, при тепловом старении

Стабилизатор	Индукционный период поглощения $O_2$ при $190^\circ C$	Время сохранения значения приведенной вязкости, ч		
		$190^\circ C$		$150^\circ C$
		пересаживаемый порошок	технический порошок	технический полимер в виде прессованных пленок толщиной 100 мк
Без стабилизатора . . . . .	0,06	< 0,5	2	30
Фенил-α-нафтиламин (неозон А) . . . . .	15	2	4	700—100
Фенил-β-нафтиламин (неозон Д) . . . . .	15	1,5	—	90
Неозон Д в смеси с дифенил- <i>n</i> -фенилендиамин . . . . .	—	—	8	—
Ди-β-нафтил- <i>n</i> -фенилендиамин (ди-афен НН) . . . . .	10	6	7	> 1000
2,2'-Метилен-бис-(6- <i>трет</i> -бутил-4-метилфенол) (бисалкофен БП) . . . . .	4	4	5	240
4,4'-Тио-бис-(3-метил-6- <i>трет</i> -бутилфенол) (тиоалкофен БМ) . . . . .	5,5	6	—	350—400
2,2'-Тио-бис-(4-метил-6-метилбензилфенол) (тиоалкофен МБП) . . . . .	10	5—6	—	600—800
2,2,4-Триметил-1,2-дигидрохинолин (ацетонанил) . . . . .	—	8—10	—	900
2,4,4'-Трис-(3- <i>трет</i> -бутил-4-окси-6-метилфенол)-бутан . . . . .	8	6	—	1000—1200

Для светостабилизации пентапласта применяют производные бензофенона, бензотриазола, бензойной и салициловой кислот и резорцина, сажу, люминофор и металлические производные органических соединений с хелатной связью.

Уменьшение приведенной вязкости пентапласта, стабилизированного различными антиоксидантами, при световом старении (после облучения лампой ПРК-2)

Антиоксидант	Уменьшение приведенной вязкости % от исходного	
	25 ч	250 ч
Без стабилизатора . . . . .	75	82 *
2-Окси-4-метоксибензофенон (бензон ОМ)	25	46
2-Окси-4-октилоксибензофенон (бензон ОО)	23	46
2-Окси-5-октилоксибензофенон . . . . .	17	25
2-Окси-4-алкил-(C <sub>7</sub> —C <sub>9</sub> )-оксибензофенон (бензон ОА) . . . . .	0	30
2,2'-Диокси-2-метоксибензофенон . . . . .	16	50
2,2'-Диокси-4-октилоксибензофенон . . . . .	10	20
2-(2'-окси-5'-метилфенил)-бензотриазол (бе- назол П) . . . . .	0 (до 100 ч)	10
Дибензоат резорцина . . . . .	15	40
<i>n</i> -трет-Бутилфенилсалицилат . . . . .	10	40
Сажа . . . . .	15	23
	10	20

\* 125 ч.

## ЛИТЕРАТУРА

- Грасси Н., Химия процессов деструкции полимеров, Издательство, 1959.
- Мадорский С., Термическое разложение органических полимеров, Изд. «Мир», 1967.
- Гордон Г. Я., Стабилизация синтетических полимеров, Госхимиздат, 1963.
- Старение и стабилизация полимеров, под ред. Неймана М. Б., Изд. «Наука», 1964.
- Старение и стабилизация полимеров, под ред. Кузьминского А. С., Изд. «Химия», 1966.
- Нейман М. Б., Коварская Б. М., Язвикова М. П., Сиднев А. И., Акутин М. С., Высокомол. соед., 3, № 4, 602 (1961).
- Коварская Б. М., Левантовская И. И., Язвикова М. П., Нейман М. Б., Пласт. массы, № 2, 67 (1968).
- Фролова М. И., Рябов А. В., Труды по химии и химической технологии, Горький, № 3, 577 (1961); № 2, 304 (1964).
- Фролова М. И., Рябов А. В., Высокомол. соед., 3, 877 (1961).
- Фролова М. И., Ефимов Л. И., Чекмодеева И. В., Пласт. массы, № 3, 38 (1964).
- Зуев Ю. С., Кузьминский А. С., ДАН СССР, 90, 1063 (1959).
- Хейвуд. Полиэтилен и другие полиолефины, Изд. «Мир», 1964.
- Малкевич Л. Г., Тарутина Л. И., Черешкевич Л. В., Пласт. массы, № 6, 5 (1960).
- Селиванов П. И., Кириллова Э. И., Максимов В. Л., Высокомол. соед., 8, № 8 (1966).
- Татевосьян О. Г., Кузнецова И. Б., Пласт. массы, № 9, 69 (1967).
- Голубева А. В., Городецкая Р. А., Сивогракова К. А., Усманова Н. Ф., Пласт. массы, № 1, 21 (1959).
- Кириллова Э. И., Матвеева Е. Н., Глаголева Ю. А., Фраткина Г. П., Усманова Н. Ф., Пласт. массы, № 11, 3 (1963).
- Хинькис С. С., Крейцер Г. В., Матвеева Е. Н., Высокомол. соед., 7, № 3 (1965).
- Мартынов М. А., Хинькис С. С., Пласт. массы, № 12 (1966).
- Фейман М. Г., Лакокрасочные материалы и их применение, № 5 (1964).
- Благник Р., Занова В., Микробиологическая коррозия, Изд. «Химия», 1965.

## АНТИСТАТИКИ

Антистатики — вещества, способные при добавлении к синтетическим смолам и пластмассам уменьшать электризацию полимерных материалов в процессе их переработки и эксплуатации изделий из них. Способность полимерных материалов накапливать заряды статического электричества объясняется тем, что по своим свойствам большинство этих материалов (полиолефины, полистирольные пластики, поливинилхлорид и др.) являются диэлектриками, т. е. обладают большим удельным поверхностным ( $\rho_s$ ) и объемным ( $\rho_v$ ) электрическим сопротивлением (соответственно  $10^{14}$ — $10^{16}$  ом и  $10^{15}$ — $10^{17}$  ом·см), а следовательно, и ничтожно малой проводимостью. Высокие показатели диэлектрических свойств полимерных материалов создают условия для скопления электростатических зарядов на трущихся поверхностях изделий; искровые разряды статического электричества могут вызвать взрывы и пожары легковоспламеняющихся и горючих жидкостей, огнеопасных газовых смесей, пыли. Кроме того, электризация способствует сильному загрязнению пластмассовых изделий, а также может увеличивать скорость их химической деструкции, при которой возможно выделение токсичных веществ. Устранение зарядов имеет большое экономическое значение, так как электростатические помехи на разных стадиях производства и переработки синтетических материалов являются причиной брака продукции, резко снижают скорости работы машин и аппаратов, а следовательно, препятствуют повышению производительности труда.

Действие антистатиков основано на повышении проводимости материалов и обусловленной этим утечки зарядов. Оценку действия антистатиков производят по уменьшению  $\rho_s$ , электростатического потенциала трения ( $\Phi$ ) и полупериода утечки электростатических зарядов, а также измерением  $\rho_v$ . Действие антистатиков (при 20° С и относительной влажности 65%) считают отличным, если полупериод утечки электростатических зарядов меньше 0,5 сек ( $\rho_s$  не больше  $10^{10}$  ом); при хорошем действии полупериод утечки составляет 0,5—2,0 сек ( $\rho_s = 10^{10}$ — $10^{12}$  ом); при умеренном — 2,0—10,0 сек ( $\rho_s = 10^{12}$ — $10^{14}$  ом); при слабом — 10,0—100 сек ( $\rho_s = 10^{14}$ — $10^{15}$  ом); при более длительном полупериоде утечки электростатических зарядов ( $\rho_s = 10^{16}$  ом и больше) антистатический эффект отсутствует.



Материалами, практически не электризующимися, считаются такие,  $\rho_r$  которых не превышает  $10^6 \text{ ом} \cdot \text{см}$ . Для производств, где применяются или получают такие вещества, специальные мероприятия по защите от статического электричества не требуются. Твердые тела ( $\rho_r$  менее  $10^9 \text{ ом} \cdot \text{см}$ ) в отсутствие их дробления и распыления не накапливают заметных количеств статического электричества. При переработке жидких веществ, имеющих  $\rho_r$  не более  $10^{10} \text{ ом} \cdot \text{см}$  и твердых с  $\rho_r$  не более  $10^9 \text{ ом} \cdot \text{см}$ , в целях предотвращения заметного накопления зарядов достаточно тщательно заземлить все проводящие части оборудования и обеспечить контакт между перерабатываемым веществом и оборудованием.

В качестве антистатиков для пластмасс применяют поверхностно-активные вещества (ПАВ) и электропроводящие наполнители (сажа, графит, порошки металлов).

#### ПОВЕРХНО-АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА

**Аламин-17.** Четвертичная соль алкилгуанамина. Белая или слегка желтоватая однородная паста, легко диспергируемая в воде.

**Алкамон ДЛ.** Соль четвертичных аммониевых оснований. Представляет собой прозрачную жидкость от желтого до красно-коричневого цвета. Хорошо растворяется в мягкой и жесткой воде, бензоле, этиловом спирте; не растворяется в эфире, уайт-спирите, четыреххлористом углероде.

**Алкамон Н.** Четвертичные аммониевые соли диэтиламинотильных производных диэтиленгликолевых эфиров насыщенных и ненасыщенных высших жирных спиртов с метилбензолсульфонатом. Легко смешивается с жесткой и мягкой водой, образуя устойчивые эмульсии; хорошо растворяется в спирте, бензоле; слабо — в четыреххлористом углероде и эфире; не растворяется в уайт-спирите. Устойчив при хранении.

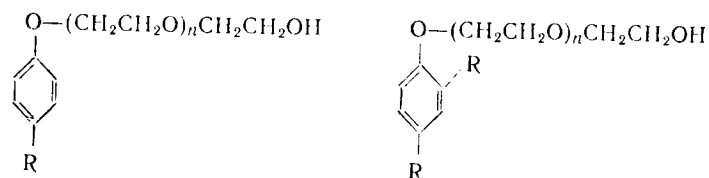
**Алкамон ОС-2 (ГОСТ 10106—62).** Смесь бензолсульфонатов метилдиэтиламинотильных производных диэтиленгликолевых эфиров высших жирных спиртов. Густая вязкая масса от желтого до желто-коричневого цвета. Легко смешивается с дистиллированной водой, образуя устойчивую эмульсию; в жесткой воде выпадает в осадок. Умеренно растворим в спирте, бензоле (около 5%), слабо — в четыреххлористом углероде, уайт-спирите; не растворяется в эфире. Устойчив при хранении.

**Амины С<sub>7</sub>—С<sub>9</sub> (перегнанные).** Подвижная, прозрачная бесцветная жидкость. Молекулярный вес  $\approx 129$ . Температура кипения  $105\text{—}200^\circ\text{C}$ , коэффициент нейтрализации  $77,0 \text{ мл } 0,1 \text{ н. раствора HCl}$  на  $1 \text{ г}$  продукта.

**Амины С<sub>16</sub>—С<sub>20</sub> (перегнанные).** Воскоподобное вещество белого цвета с запахом аммиака. Молекулярный вес  $\approx 269$ . Температура кипения  $135\text{—}270^\circ\text{C}$  ( $7\text{—}10 \text{ мм рт. ст.}$ ), коэффициент нейтрализации  $32,1 \text{ мл } 0,1 \text{ н. раствора HCl}$  на  $1 \text{ г}$  продукта.

**Амины нафтеновые (перегнанные).** Подвижная, прозрачная жидкость светло-желтого цвета. Молекулярный вес  $204\text{—}215$ . Температура кипения  $106\text{—}210^\circ\text{C}$  ( $7 \text{ мм рт. ст.}$ ), коэффициент нейтрализации  $46 \text{ мл } 0,1 \text{ н. раствора HCl}$  на  $1 \text{ г}$  продукта.

**Вещества ОП-7 и ОП-10 (ГОСТ 8433—57).** Продукты взаимодействия моно- и диалкилфенолов с окисью этилена.

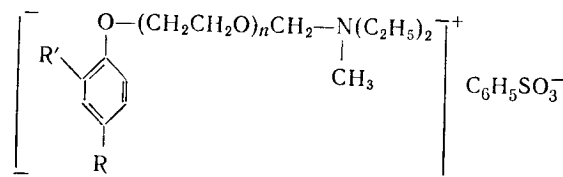


где R — алкил, содержащий 9—10 атомов C;  $n = 6\text{—}7$  (для ОП-7) и  $10\text{—}12$  (для ОП-10).

Мазеобразные вещества коричневого цвета;  $\text{pH} = 6\text{—}8$ .

**Водорастворимый препарат Б-300.** Вязкая жидкость коричневого цвета.

**Выравниватель А (ТУ МХП № 4358—55).** Четвертичные аммониевые соли диэтиламинотильных производных полиэтиленгликолевых эфиров алкилфенолов

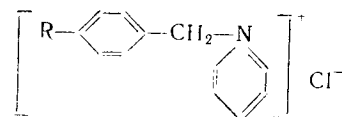


где R — алкил, содержащий 8—10 атомов C;  $R' = R$  или H;  $n = 10\text{—}12$ .

Представляет собой вязкую массу темно-коричневого цвета. Хорошо растворяется в мягкой и жесткой воде, в этиловом спирте, в меньшей степени — в бензоле (около 5%), плохо — в четыреххлористом углероде ( $<1\%$ ), не растворяется в эфире, уайт-спирите. Устойчив при хранении.

**Диалкилмононатрийфосфат.** Мононатриевая соль ди-2-этилгексилфосфорной кислоты. Воскоподобное вещество светло-желтого цвета. Молекулярный вес 340. Температура плавления выше  $180^\circ\text{C}$  (плавится с разложением).

**Катапин К.** Очень вязкое мазеобразное вещество темно-коричневого цвета



где R — алкильный радикал.

**Ксилиталь О-10.** Представляет собой смесь полиэтиленгликолевых эфиров олеатов ангидроксилитов. Маслообразная жидкость или паста желто-коричневого цвета.

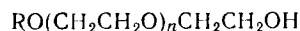
**Керилбензолсульфонат.** Жидкость темно-коричневого цвета. Содержание основного вещества 40%. Остальное — сульфат и сульфит натрия, углеводороды и т. п.

**Маслорастворимый препарат Б-400.** Очень вязкая жидкость темно-коричневого цвета.

**Оксамин С-2.** Продукт взаимодействия алкиламина с окисью этилена. Представляет собой воскообразную массу светло-желтого цвета. рН 1%-ного водно-спиртового (1:1) раствора составляет 9,4—10,0. Содержание золы в виде сульфатов 0,02—0,04%, содержание полиэтиленгликолей 0,7—1,0%. Молекулярный вес >300.

**Оксанол ЦС-17.** Продукт взаимодействия высших спиртов с окисью этилена. Представляет собой воскообразную массу светло-желтого цвета. Температура кристаллизации 39,5—40°С, содержание влаги около 0,3%.

**Препарат ОС-20 (ВТУ МХП 3875 — 54).** Смесь полиэтиленгликолевых эфиров высших спиртов общей формулы



где R — алкил, содержащий 16—18 атомов С; n = 19—24.

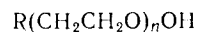
Представляет собой воскообразную массу от белого до светло-коричневого цвета.

**Проксанол 172, 224, 228.** Продукты взаимодействия высших спиртов с окисью этилена и окисью пропилена. Жидкости светло-желтого цвета.

**«Прогресс» (вторичные алкилсульфаты).** Прозрачная жидкость светло-желтого цвета. Содержание основного вещества 20%.

**Синтанол ДС-10 (марка Б).** Продукт взаимодействия высших спиртов (фракции C<sub>10</sub>—C<sub>18</sub>) с окисью этилена. Содержание основного вещества 50%. Воскообразное вещество светло-желтого цвета. Температура плавления около 37°С.

**Синтанол ЦС-20 (марка А).** Продукт взаимодействия цетилстеарилового спирта с окисью этилена. Воскообразное вещество светло-желтого цвета, общей формулы



где R — цетилстеарат, n = 20.

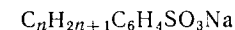
**Стеарок-6 (ГОСТ 8980—59).** Полигликолевый эфир жирных кислот



где R — остаток стеариновой, олеиновой или другой жирной кислоты, n = 6.

Хорошо растворяется в бензоле, слабо — в уайт-спирите (<1%); в эфире и этиловом спирте образует мутные растворы. В мягкой воде образует устойчивые эмульсии. В жесткой воде эмульсия расслаивается. Внешний вид — сиропобразная или пастообразная масса от светло-желтого до светло-коричневого цвета.

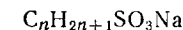
**Сульфанол НП-1.** Порошкообразное вещество желтого цвета, общей формулы



где n = 12—15.

Содержание основного вещества 55%. Молекулярный вес 350—400.

**Сульфонат А.** Воскообразное вещество светло-желтого цвета, общей формулы



где n = 12—18.

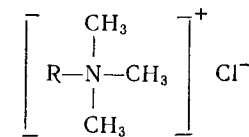
Содержание основного вещества 80%.

**Синтамыды.** Оксипропилированные моноэтаноламы синтетических жирных кислот. Представляют собой сиропобразную или пастообразную массу светло-желтого цвета. Температура плавления твердых синтамыдов около 50—60°С.

**Триэтаноламинная соль лаурилсульфата.** Жидкость темно-красного цвета. Содержание основного вещества 40%.

**Триамон.** Соль четвертичных аммониевых оснований. Прозрачная вязкая жидкость, бесцветная или светло-желтая. Хорошо растворяется в воде. При хранении устойчива.

**Триметилалкиламмонийхлорид.**



где R — алкил, содержащий 12—20 атомов С.

**Этамон ДС.** Соль четвертичных аммониевых оснований. Мазеобразное вещество желтого цвета.

Указанные ПАВ, за исключением аминов, оксанола ЦС-17, оксанамина С-2, триметилалкиламмонийхлорида и синтамыдов, в основном применяются как вспомогательные препараты (например, антистатики) в текстильной промышленности. Однако они проявляют антистатический эффект и при обработке пластмасс. Оксамин С-2 и оксанол ЦС-17 применяются, главным образом, в качестве антистатиков для полиэтилена высокого давления.

При использовании ПАВ в качестве антистатиков для пластмасс их 0,5—10%-ные растворы (в воде, спиртах, ацетоне и др.) наносят

на формованные изделия погружением, пропиткой или распылением с последующей сушкой (например, при комнатной температуре на воздухе в течение 1—2 суток; в вакууме 3—5 мм рт. ст. при 25—30° С в течение 3—5 ч или при 50—60° С в течение 20 ч) или вводят в пластмассы (0,05—10,0 вес.%) при вальцевании, экструзии или смешении в пластмассе типа «Бенбери». Действие антистатиков при поверхностном нанесении непродолжительно, поскольку они неустойчивы к промыванию растворителями и трению. При поверхностном нанесении антистатический эффект зависит от концентрации раствора антистатика и вида растворителя, а при

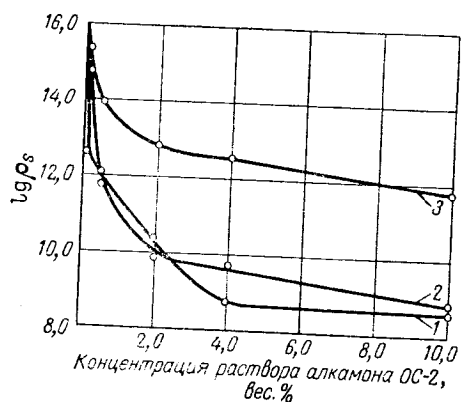


Рис. 1. Зависимость  $\lg \rho_s$  полистирола от концентрации раствора алкамона ОС-2: 1 — бензол; 2 — 1, 2-дихлорэтан; 3 — диметилформамид.

При внутреннем введении действие антистатиков более длительно. Эффективность действия в этом случае объясняется их миграцией на поверхность пластмасс и созданием на ней слоя с повышенной адсорбционной способностью, поглощающего из воздуха заряженные частицы, которые нейтрализуют заряд или влагу, повышающую поверхностную проводимость.

В таблице на стр. 452 приводятся данные об удельном поверхностном электрическом сопротивлении ( $\rho_s$ ) пластмасс, подвергнутых поверхностной антистатической обработке. При этом большинство антистатиков (ПАВ) обладает хорошим антистатическим эффектом, так что  $\rho_s$  обработанных ими образцов снижается на 5—7 порядков по сравнению с исходными материалами. При внутреннем введении антистатиков в большинстве случаев антистатический эффект ниже (см. стр. 454).

На рис. 1 показана зависимость  $\lg \rho_s$  полистирола от концентрации раствора алкамона ОС-2.

внутреннем введении — от количества вводимого антистатика и способа введения. Действие антистатиков (ПАВ) также зависит от их собственной природы и структуры пластмасс, в которые они вводятся, от температуры и относительной влажности воздуха и от времени определения свойств с момента изготовления образцов. Длительность антистатического действия может быть повышена введением в раствор различных полимерных связующих (например, поливинилацетата). Поверхностное нанесение эффективно только для материалов с хорошей адсорбционной способностью.

Ниже приводятся данные о зависимости удельного поверхностного ( $\rho_s$ ) и объемного ( $\rho_v$ ) электрического сопротивления полиэтилена высокого давления от количества вводимого оксамина С-2.

Количество антистатика вес. %	$\rho_s$ ом	$\rho_v$ ом·см	Количество антистатика вес. %	$\rho_s$ ом	$\rho_v$ ом·см
—	$> 8,0 \cdot 10^{15}$	$> 2,0 \cdot 10^{16}$	0,50	$2,2 \cdot 10^{11}$	$> 2,0 \cdot 10^{16}$
0,01	$6,7 \cdot 10^{14}$	$> 2,0 \cdot 10^{16}$	1,00	$4,3 \cdot 10^{10}$	$> 2,0 \cdot 10^{16}$
0,05	$1,5 \cdot 10^{13}$	$> 2,0 \cdot 10^{16}$	2,00	$2,7 \cdot 10^{10}$	$> 2,0 \cdot 10^{16}$
0,10	$2,4 \cdot 10^{12}$	$> 2,0 \cdot 10^{16}$			

Из таблицы видно, что с увеличением количества антистатика  $\rho_s$  полиэтилена практически не изменяется. Последнее обстоятельство свидетельствует о возможности применения пластмасс с антистатическими свойствами в электротехнике и электронике.

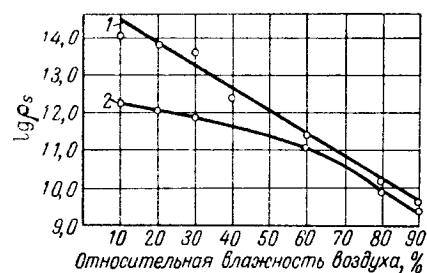


Рис. 2. Зависимость  $\lg \rho_s$  полиэтилена высокого давления при введении антистатиков от относительной влажности воздуха (температура  $20 \pm 2^\circ \text{C}$ ): 1 — оксамин С-2, 1 вес.%; 2 — оксанол ЦС-17, 1 вес. %.

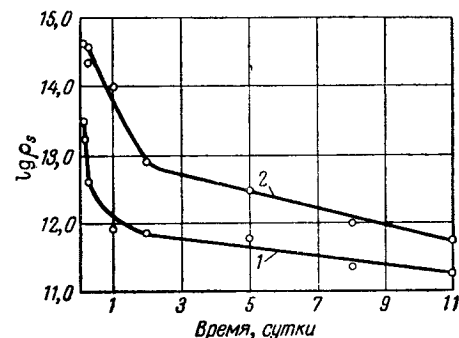


Рис. 3. Зависимость  $\lg \rho_s$  полиэтилена при введении оксинэтилизованного лауриламида (1 вес. %) от времени, прошедшего после изготовления образцов (температура  $20 \pm 2^\circ \text{C}$ , относительная влажность  $65 \pm 3\%$ ):

1 — полиэтилен низкой плотности; 2 — полиэтилен высокой плотности.

На рис. 2 показана зависимость  $\lg \rho_s$  полиэтилена высокого давления при введении антистатиков от относительной влажности воздуха.

Хотя при поверхностном нанесении антистатика его действие менее длительно, чем при внутреннем введении, оно сохраняется довольно продолжительное время. Так, при обработке полистирола и полиметилметакрилата 2%-ными водными растворами алкамона

**Удельное поверхностное электрическое сопротивление пластмасс  
при поверхностной антистатической обработке**

Антистатик	Растворитель	Концентрация раствора антистатика вес. %	$\rho_s, \text{ом}$			
			полистирол	полиметил-метакрилат	полиэтилен высокого давления	полиэтилен низкого давления
Исходные данные . . . . .	—	—	$1,0 \cdot 10^{16}$	$6,0 \cdot 10^{16}$	$> 8,0 \cdot 10^{15}$	$> 8,0 \cdot 10^{15}$
Аламин-17 . . . . .	Вода	2,0	$8,0 \cdot 10^{15}$	—	$2,4 \cdot 10^{12}$	—
Алкамон ДЛ . . . . .	»	2,0	$5,0 \cdot 10^8$	$4,3 \cdot 10^8$	—	—
Алкамон Н . . . . .	»	2,0	—	—	$1,5 \cdot 10^{10}$	$1,1 \cdot 10^{11}$
Алкамон ОС-2 . . . . .	Этиловый спирт	2,0	$3,3 \cdot 10^9$	$2,0 \cdot 10^9$	$2,0 \cdot 10^9$	$3,9 \cdot 10^9$
Амины C <sub>7</sub> —C <sub>9</sub> . . . . .	То же	2,0	$3,3 \cdot 10^{11}$ — $-3,3 \cdot 10^{12}$	—	$8,0 \cdot 10^{11}$	$8,2 \cdot 10^{10}$ — $-4,1 \cdot 10^{11}$
Амины C <sub>16</sub> —C <sub>20</sub> . . . . .	»	2,0	$3,3 \cdot 10^{12}$	—	$6,3 \cdot 10^{12}$	$2,6 \cdot 10^{12}$
Амины нафтеновые . . . . .	»	2,0	$1,4 \cdot 10^{13}$	—	$8,2 \cdot 10^{12}$ — $-4,1 \cdot 10^{13}$	$4,5 \cdot 10^{13}$
Вещество ОП-7 . . . . .	Вода	2,0	$3,0 \cdot 10^{11}$	$5,6 \cdot 10^{11}$	—	—
Вещество ОП-10 . . . . .	»	2,0	—	—	$1,3 \cdot 10^{11}$	$3,4 \cdot 10^{12}$
Водорастворимый препарат Б-300 . . . . .	Этиловый спирт	2,0	$6,8 \cdot 10^{10}$	$2,6 \cdot 10^8$ — $-3,6 \cdot 10^9$	$3,8 \cdot 10^{11}$	$3,6 \cdot 10^{11}$
Выравниватель А . . . . .	Вода	2,0	$7,7 \cdot 10^9$	—	$4,3 \cdot 10^{10}$	—
Катапин К . . . . .	Этиловый спирт	2,0	$2,4 \cdot 10^9$	$3,5 \cdot 10^9$	$3,1 \cdot 10^8$	$5,0 \cdot 10^8$
Керилбензолсульфонат . . . . .	Вода	5,0	$1,0 \cdot 10^{11}$	$2,0 \cdot 10^{10}$	$1,4 \cdot 10^9$	$6,5 \cdot 10^9$

Ксилиталь О-10 . . . . .	»	2,0	$1,9 \cdot 10^{11}$	—	$4,7 \cdot 10^{11}$	—
Маслорастворимый препарат Б-400 . . . . .	Бензол	2,0	$2,3 \cdot 10^{13}$	$4,1 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{13}$	$3,9 \cdot 10^{11}$
Оксамин С-2 . . . . .	Этиловый спирт	2,0	$5,5 \cdot 10^{11}$	$9,8 \cdot 10^{10}$	$1,3 \cdot 10^{11}$	$2,0 \cdot 10^{11}$
Оксанол ЦС-17 . . . . .	То же	2,0	$7,0 \cdot 10^{10}$	$7,0 \cdot 10^{10}$	—	—
Проксанол 172 . . . . .	»	2,0	$4,6 \cdot 10^{12}$	$6,4 \cdot 10^{11}$	$6,5 \cdot 10^{14}$	$2,8 \cdot 10^{14}$
Проксанол 224 . . . . .	»	2,0	$8,9 \cdot 10^{11}$	$1,8 \cdot 10^{11}$	$6,5 \cdot 10^{14}$	$1,6 \cdot 10^{15}$
Проксанол 228 . . . . .	»	2,0	$5,0 \cdot 10^{10}$	$3,0 \cdot 10^9$	$3,0 \cdot 10^{12}$	$2,4 \cdot 10^{12}$
«Прогресс» (вторичные алкилсульфаты) . . . . .	Вода	10,0	$1,8 \cdot 10^9$	$3,8 \cdot 10^9$	$1,2 \cdot 10^9$	$1,2 \cdot 10^9$
Синтаид-5 . . . . .	Этиловый спирт	2,0	$8,2 \cdot 10^9$	$6,4 \cdot 10^9$	—	—
Синтаид-10 . . . . .	То же	2,0	$2,0 \cdot 10^{10}$	$4,9 \cdot 10^9$	—	—
Синтанол ДС-10 (марка Б) . . . . .	»	4,0	$6,4 \cdot 10^8$	$1,0 \cdot 10^{10}$	$2,0 \cdot 10^9$	$2,6 \cdot 10^9$
Синтанол ЦС-20 (марка А) . . . . .	»	2,0	$3,5 \cdot 10^{10}$	$2,2 \cdot 10^{10}$	$2,3 \cdot 10^{10}$	$3,7 \cdot 10^{10}$
Стеарокс-6 . . . . .	»	2,0	$2,6 \cdot 10^{10}$	$3,8 \cdot 10^{10}$	—	—
Сульфанол НП-1 . . . . .	Вода	4,0	$1,5 \cdot 10^9$	$6,9 \cdot 10^9$	$6,0 \cdot 10^9$	$1,1 \cdot 10^{10}$
Сульфонат А . . . . .	»	2,5	$4,0 \cdot 10^8$	$2,7 \cdot 10^8$	$2,2 \cdot 10^9$	$2,4 \cdot 10^9$
Триамон . . . . .	»	2,0	$3,6 \cdot 10^{13}$	—	$1,9 \cdot 10^{13}$	—
Триметилалкиламмонийхлорид . . . . .	Этиловый спирт	2,0	$7,4 \cdot 10^8$	—	$1,6 \cdot 10^9$	$1,1 \cdot 10^9$
Триэтаноламиновая соль лаурилсульфата . . . . .	То же	5,0	$9,8 \cdot 10^8$	$3,0 \cdot 10^8$	$1,3 \cdot 10^9$	$1,1 \cdot 10^9$
Этамон ДС . . . . .	Вода	2,0	$4,3 \cdot 10^9$	$2,7 \cdot 10^9$	$3,5 \cdot 10^{11}$	$6,5 \cdot 10^{10}$

Примечание.  $\rho_s$  измеряли по ГОСТ 6433—65 при  $20 \pm 2^\circ \text{C}$  и относительной влажности  $65 \pm 3\%$ .

Удельное поверхностное электрическое сопротивление пластмасс при внутреннем введении антистатиков в процессе вальцевания

Антистатик	Количество введенного антистатика, %	$\rho_s, \text{ом}$					
		полиэтилен высокого давления	полиэтилен низкого давления	полистирол	полиметил-метакрилат	поливинил-хлорид (жесткий)	поливинил-бутираль (жесткий)
Исходные данные	—	$> 8,0 \cdot 10^{15}$	$> 8,0 \cdot 10^{15}$	$1,0 \cdot 10^{16}$	$6,0 \cdot 10^{16}$	$> 8,0 \cdot 10^{15}$	$> 8,0 \cdot 10^{15}$
Аламини-17 . . . . .	2,0	$8,0 \cdot 10^{15}$	—	$(3,3 \cdot 10^{14})$	—	—	—
Алкамон ДЛ . . . . .	2,0	$7,8 \cdot 10^{13}$	$1,7 \cdot 10^{15}$	$1,9 \cdot 10^{15}$ $(9,1 \cdot 10^{11})$	$3,4 \cdot 10^{14}$	$3,8 \cdot 10^{15}$	$> 8,0 \cdot 10^{15}$
Алкамон Н . . . . .	2,0	$9,3 \cdot 10^{13}$	$4,1 \cdot 10^{14}$	$8,7 \cdot 10^{14}$ $(4,4 \cdot 10^{14})$	$> 8,0 \cdot 10^{15}$	—	—
Алкамон ОС-2 . . . . .	2,0	$3,3 \cdot 10^{12}$	$> 8,0 \cdot 10^{15}$	$(4,6 \cdot 10^{11})$	—	—	—
Амины С <sub>7</sub> —С <sub>9</sub> . . . . .	2,0	$1,8 \cdot 10^{13}$	$> 8,0 \cdot 10^{15}$	$> 8,0 \cdot 10^{15}$	—	$2,8 \cdot 10^{14}$	—
Амины С <sub>16</sub> —С <sub>20</sub> . . . . .	2,0	$4,1 \cdot 10^{12}$	$3,3 \cdot 10^{14}$	$(5,3 \cdot 10^{14})$	—	—	—
Амины нафтеновые . . . . .	2,0	$1,0 \cdot 10^{14}$	$9,8 \cdot 10^{14}$	$> 8,0 \cdot 10^{15}$	—	$> 8,0 \cdot 10^{15}$	$9,5 \cdot 10^{14}$
Вещество ОП-7 . . . . .	2,0	$9,0 \cdot 10^{11}$	$8,2 \cdot 10^{13}$	$1,0 \cdot 10^{15}$	—	—	—
Вещество ОП-10 . . . . .	2,0	$1,3 \cdot 10^{12}$	$2,8 \cdot 10^{14}$	—	$1,4 \cdot 10^{15}$	—	—
Выравниватель А . . . . .	2,0	$4,3 \cdot 10^{12}$	—	$(7,3 \cdot 10^{14})$	—	—	—
Диалкилмонатрий-фосфат . . . . .	2,0	$1,5 \cdot 10^{13}$	$1,2 \cdot 10^{14}$	$(1,8 \cdot 10^{10} - 1,5 \cdot 10^{11})$	—	—	—
Керилбензолсульфонат . . . . .	5,0	$2,6 \cdot 10^{12}$	$6,1 \cdot 10^{13}$	$(> 4,0 \cdot 10^{15}) *$	—	—	—
Ксилиталь О-10 . . . . .	2,0	$3,0 \cdot 10^{12}$	—	$2,1 \cdot 10^{15}$	—	—	—
Оксамин С-2 . . . . .	2,0	$4,2 \cdot 10^{10}$	$3,5 \cdot 10^{14}$	$4,6 \cdot 10^{14}$	$6,9 \cdot 10^{14}$	$6,5 \cdot 10^{14}$	$1,1 \cdot 10^{14}$
Оксанол ЦС-17 . . . . .	2,0	$2,2 \cdot 10^{11}$	$2,7 \cdot 10^{14}$	$9,9 \cdot 10^{14}$	$8,0 \cdot 10^{15}$	$1,2 \cdot 10^{15}$	$8,1 \cdot 10^{14}$
Проксанол 172 . . . . .	2,0	$1,9 \cdot 10^{14}$	$8,7 \cdot 10^{13}$	—	—	—	—
Проксанол 224 . . . . .	2,0	$2,3 \cdot 10^{14}$	$9,8 \cdot 10^{14}$	—	—	—	—
Проксанол 228 . . . . .	2,0	$2,6 \cdot 10^{14}$	$9,8 \cdot 10^{14}$	—	—	—	—
«Прогресс» (вторичные алкилсульфаты) . . . . .	10,0	$1,4 \cdot 10^{14}$	$1,2 \cdot 10^{14}$	—	—	—	—
Синтамид-5 . . . . .	2,0	$4,6 \cdot 10^{10} *$	$1,5 \cdot 10^{14} *$	$(1,8 \cdot 10^{13} - 9,1 \cdot 10^{14})$	$(8,2 \cdot 10^{14})$	—	—
Синтамид-10 . . . . .	2,0	$3,3 \cdot 10^{10} - 1,8 \cdot 10^{11} *$	$7,4 \cdot 10^{13} *$	$(7,0 \cdot 10^{14})$	$(2,3 \cdot 10^{15})$	—	—
Синтанол ДС-10 (марка Б) . . . . .	4,0	$5,2 \cdot 10^{10}$	$2,8 \cdot 10^{10}$	$(4,1 \cdot 10^{13}) *$	—	—	—
Синтанол ЦС-20 (марка А) . . . . .	2,0	$2,5 \cdot 10^{11}$	$2,6 \cdot 10^{11}$	$(9,1 \cdot 10^{12}) *$	—	—	—
Стеарокс-6 . . . . .	2,0	$1,6 \cdot 10^{11} - 2,1 \cdot 10^{12}$	$1,9 \cdot 10^{15}$	$(3,5 \cdot 10^{14})$	—	$1,2 \cdot 10^{15}$	—
Сульфанол НП-1 . . . . .	4,0	$7,3 \cdot 10^{11}$	$1,6 \cdot 10^{11}$	$(9,1 \cdot 10^{13}) *$	—	—	—
Сульфонат А . . . . .	2,5	$1,8 \cdot 10^9$	$2,3 \cdot 10^9$	$(7,3 \cdot 10^{10} - 2,7 \cdot 10^{11}) *$	—	—	—
Триметилалкиламмонийхлорид . . . . .	2,0	$2,2 \cdot 10^8$	$1,8 \cdot 10^9$	$(1,1 \cdot 10^8) *$	—	$3,3 \cdot 10^{12}$	$9,8 \cdot 10^{14}$
Триамон . . . . .	2,0	$1,3 \cdot 10^{15}$	—	$1,3 \cdot 10^{11} - 3,6 \cdot 10^{12}$	—	—	—
Триэтаноламиновая соль лаурилсульфата . . . . .	5,0	$3,1 \cdot 10^{10}$	$2,1 \cdot 10^{10}$	—	—	—	—
Этамон ДС . . . . .	2,0	$7,4 \cdot 10^{14}$	—	$(7,3 \cdot 10^{13} - 3,2 \cdot 10^{14})$	—	—	—

\* 1 вес. % антистатика

Примечания: 1)  $\rho_s$  измеряли по ГОСТ 6433-65 при  $20 \pm 2^\circ \text{C}$  и относительной влажности  $65 \pm 3\%$  через 2 суток после изготовления образцов.

2) В скобках даны значения  $\rho_s$  пластмасс при введении антистатика в них при экструзии.

ДЛ и вещества ОП-7 хороший антистатический эффект сохраняется более месяца.

Стабильность антистатических свойств полистирола и полиметилметакрилата при поверхностном нанесении антистатиков

(при  $20 \pm 2^\circ \text{C}$  и относительной влажности  $65 \pm 3\%$ )

Полимер	Антистатик *	$\rho_s, \text{ом}$			
		в момент нанесения	через 5 суток	через 10 суток	через 30 суток
Полистирол	Алкамон ДЛ . . . . .	$5,0 \cdot 10^8$	$6,5 \cdot 10^8$	$8,0 \cdot 10^8$	$1,2 \cdot 10^9$
	Вещество ОП-7 . . . . .	$3,0 \cdot 10^{11}$	$1,0 \cdot 10^{11}$	$5,7 \cdot 10^{10}$	$8,4 \cdot 10^{10}$
Полиметилметакрилат	Алкамон ДЛ . . . . .	$4,3 \cdot 10^8$	$8,0 \cdot 10^8$	$9,2 \cdot 10^8$	$1,4 \cdot 10^9$
	Вещество ОП-7 . . . . .	$5,6 \cdot 10^{11}$	$6,2 \cdot 10^{10}$	$9,2 \cdot 10^{10}$	$1,0 \cdot 10^{12}$

\* 2%-ный водный раствор.

При внутреннем введении антистатиков в пластмассы антистатический эффект может сохраняться практически в течение нескольких лет. При этом оптимальные показатели антистатических свойств устанавливаются не сразу после изготовления образцов, а в течение некоторого времени (рис. 3).

При введении ПАВ в пластмассы их физико-механические свойства практически не изменяются или изменяются крайне незначительно (исключение составляет полиэтилен низкого давления). Показатели физико-механических свойств полиэтилена, подвергнутого антистатической обработке, приведены ниже.

Физико-механические свойства полиэтилена при внутреннем введении антистатиков

Антистатик *	Полиэтилен низкого давления			Полиэтилен высокого давления		
	$\sigma_T$ кг/см <sup>2</sup>	$\sigma_p$ кг/см <sup>2</sup>	$\epsilon$ %	$\sigma_T$ кг/см <sup>2</sup>	$\sigma_p$ кг/см <sup>2</sup>	$\epsilon$ %
Без антистатика . . . . .	261	231	625	135	158	670
Алкамон Н . . . . .	253	129	210	138	123	530
Алкамон ОС-2 . . . . .	254	149	250	121	132	625
Вещество ОП-7 . . . . .	262	179	440	130	139	660
Вещество ОП-10 . . . . .	258	137	490	131	131	634
Оксамин С-2 . . . . .	245	139	240	120	143	625
Оксанол ЦС-17 . . . . .	253	141	200	123	113	555
Препарат ОС-20 . . . . .	249	192	630	134	138	640
Стеарокс-6 . . . . .	245	169	600	120	132	610
Триметилалкиламмонийхлорид . . . . .	263	160	340	109	88	220

\* 2 вес. %.

Примечание.  $\sigma_T$  — предел текучести,  $\sigma_p$  — предел прочности при растяжении,  $\epsilon$  — относительное удлинение при разрыве.

Антистатические свойства пластмасс при внутреннем введении ПАВ могут быть улучшены путем пластификации. Так, например, если при введении 2 вес. % оксанола ЦС-17 в полистирол  $\rho_s$  последнего составляет лишь  $9,9 \cdot 10^{14} \text{ом}$ , то у образца, пластифицированного 5 вес. % дибутилфталата, оно будет уже  $2,4 \cdot 10^{13} \text{ом}$ .

### ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЕ НАПОЛНИТЕЛИ

Получение электропроводящих полимерных материалов с пониженным удельным объемным электрическим сопротивлением может

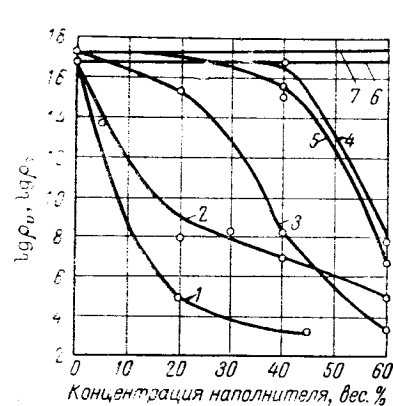


Рис. 4. Зависимость  $\lg \rho_s$  и  $\lg \rho_v$  полиэтилена высокого давления от содержания электропроводящих наполнителей (температура  $20 \pm 2^\circ \text{C}$ , относительная влажность  $65 \pm 3\%$ ): 1 — ацетиленовая сажа ( $\rho_s$ ); 2 — графит карандашный ( $\rho_s$ ); 3 — графит карандашный ( $\rho_v$ ); 4 — алюминиевая пудра ( $\rho_s$ ); 5 — алюминиевая пудра ( $\rho_v$ ); 6 — цинковая пыль ( $\rho_s$ ); 7 — цинковая пыль ( $\rho_v$ ).

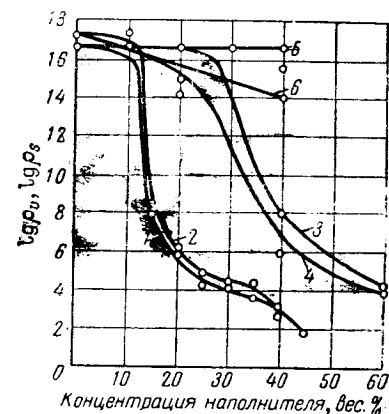


Рис. 5. Зависимость  $\lg \rho_s$  и  $\lg \rho_v$  полиэтилена низкого давления от содержания электропроводящих наполнителей (температура  $20 \pm 2^\circ \text{C}$ , относительная влажность  $65 \pm 3\%$ ): 1 — ацетиленовая сажа ( $\rho_s$ ); 2 — ацетиленовая сажа ( $\rho_v$ ); 3 — графит карандашный ( $\rho_s$ ); 4 — графит карандашный ( $\rho_v$ ); 5 — алюминиевая пудра ( $\rho_s$ ); 6 — алюминиевая пудра ( $\rho_v$ ).

быть осуществлено введением в пластмассы электропроводящих наполнителей: ацетиленовой сажи (ТУ № 5—52), графита карандашного (ГОСТ 4404—58), алюминиевой пудры ПАК-3 (ГОСТ 5494—50), цинковой пыли и др.

Величина  $\rho_r$  полимера с электропроводящим наполнителем зависит от количества и вида наполнителя, строения полимера и способа введения наполнителя в полимер. Для повышения эластичности электропроводящих композиций в них вводят каучуки (например, полиизобутилен, полибутадиен и др.).

## Физико-механические свойства электропроводящих композиций

Состав композиции					Свойства		
полимер		электропроводящий наполнитель		поли- изобу- тилен вес. %	$\sigma_T$ кг/см <sup>2</sup>	$\sigma_p$ кг/см <sup>2</sup>	$\varepsilon$ %
наименование	количе- ство вес. %	наименование	количе- ство вес. %				
Полиэтилен высокого давления	100	—	—	—	135	158	670
	80	Цинковая пыль	20	—	107	93	510
	60	То же	20	20	76	65	510
	70	»	30	—	129	83	220
	60	»	40	—	137	—	30
	40	»	40	20	49	47	370
	40	»	60	—	138	—	0
	20	»	60	20	33	29	390
	80	Алюминиевая пудра	20	—	192	—	60
	60	То же	20	20	126	107	180
	70	»	30	—	315	—	40
	60	»	40	—	286	—	22
	40	»	40	20	138	—	100—150
	40	»	60	—	272	—	0
	20	»	60	20	108	—	0
	80	Графит	20	—	203	—	50
	60	»	20	20	131	88	130
	70	»	30	—	223	—	50
	60	»	40	—	256	—	40
	40	»	40	20	148	—	60
40	»	60	—	277	—	40	
20	»	60	20	122	—	60	
60	Ацетиленовая сажа	20	20	134	89	330	
26	То же	36	38	53	99	550	
35	»	45	20	128	150	270	
30	»	45	25	88	102	370	
25	»	45	30	83	91	420	
100	—	—	—	261	231	625	
55	Ацетиленовая сажа	25	20	164	136	150	
50	То же	30	20	165	131	110	
45	»	35	20	154	133	90	
26	»	36	38	110	110	590	
40	»	40	20	142	118	100	
35	»	45	20	74	117	80	
65	»	24	10	262	—	0	
60	»	25	15	233	156	0—60	

Электропроводящие наполнители вводят в пластмассы при вальцевании или в пластосмесителе типа «Бенбери». Для получения электропроводящих материалов с  $\rho_r = 10^2 - 10^7 \text{ ом} \cdot \text{см}$  требуется вводить до нескольких десятков вес. % электропроводящих наполнителей. Например, чтобы превратить каучук в «полупроводник» с  $\rho_r$  порядка  $10^4 \text{ ом} \cdot \text{см}$  требуется не менее 35 вес. ч. ацетиленовой сажи на 100 вес. ч. каучука. Одним из лучших электропроводящих наполнителей является ацетиленовая сажа. При введении 15—30 вес. % сажи  $\rho_r$  и  $\rho_s$  смеси резко снижаются (рис. 4 и 5), что связано с образованием цепочечной сажевой структуры. На втором месте по эффективности действия находится графит. Применение алюминиевой пудры и цинковой пыли нецелесообразно, так как, например, при введении в полиэтилен высокого давления до 60 вес. % цинковой пыли практически не наблюдается уменьшения  $\rho_s$  и  $\rho_r$ , а при использовании алюминиевой пудры сопротивление начинает уменьшаться лишь при введении 40 вес. % наполнителя.

Введение электропроводящих наполнителей в большом количестве (особенно порошков металлов) в пластмассы значительно ухудшает их физико-механические свойства (см. таблицу).

На основе полиэтилена высокого давления разработаны электропроводящие композиции П2ЭС-1, а с применением полиэтилена низкого давления — П4ЭС-1 и П4ЭС-2. Основные свойства этих композиций приведены ниже.

## Свойства электропроводящих композиций на основе полиэтилена

Показатели	П2ЭС-1	П4ЭС-1	П4ЭС-2
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>			
при растяжении . . . . .	≥ 80	≥ 110	≥ 100
» статическом изгибе . . . . .	—	≥ 150	≥ 300
Предел текучести при растяжении, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	≥ 100	≥ 100	—
Относительное удлинение при раз- рыве, % . . . . .	≥ 120	≥ 150	≥ 10
Удельная ударная вязкость кг·см/см <sup>2</sup> . . . . .	—	≥ 11	≥ 80
Твердость по Бринеллю, кг/мм <sup>2</sup> . . . . .	—	≥ 3,5	≥ 4,0
Теплостойкость по Вика, °С . . . . .	—	≥ 47	≥ 80
Удельное электрическое сопротивле- ние			
поверхностное, ом . . . . .	≤ 10 <sup>6</sup>	≤ 10 <sup>6</sup>	≤ 10 <sup>4</sup>
объемное, ом·см . . . . .	≤ 10 <sup>6</sup>	≤ 10 <sup>6</sup>	≤ 10 <sup>4</sup>
Морозостойкость, °С, не выше . . . . .	—	—50	—

Композиции П2ЭС-1 и П4ЭС-1 перерабатываются методом экструзии, а П4ЭС-2 — литьем под давлением.

Электропроводящие наполнители могут применяться также в качестве одного из компонентов электропроводящих покрытий. В число других компонентов входит связующее (например, поливинилхлорид, полиэтилен, полиизобутилен, поливинилацетат и др.) и растворитель или диспергирующий агент. Электропроводящий наполнитель должен при различных способах нанесения покрытия (окраска, разбрызгивание, окунание, пульверизация и др.) распределяться по поверхности таким образом, чтобы между его отдельными частицами сохранялся устойчивый контакт. Лаки на основе чистого серебра имеют самую высокую электропроводность. Электропроводность лаков на основе сажи несколько ниже, но может быть повышена удачным подбором связующего. В этом отношении хорошие результаты показали полимерные связующие — полиэтилен и полиизобутилен. Высокую проводимость имеют покрытия, содержащие мелкодисперсную сажу. Например, электропроводящая краска, состоящая из 100 вес. ч. поливинилхлорида и 20 вес. ч. диоктилфталата, растворенных в 400 вес. ч. метилэтилкетона, 25 вес. ч. газовой сажи и 10 вес. ч. метилового спирта, образует покрытие с  $\rho_s = 20 \text{ ом}$ . Электропроводящее покрытие, состоящее из 60—70% фурфурол-ацетонового полимера, 15—20% ацетиленовой сажи, 4—5% ацетона, 5—7% фурфуrolа и 10—20% отвердителя (от массы фурфуrolа), после нанесения на поверхность полимера и отверждения образует слой с  $\rho_s$  от 10 до 100 ом·см. Для покрытия пластмасс нашли применение пленки на основе окиси олова. В качестве покрытий могут служить также некоторые пленкообразующие полимеры с хорошими антистатическими свойствами (например, полидиметилакриламид, поливинилпентаметилфосфорамид, полиакриламид и др.).

#### ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАСТМАСС С АНТИСТАТИКАМИ

Пластмассы с антистатическими свойствами (содержащие ПАВ) могут применяться для изготовления пленок (полиэтилен), используемых для покрытия парников и теплиц, упаковки одежды, грампластинок; для изготовления светотехнических изделий, корпусов различных приборов, шкал, листов, емкостей и т. п.

Полимерные материалы с электропроводящими наполнителями могут применяться для изготовления труб, используемых при транспортировке взрывчатых веществ, огнеопасных жидкостей, различных сыпучих материалов; для изготовления различных емкостей для хранения и перевозки взрыво- и пожароопасных веществ; для изготовления листов, используемых при застиле конвейеров и рабочих мест, где возможны электростатические помехи; для изготовления вентиляторов, насосов и т. д.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Modern Plastics Encyclopedia, 1967, September 1966, 44, № 1A, 479—481.
2. Emery J. Valko, Giuliana C. Tesoro, Encycl. Polymer Sci. Technol., 2, 204—229 (1965).
3. Правила защиты от статического электричества и вторичных проявлений молнии в производствах химической промышленности, Госхимиздат, 1963.
4. Захарченко В. В., Гавриленко Н. Д., Методы и средства защиты организма человека от статического электричества, материалы семинара 3—5 апреля 1968 г. в МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, М., 1968, стр. 40.
5. Справочник химика, т. VI, Изд. «Химия», 1967, стр. 424, 642.
6. Кантор Л. А., Санитарно-техническое оборудование с применением полимерных материалов, Стройиздат, 1964, стр. 58.



## СИНТЕТИЧЕСКИЕ КЛЕИ

**К**леи — это вещества или смеси веществ органического, элементо-органического или неорганического происхождения, которые благодаря сочетанию таких свойств, как хорошее прилипание (явление адгезии), механическая прочность (когезия), отсутствие хрупкости и минимальная усадка при отверждении, пригодны для прочного соединения различных материалов.

Большинство современных клеев являются композициями на основе различных полимерных материалов, клеящие свойства которых зависят от строения и структуры макромолекул, молекулярного веса полимеров, условий образования клеевой пленки, а также ее физических и физико-механических свойств.

Методы изготовления клеящих материалов на основе различных синтетических соединений весьма разнообразны, так как клеями могут быть как мономерные соединения, так и полимеры в виде растворов в органических растворителях или в мономерах, полимеры, не содержащие растворителей, клеевые смолы, отверждающиеся в присутствии специальных добавок, различные эмульсии и т. д.

Клеи могут быть одно- и многокомпонентными. В первом случае они производятся на химическом предприятии и поступают на завод-потребитель в готовом виде. Многокомпонентные клеи изготавливаются на месте потребления из составных частей.

Наиболее обширную группу клеев представляют собой растворы различных полимеров или их смесей в органических растворителях (полиизобутилен, каучуки, феноло-альдегидные смолы, поливинилхлорид, полимеры простых виниловых эфиров, поливинилацетат, полиакрилаты, полиамиды и др.).

Полнота растворения контролируется по внешнему виду отбранной пробы клея. Раствор фильтруется через металлическую сетку или ткань для освобождения от посторонних включений. Готовый клей испытывается в соответствии с техническими условиями (внешний вид клея, плотность, концентрация, вязкость и клеящая способность).

В некоторых случаях растворение полимеров производят не в органических растворителях, а в мономерных продуктах, являющихся так называемыми реактивными растворителями. К таким клеям относятся растворы каучуков в стироле и др.

Значительную группу клеящих материалов составляют так называемые клеевые смолы, являющиеся или основой клеев, отверждающихся при введении специальных добавок (отвердителей), или компонентами более сложных клеевых систем.

Основой клеевых смол являются в большинстве случаев термореактивные соединения, представляющие собой линейные полимеры, олигомеры или мономерные вещества, способные при воздействии катализаторов, отвердителей, иницирующих добавок, повышенной температуры и других факторов превращаться в неплавкие и нерастворимые конечные продукты, обладающие хорошей теплостойкостью и высокой клеящей способностью.

Наиболее широко используемые в клеевых композициях термореактивные смолы (феноло-формальдегидные, карбамидные, эпоксидные и др.) обычно отверждаются в присутствии кислых, щелочных катализаторов или отвердителей при нормальной или повышенной температуре.

Процесс отверждения термореактивных смол сопровождается возникновением усадочных явлений; в ряде случаев отвержденные смолы обладают значительной хрупкостью, что снижает прочность клеевого соединения. Для уменьшения усадок в клеи на основе термореактивных смол часто вводят наполнители. Минеральные наполнители повышают теплостойкость клеевых соединений. Повышение эластичности термореактивных смол достигается во многих случаях совмещением их с термопластичными полимерами или эластомерами.

Эти клеи в большинстве случаев являются двухкомпонентными: смола и отвердитель. Последний обычно смешивается со смолой непосредственно перед применением клея, так как время, в течение которого такая смесь пригодна для применения, обычно ограничивается несколькими часами.

В группу клеев, основой которых являются термопластичные полимеры, входят композиции на основе полимеров диметилвинилэтилкарбинола, производных акриловой и метакриловой кислот, полиамидов, поливинилового спирта и различных каучуков.

Особенностью таких клеев является хорошая эластичность и относительно невысокая теплостойкость. Эти клеи предназначаются главным образом для склеивания неметаллических материалов в изделиях несильного назначения. Исключением являются такие клеи, как карбинольный, метилолполиамидный (МПФ-1), полиакриловые и эластомерные клеи, которые могут быть использованы для склеивания металлов как между собой, так и с различными пластическими массами, резинами и другими материалами.

Клеи на основе термопластичных полимеров применяются в виде растворов в органических растворителях или в мономерах, а также в виде клеящих лент и пленок.

Природа склеиваемого материала оказывает существенное влияние на процесс склеивания и выбор клея. Полярные материалы необходимо склеивать полярными клеями. При склеивании пластмасс лучшими клеями являются растворы или расплавы полимерных материалов той же химической природы, что и склеиваемый материал.

Лучшими клеями для соединения целлюлозных материалов, содержащих гидроксильные группы, являются феноло- и мочевино-формальдегидные смолы, полиуретаны и полиэпоксиды.

Состояние поверхности склеиваемых материалов также может существенно влиять на процесс склеивания и качество клеевых соединений. В воздухе всегда содержится различное количество влаги, углекислоты, сероводорода, микроорганизмов, пыли и других загрязнений, оседающих на склеиваемых поверхностях до склейки и в момент склеивания. Кроме того, необходимость обработки склеиваемых изделий для придания им требуемой формы (прокатка, литье, фрезеровка, формование, полировка, прессование, распиливание, обтачивание и т. д.) требует применения различных смазок, загрязняющих обработанные поверхности. Следовательно, склеиваемые поверхности необходимо тщательно очищать.

При подготовке поверхности металлов перед склеиванием следует предусматривать удаление всех видов загрязнения, причем подготовленные для склеивания детали должны быть использованы в течение определенного срока, в противном случае обработка должна быть повторена.

Наиболее широко распространены следующие методы обработки поверхности металлов:

1. Алюминиевые сплавы обрабатывают электрохимическим путем или в кислотных ваннах.
2. Стали различных марок подвергают цинкованию, кадмированию, травлению кислотой или обрабатывают металлическими опилками, наждачной или стеклянной бумагой.
3. Титановые сплавы обычно подвергают травлению в горячей серной кислоте.
4. Магниевого сплавы, предварительно обезжиренные, защищают лакокрасочными покрытиями.
5. Поверхность меди, цинка, кадмия, латуни, свинца обдувают песком или обрабатывают шкуркой.

В большинстве случаев жидкий клей наносят на склеиваемые поверхности кистью. Другим способом нанесения является пульверизация, для чего, однако, вязкость клеевой композиции должна быть понижена с помощью различных разбавителей. В качестве разбавителей обычно используются растворители, входящие в состав клея.

В зависимости от свойств клея и качества пригонки склеиваемых поверхностей наносят два или более слоев, причем каждый последующий слой должен ложиться под прямым углом к предыдущему.

При работе с очень вязкими системами (например, с клеями, содержащими наполнители) можно использовать шпатели.

Количество наносимого на склеиваемую поверхность клея должно строго контролироваться, так как толщина клеевого шва имеет большое влияние на качество склейки. Для большинства клеев толщина клеевого слоя колеблется в пределах от 0,05 до 0,25 мм.

Режим склеивания — давление, температура и продолжительность выдержки зависят от природы склеиваемого материала, характера подготовки поверхности, качества пригонки соединяемых деталей и от свойств применяемого клея. Для склеивания при повышенных температурах используются прессы, обогреваемые паром, электричеством, а также нагревание с помощью контактных электронагревателей и в печах.

## КЛЕИ НА ОСНОВЕ ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ ПОЛИМЕРОВ

### Клеи на основе феноло-формальдегидных смол

Феноло-формальдегидные смолы являются основой многочисленных клеевых композиций, применяющихся для склеивания металлов, древесины, пластических масс и ряда других материалов. Обладая хорошими адгезионными свойствами, феноло-формальдегидные смолы в отвержденном состоянии представляют собой весьма хрупкие продукты и поэтому в большинстве случаев применяются в модифицированном виде. Феноло-формальдегидные смолы, не подвергнутые модификации, нашли применение преимущественно при склеивании древесины и некоторых других пористых материалов.

### Клеи на основе немодифицированных феноло-формальдегидных смол

Эти клеи изготавливаются преимущественно на основе феноло-формальдегидных смол резольного типа, отверждаемых при нормальных температурах с помощью кислых катализаторов. Для ускорения процесса отверждения температура может быть повышена до 50—60°С. В качестве кислых отвердителей чаще всего используют сульфонафтенные кислоты (контакт Петрова). В некоторые клеевые композиции вводят растворители (ацетон, этиловый спирт).

Основное назначение клеев из немодифицированных феноло-формальдегидных смол — склеивание древесины, фанеры, древесных пластинок, древесно-стружечных плит, пенопластов, пищевой тары и др.

К клеям холодного отверждения относятся клеи ВИАМ Б-3, КБ-3, ВИАМ Ф-9, ВЗ1-Ф9. Клеи горячего отверждения готовятся на основе смол С-1, С-35, СБС-1, СКС-1, СП-1 и СБТ.

Клеи готовят смешением исходных компонентов перед употреблением на месте применения.

Применяются также пленочные клеи, представляющие собой сульфатную бумагу, пропитанную водорастворимой феноло-формальдегидной смолой.

Состав клеев холодного отверждения на основе немодифицированных феноло-формальдегидных смол приведен ниже.

Состав клеев холодного отверждения на основе немодифицированных феноло-формальдегидных смол

Марка клея	Смола							Количество катализатора*, вес. ч.	Растворитель	
	марка смолы	технические условия	количество, вес. ч.	вязкость, спз	содержание, % не более				название	количество, вес. ч.
					свободного фенола	свободного формальдегида	воды			
ВИАМ Б-3	ВИАМ-В	ТУ НХП № 477-41	100	500-1000	21,1	-	20,0	$\frac{1400}{a}$	Ацетон (или спирт)	10
КБ-3	Б	ТУ МХП № 4158-34	100	150-300	5,0	4,0	28,0	$\frac{1600}{a} - \frac{2100}{a}$	Ацетон	7-10
ВИАМ Ф-9	ВИАМ Ф-9	ТУ МХП № 4-375-58	100	500-1000	2,5	3,5	32-38	$\frac{1400}{a}$	Спирт	10

\* Керосиновый контакт I сорта (ГОСТ 463-53).

\*\*  $a$  - кислотное число керосинового контакта.

Феноло-формальдегидный клей холодного отверждения ВЗ1-Ф9 для склеивания органического стекла состоит из смолы ВИАМ Ф-9, резорцина и этилового спирта; в качестве отвердителя применяется керосиновый контакт I сорта.

Предел прочности при сдвиге клеевых соединений органического стекла между собой и с капроновой лентой при  $\pm 60^\circ\text{C}$  достигает  $100 \text{ кг/см}^2$ . После воздействия температуры  $60^\circ\text{C}$  в течение 500 ч, переменных температур  $\pm 60^\circ\text{C}$  в течение 30 циклов, воды в течение 30 суток прочность клеевых соединений органического стекла между собой и с капроновой лентой не уменьшается.

Феноло-формальдегидные клеи горячего отверждения представляют собой продукты конденсации фенола с формальдегидом в щелочной среде.

Клеевые смолы представляют собой водорастворимые, эмульсионные и спирторастворимые продукты различной вязкости и концентрации (см. стр. 468). Они применяются для склеивания фа-

Свойства феноло-формальдегидных клеев холодного отверждения и клеевых соединений на их основе

Марка клея	Жизнеспособность, ч	Расход клея, г/м <sup>2</sup>	Режим склеивания				Прочность соединения клеевых соединений при сдвиге (при $20^\circ\text{C}$ ) $\text{кг/см}^2$	Применение	
			открытая выдержка	выдержка под давлением		Прочность при сдвиге $\text{кг/см}^2$			
				температура $^\circ\text{C}$	продолжительность, ч				температура $^\circ\text{C}$
ВИАМ Б-3	2-4	150-350	20	5-15	20	5-20	0,5-5,0	130	Для склеивания древесины, фанеры, шпона, древесных пластиков, текстолита, пенопластов
КБ-3	2,5-4	180-250	20	5-15	20	5-25	0,3-5,0	130	То же
ВИАМ Ф-9	2,0-3,5	150-200	20	10-15	18-23	Не более 30	2,5-5,0	140 130 130	Для склеивания древесных материалов, пенопластов, различных тканей
ВЗ1-Ф9	3,5-5,0	150-200 (при склеивании органического стекла) 700-800 (при склеивании органического стекла с синтетической тканью)	20-25	5-10	20-25	20-30 мин	1-3	100 (клеевое соединение органического стекла) в интервале температур $\pm 60^\circ\text{C}$	Для склеивания органического стекла и приклеивания к нему лаковой и капроновой тканей

Свойства феноло-формальдегидных клеевых смол горячего отверждения для склеивания древесины

Показатели	С-1	С-35	СБС-1	СКС-1	СП-1	СБТ*	Примечания
Концентрация, % . . . . .	45—50	35±2	50—55	50—55	45—50	40—45	Смола С-1 готовится на кристаллическом феноле
Содержание свободного фенола, %, не более . . . . .	2,5	2,0	14	16	—	0,25	
Вязкость, сЕ . . . . .	100—300	150—300	15—40 и 40—100	15—40 и 40—100	15—45	30—100 и 150—300	Смола С-35 может быть изготовлена на феноле МЛК
Щелочность (в пересчете на сухой натр), %, не более . . . . .	3—3,5	4,5	—	—	2,5	2,5	Смоли СБС-1 (на феноле) и СКС-1 (на трикрезоле) являются спирторастворимыми продуктами
Срок хранения, сутки . . . . .	20—30	15—30	180	180	20—30	20—30	
Предел прочности фанеры при скалывании, кг/см <sup>2</sup> , не менее							
в сухом состоянии . . . . .	20	15	—	—	20	15	Смола СБТ представляет собой водорастворимый продукт конденсации фенола и мочевины с формальдегидом в щелочной среде с добавлением резорцина
после кипячения в воде в течение 1 ч . . . . .	18	10	30	30	18	10	

\* Содержание свободного формальдегида в смоле — не более 0,35%.

дери, различных видов фанерных плит, фанерных труб, челночного материала (клеевая смола С-1), фанеры повышенной водостойкости (клеевая смола С-35), древесных слонстых пластинок клеевые смолы СБС-1, СКС-1, СП-1) и пищевой тары (смола СБТ). Для производства древесно-стружечных плит рекомендуются феноло-формальдегидные смолы пониженной вязкости типа С-1, С-35 и СБТ.

Для склеивания фанеры применяются клеевые фенольные смолы вязкостью от 100—150 до 300°Е, содержащие 33—55% сухих веществ. Допускается смешение различных смол для приготовления клеев с оптимальными свойствами.

Для производства древесно-стружечных плит применяются клеевые смолы с пониженной вязкостью (20—30 сек по вискозиметру ВЗ-4). Приготовление растворов требуемой вязкости осуществляется разбавлением водой готовых водорастворимых смол, содержащих 40—45% сухих веществ. Для склеивания фанеры применяется также пленочный клей, представляющий собой сульфатную бумагу, пропитанную водорастворимой феноло-формальдегидной смолой марки С-50.

Бакелитовая пленка (марок А и Б) на смоле С-50 характеризуется следующими показателями:

	А	Б
Масса 1 м <sup>2</sup> , г . . . . .	60—75	Не менее 50
Содержание растворимой смолы, %, не менее . . . . .	75	75
Предел прочности при скалывании, кг/см <sup>2</sup> , не менее . . . . .	22	Не регламентируется
после кипячения в воде в течение 1 ч	19	22

Бакелитовая пленка хранится и транспортируется при 20—25°С и относительной влажности, не превышающей 70%, в течение 6 месяцев.

#### Клеи на основе модифицированных феноло-формальдегидных смол

##### Феноло-каучуковые клеи

К феноло-каучуковым клеям относятся композиции ВК-32-200, ВК-3, ВК-4 и ВК-32-2. Все они представляют собой двухкомпонентные системы, состоящие из феноло-формальдегидной смолы и резиновой смеси, содержащей необходимые добавки. Компоненты смешиваются перед употреблением.

Клей ВК-32-200, ВК-3 и ВК-4 применяются для склеивания при нагревании металлов в силовых конструкциях. Клей ВК-32-2 служит для крепления при обычной температуре стекловолоконистой теплоизоляции к металлам.

Для феноло-каучуковых клеев рекомендуются следующие режимы склеивания:

Технологические режимы склеивания феноло-каучуковыми клеями

Марка клея	Давление кг/см <sup>2</sup>	Температура склеивания °С	Продолжительность выдержки под давлением ч	Расход клея		Жизнеспособность ч
				количество наносимых слоев	расход клея на каждый слой г/м <sup>2</sup>	
ВК-32-200	8-20	180±5	1	1-2	150-300	Не менее 24 6-24 24 72
ВК-3	8-20	165±5	1	1-2	150-300	
ВК-4	8-20	200±5	2	1-2	150-300	
ВК-32-2	Контактное	20-25	5-10	1	200-300	

Показатели прочности клеевых соединений дюралюминия и стали 30ХГСА при неравномерном отрыве (в кг/см) на феноло-каучуковых клеях приведены ниже:

	При -60° С	При 20° С	При 200° С
ВК-32-200 . . . . .	—	30	12
ВК-3 . . . . .	32	50	10
ВК-4 . . . . .	25	32	6 (300° С)

Основные свойства клеевых соединений металлов на клеях ВК-32-200, ВК-3 и ВК-4 приведены ниже.

Свойства клеевых соединений металлов на феноло-каучуковых клеях

Марка клея	Предел прочности при сдвиге кг/см <sup>2</sup>	Предел прочности при равномерном отрыве кг/см <sup>2</sup>	Прочность при неравномерном отрыве кг/см
ВК-32-200 . . . . .	170	170	30
ВК-3 . . . . .	190	200	50
ВК-4 . . . . .	175	170	32

Некоторые конструкционные клеи выпускаются в виде пленок. Применяют такие клеящие пленки с подслоем из жидкого клея той же марки или без подслоя. Пленочные клеи имеют технологические преимущества по сравнению с жидкими клеящими составами. Они рекомендуются при склеивании ровных или слегка изогнутых поверхностей.

Существуют два основных типа пленочных клеев: с подложкой (ткань или сетка из полиамидного или стеклянного волокна) или без подложки.

Свойства жидких и пленочных феноло-каучуковых клеев

Марка клея	Предел прочности при сдвиге, кг/см <sup>2</sup>				
	при -60° С	при 20° С	при 80° С	при 200° С	при 300° С
ВК-32-200					
жидкий . . . . .	180	170	—	70	35
пленочный . . . . .	230	160	—	60	22
ВК-3					
жидкий . . . . .	350	170	110	60	—
пленочный . . . . .	300	150	100	50	—
ВК-4					
жидкий . . . . .	280	150	—	70	30
пленочный . . . . .	240	125	—	60	35*

\* При 275° С.

Прочностные характеристики жидких и пленочных клеев различны.

Длительная прочность клеевых соединений на феноло-каучуковых клеях характеризуется данными, приведенными ниже:

Длительная прочность клеевых соединений на феноло-каучуковых клеях

Марка клея	Напряжение при сдвиге кг/см <sup>2</sup>	Время до разрушения ч
ВК-32-200 . . . . .	140	500
ВК-3 . . . . .	80	500
ВК-4 . . . . .	130	500

Показатели усталостной прочности клеевых соединений дюралюминия приведены ниже:

Усталостная прочность при сдвиге клеевых соединений дюралюминия на феноло-каучуковых клеях\*

Марка клея	Максимальное напряжение цикла**, кг/см <sup>2</sup>		
	на базе 10 <sup>5</sup> циклов	на базе 10 <sup>6</sup> циклов	на базе 10 <sup>7</sup> циклов
ВК-32-200 . . . . .	75	55	37
ВК-3 . . . . .	90	82	75
ВК-4 . . . . .	95	85	75

\* Испытания проводили при 20° С.

\*\* Коэффициент асимметрии цикла  $r = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} = 0,1$ .

Прочность клеевых соединений дюралюминия на феноло-каучуковых клеях при сдвиге и равномерном отрыве при температурах от  $-60$  до  $+300^{\circ}\text{C}$  показана на рис. 1 и 2.

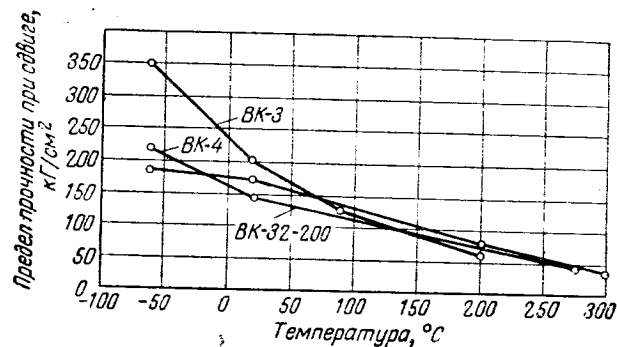


Рис. 1. Зависимость предела прочности при сдвиге клеевых соединений на феноло-каучуковых клеях от температуры.

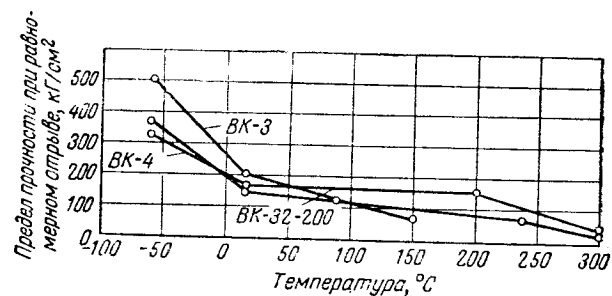


Рис. 2. Зависимость предела прочности при равномерном отрыве клеевых соединений на феноло-каучуковых клеях от температуры.

Клеевые соединения на феноло-каучуковых клеях хорошо выдерживают длительное воздействие температуры до  $200^{\circ}\text{C}$ . Данные о водостойкости клеевых соединений на этих клеях приведены ниже:

Клей	Снижение прочности после воздействия воды в течение 30 суток, %
ВК-32-200 . . . . .	0
ВК-3 . . . . .	15-20
ВК-4 . . . . .	5-7

Изменение прочности клеевых соединений при сдвиге после выдержки в течение 1 года в различных условиях характеризуется следующими данными:

Марка клея	Склеиваемый материал	Температура испытания, °C	Уменьшение прочности при хранении, %	
			на открытой площадке	в неотапливаемом складе
ВК-32-200	Сталь 30ХГСА	20	10	5
		200	15	0
ВК-3	Дюралюминий	20	0	0
		80	10	10
ВК-4	Сталь 30ХГСА	20	10	10
		275	0	0

Данные о прочности клеевых соединений на клее ВК-32-2 теплоизоляционного материала с дюралюминием или сталью при различных температурах приведены ниже:

Температура испытания, °C . . . . .	55	20	60	150	200	300
Прочность при отрыве, кг/м . . . . .	49	73	20	15	23*	32*

\* Образцы разрушаются по теплоизоляции.

При длительном нагревании клеевых соединений на клее ВК-32-2 при  $150^{\circ}\text{C}$  прочность при отрыве увеличивается:

Продолжительность нагревания при $150^{\circ}\text{C}$ , мин	Прочность при отрыве, кг/м	Характер разрушения
10	11	По клею
30	28	18% по теплоизоляции
60	34	100% » »
180	46	100% » »

Клеевые соединения стекловолоконистых материалов с металлом на клее ВК-32-2 устойчивы к действию керосина, бензина, минерального масла, воды и могут длительно (до 200 ч) работать при  $150-200^{\circ}\text{C}$ .

Прочность клеевых соединений теплоизоляции с металлом после действия минерального масла, керосина, бензина, воды и повышенных температур

Условия испытаний	Прочность при отдире $кг/см^2$		Характер разрушения
	при 20° С	при 200° С	
Исходные данные	63	13	По клею
После нагревания при 150—200° С в течение 200 ч	20	20	100% по теплоизоляции
После действия в течение 5 суток бензина	56	13	По клею
керосина	53	14	То же
минерального масла	53	12	»
После действия воды в течение 10 суток	14	10	»
непрогретые образцы после нагревания при 150° С в течение 3 ч	60	54	»

Феноло-поливинилацетальные клеи

Клеи на основе феноло-формальдегидных смол, модифицированных различными ацетальными поливинилового спирта, представляют собой высокопрочные клеящие композиции, основным назначением которых является склеивание металлов и неметаллических материалов в силовых конструкциях.

Феноло-поливинилацетальные клеи выпускаются следующих марок: БФ-2, БФ-4, БФ-6, БФР-2, ВС-10Т и ВС-350.

Клеи типа БФ (БФ-2 и БФ-4) представляют собой композиции, полученные путем совмещения резольной феноло-формальдегидной смолы с поливинилбутиралем. Клей БФ-2 обладает более высокой теплостойкостью по сравнению с клеем БФ-4. К клеям этого типа относится клей БФ-6, который применяется для склеивания тканей и некоторых других неметаллических материалов.

Значительно более теплостойки клеи БФР-2, а также композиции ВС-10Т и ВС-350. Основой последних является феноло-формальдегидная смола, модифицированная смесью поливинилацетата с алкоксисилоном.

Феноло-поливинилацетальные клеи представляют собой однокомпонентные системы (в виде готовых растворов), отверждающиеся при нагревании.

Режимы склеивания этими клеями и свойства клеевых соединений на их основе приведены в таблицах на стр. 475.

Технологические режимы склеивания феноло-поливинилацетальными клеями

Марка клея	Давление $кг/см^2$	Температура склеивания °С	Продолжительность выдержки под давлением мин	Расход клея		Жизнеспособность месяцы
				количество наносимых слоев	на каждый слой $г/см^2$	
БФ-2	5—20	140—160	55—60	1—2 и более	150—200	6
БФ-4	5—20	140—160	55—60	То же	150—200	6
ВС-10Т	0,5—5,0	180±5	60	1—2	150—300	6
ВС-350	0,5—5,0	200±5	60	1—2	150—300	6
БФ-6	0,1—0,5	150—180	15—90 сек	—	—	6
БФР-2	15	180	2	1—2	150—200	6

Свойства клеевых соединений дюралюминия на феноло-поливинилацетальных клеях

Марка клея	Технические условия	Температура отверждения °С	Предел прочности при сдвиге $кг/см^2$	Предел прочности при равномерном отрыве $кг/см^2$	Прочность при неравномерном отрыве $кг/см^2$	Основные области применения
БФ-2	—	120—140	220	350	30	Склеивание сталей, алюминиевых и титановых сплавов, пластмасс и других материалов
БФ-4	ТУ МХП 1367—49	120—140	220	320	—	То же
ВС-10Т	ТУ УХП 285—62	180	170	600	8—10	Склеивание металлов и неметаллических материалов в конструкциях, работающих при температурах до 300° С
ВС-350	ВТУ 35ХП 390—61	180	180	360	10—12	Склеивание металлов и неметаллических материалов в конструкциях, работающих при температурах до 350° С

Прочность клеевых соединений на клею БФ-2 после выдержки в течение 500 ч в масле и спирто-глицериновой смеси не изменяется; действие бензина (500 ч) приводит к уменьшению прочности на 3%.

Клеи БФ используют и в виде пленок.

Клей БФР-2 представляет собой феноло-формальдегидную смолу резольного типа, модифицированную поливинилбутиральфурфуралем.

Клей имеет вязкость по ВЗ-1 70—90 сек, сухой остаток 14—18%. Предел прочности при сдвиге клеевых соединений дюралюминия при 20° С составляет 20  $кг/см^2$ ; при 200° С — около 100  $кг/см^2$ .

Данные о длительной прочности и усталостные характеристики феноло-поливинилацетальных клеев приведены ниже.

Длительная прочность клеевых соединений на феноло-поливинилацетальных клеях

Марка клея	Напряжение при сдвиге при 20° С кг/см <sup>2</sup>	Время до разрушения ч
БФ-2, БФ-4 . . . . .	60	2000
BC-10T . . . . .	100	300
BC-350 . . . . .	40*	5

\* При 350° С.

Усталостная прочность при сдвиге клеевых соединений на феноло-поливинилацетальных клеях

Марка клея	Склеиваемый материал	Максимальное напряжение цикла кг/см <sup>2</sup>		
		на базе 10 <sup>5</sup> циклов	на базе 10 <sup>6</sup> циклов	на базе 10 <sup>7</sup> циклов
БФ-2 . . . . .	Дюралюминий . . . . .	36	32	28
BC-10T . . . . .	Сталь 30ХГСА . . . . .	108	86	70
BC-350 . . . . .	Сталь 30ХГСА . . . . .	108	92	80

Прочность клеевых соединений при сдвиге и равномерном отрыве при различных температурах иллюстрируется данными рис. 3 и 4.

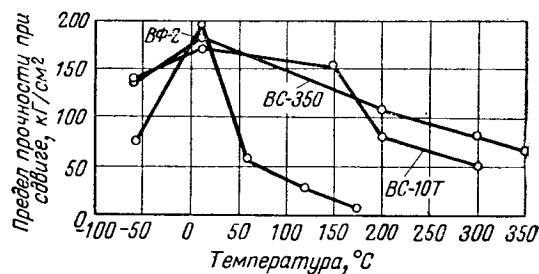


Рис. 3. Зависимость предела прочности при сдвиге клеевых соединений на фенольно-поливинилацетальных клеях от температуры.

Нагревание при 60° С в течение 500 ч не приводит к уменьшению прочности при сдвиге клеевых соединений на клее БФ-2.

Прочность клеевых соединений на клее BC-10T не изменяется после нагревания при 80° С в течение 1800 ч или при 200° С в течение 200 ч.

Выдержка в течение 200 ч при 200° С и 5 ч при 350° С не изменяет прочности при сдвиге клеевых соединений стали на клее BC-350. Длительное старение при 200° С существенно не влияет на прочность при сдвиге клеевых соединений на клее БФР-2 (рис. 5).

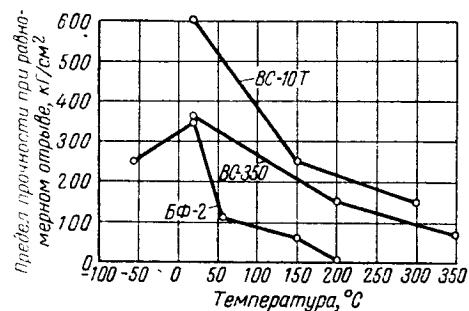


Рис. 4. Зависимость предела прочности при равномерном отрыве клеевых соединений на фенольно-поливинилацетальных клеях от температуры.

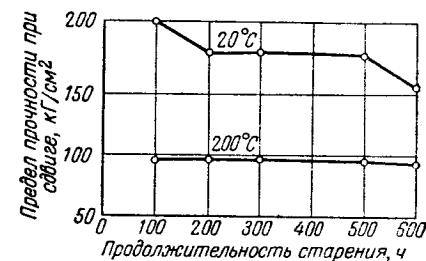


Рис. 5. Зависимость предела прочности при сдвиге клеевых соединений на клее БФР-2 от продолжительности выдержки при 200° С.

Данные о водостойкости клеевых соединений на этих клеях приведены ниже:

	Снижение прочности после воздействия воды в течение 30 суток %
БФ-2, БФ-4 . . . . .	0
BC-10T . . . . .	45
BC-350 . . . . .	15

Ниже приведены данные об изменении прочности клеевых соединений стали 30ХГСА на клеях BC-10T и BC-350 при хранении в течение 1 года:

Марка клея	Температура испытания °С	Уменьшение прочности при хранении %	
		на открытой площадке	в неотапливаемом помещении
BC-10T	20	20	15
	300	10	5
BC-350	20	30	20
	350	5	5



### Клеи на основе резорцино-формальдегидных смол

Клеи на основе резорцино-формальдегидных смол характеризуются способностью быстро отверждаться при нормальных температурах в присутствии кислых и щелочных катализаторов. Способность клеев этого типа переходить в неплавкое и нерастворимое состояние в присутствии щелочных катализаторов имеет особое значение при склеивании древесины, так как в этом случае исключается опасность гидролиза.

Резорцино-формальдегидные клеи предназначены для склеивания древесины, различных пористых материалов, а также для производства фанеры повышенной водостойкости, древесных слоистых пластиков, древесно-стружечных плит и строительных конструкций.

Резорцино-формальдегидный клей ФР-12 (ТУ М-758—57) состоит из резорцино-формальдегидной смолы ФР-12 (100 вес. ч.) и отвердителя — параформальдегида (13,5 вес. ч.). Для получения клея смолу и отвердитель тщательно перемешивают до образования однородного раствора. Жизнеспособность клея не менее 2 ч. Вязкость смолы (без отвердителя) по вискозиметру ФЭ-36 (сопло № 2) при 20°С составляет 8—30° ФЭ. Прочность клеевого соединения древесины при сдвиге — не менее 130 кг/см<sup>2</sup>.

### Эпоксидные клеи

**Эпоксидные клеи холодного отверждения.** В качестве отвердителей эпоксидных клеев холодного отверждения используют различные алифатические амины. Наиболее широко применяют гексаметилендиамин и полиэтиленполиамины. Отвердителями также могут служить низкомолекулярные полиамиды, образующиеся при взаимодействии жирных кислот с алифатическими диаминами.

К эпоксидным клеям, отверждающимся при нормальных температурах, относятся клеи Л-4, ВК-9 и КЛН-1. Эти клеи готовят на месте потребления смешением компонентов.

### Режимы склеивания эпоксидными клеями холодного отверждения

Марка клея	Давление кг/см <sup>2</sup>	Температура °С	Продолжительность выдержки под давлением	Расход клея		Жизнеспособность
				количество наносимых слоев	на каждый слой г/м <sup>2</sup>	
Л-4 . . . . .	0,1—3,0	20	96	1	200—250	45—90 мин
ВК-9 . . . . .	0,1—0,5	18—23	24	1	160—300	2,5 ч
КЛН-1* . . . . .	0,5—2,0	18—25	24	1	150—250	2 ч

\* Оптимальная прочность клеевых соединений достигается через 7—10 суток после склеивания.

Основные области применения — склеивание металлов и неметаллических материалов преимущественно в конструкциях несложного назначения. Состав и свойства эпоксидных клеев холодного отверждения, а также свойства клеевых соединений на их основе приведены ниже.

### Свойства эпоксидных клеев холодного отверждения

Марка клея	Вид клея	Предел прочности при сдвиге кг/см <sup>2</sup>	Предел прочности при равномерном отрыве кг/см <sup>2</sup>	Прочность при неравномерном отрыве кг/см	Основные области применения
Л-4	Пастообразная масса	60	145	—	Склеивание металлов в конструкциях несложного назначения; контроль болтов
ВК-9	Вязкая жидкость	150	205	25	Склеивание сталей, алюминиевых и титановых сплавов
КЛН-1	Пастообразная масса	149	250	20	Склеивание металлов, конструкционных неметаллических материалов и для изготовления клееварных соединений

Клеевые соединения на клее ВК-9, который используется в ряде случаев как конструкционный клей, при напряжении сдвига 70 кг/см<sup>2</sup> выдерживают до разрушения 500 ч; клеевые соединения дюралюминия на клее Л-4 при напряжении сдвига 15 кг/см<sup>2</sup> выдерживают без разрушения 3 · 10<sup>6</sup> циклов.

Показатели усталостной прочности при сдвиге клеевых соединений дюралюминия (при 20°С) на эпоксидных клеях Л-4 и ВК-9 приведены ниже:

Максимальное напряжение кг/см <sup>2</sup>	напряжения цикла,	Л-4	ВК-9
		на базе 10 <sup>2</sup> циклов . . . . .	на базе 10 <sup>6</sup> циклов . . . . .
» » 10 <sup>2</sup> циклов . . . . .	» » 10 <sup>6</sup> циклов . . . . .	25	50
» » 10 <sup>6</sup> циклов . . . . .	» » 10 <sup>7</sup> циклов . . . . .	18	40
» » 10 <sup>7</sup> циклов . . . . .		10	30

Изменение прочности клеевых соединений при сдвиге и равномерном отрыве в зависимости от температуры испытания приведено на рис. 6 и 7.

После выдержки в течение 30 суток в воде прочность клеевых соединений дюралюминия на клеях Л-4 и ВК-9 уменьшается на 40 и 20% соответственно.

Эпоксидные клеи горячего отверждения. К клеям горячего отверждения относятся клеи ВК-1, ВК-1М, ВК-1МС, Эпоксид П и ПР, К-153, ВК-32-ЭМ, ФЛ-4С и ВК-7.

Клеи горячего отверждения отличаются от полимеризующихся без нагревания эпоксидных клеевых композиций более высокими

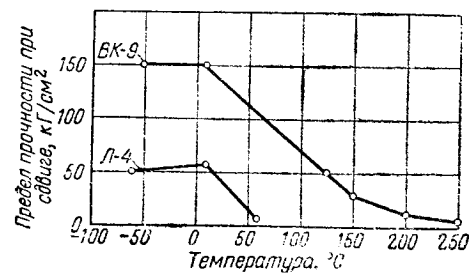


Рис. 6. Зависимость предела прочности при сдвиге клеевых соединений на эпоксидных клеях холодного отверждения от температуры.

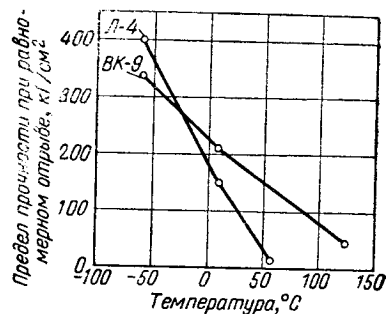


Рис. 7. Зависимость предела прочности при равномерном отрыве клеевых соединений на эпоксидных клеях холодного отверждения от температуры.

прочностными характеристиками, повышенной теплостойкостью и могут использоваться для изготовления клеевых конструкций силового назначения из металлов и неметаллических материалов. Свойства этих клеев приведены в таблицах на стр. 481, а также на рис. 8 и 9.

#### Режимы склеивания эпоксидными клеями горячего отверждения

Марка клея	Давление кг/см <sup>2</sup>	Температура склеивания °C	Продолжитель- ность выдержи под давлением ч	Расход клея		Жизнеспособность ч
				количество наносимых слоев	на каждый слой г/м <sup>2</sup>	
ВК-1	0,3—3,0	120—160	5—1	1	200—250	72
ВК-1М	0,5—1,0	120—200	3	1	250—350	2
ВК-1МС	0,5—1,0	120	3	1	150—200	2
Эпоксид						
П и ПР	0,3—3,0	180±5	1	1	150—200	1 год
ВК-32-ЭМ	0,3—3,0	155±5	1	1	200—250	24
К-153	1,5—5,0	20	18	1	200—250	1
		100	4			
ФЛ-4С	5	80—140	18 при 20° С и 4 при 100° С	2	150—300	8
ВК-7	0,5—1	205±5 155±5 175±5	1 5 12	1		2 мес.

#### Свойства эпоксидных клеев горячего отверждения

Марка клея	Вид клея	Предел прочности при сдвиге кг/см <sup>2</sup>	Предел прочности при равно мерном отрыве кг/см <sup>2</sup>	Основные области применения	Примечание
ВК-1	Вязкотекучая масса	150	740	Клеевые, клеесварные и клеезольные соединения стали, алюминиевых и титановых сплавов и стеклотекстолитов	Готовится на месте потребления сменением компонентов
ВК-1М	Пастообразная масса	170	240	То же	То же
ВК-1МС	Вязкая жидкость	210	750	Клеесварные соединения алюминиевых, титановых сплавов и стали	»
Эпоксид П и ПР	Пруток или порошок	210	445	Склеивание металлов между собой и со стеклотекстолитами	Готовая смесь компонентов
ВК-32-ЭМ	Пастообразная масса	150	500	Склеивание металлов и стеклотекстолитов	Готовится на месте потребления сменением компонентов
К-153	Вязкая масса	135	100	Склеивание металлов, стеклотекстолитов, древесных материалов, резин и других материалов	То же
ФЛ-4С	Жидкий клей	105	165	Клеесварные соединения алюминиевых сплавов	»

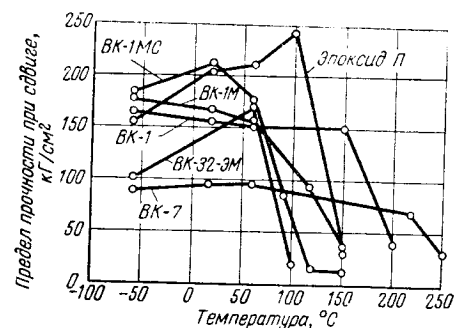


Рис. 8. Зависимость предела прочности при сдвиге клеевых соединений на эпоксидных клеях горячего отверждения от температуры.

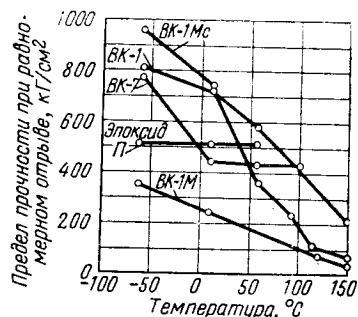


Рис. 9. Зависимость предела прочности при равномерном отрыве клеевых соединений на эпоксидных клеях горячего отверждения от температуры.

**Прочность при неравномерном отрыве клеевых соединений на эпоксидных клеях горячего отверждения**

Марка клея	Прочность при неравномерном отрыве, кг/см			
	при -60° С	при 20° С	при 60° С	при 150° С
ВК-1 . . . . .	20	20	16	15
ВК-1М . . . . .	12	16	11	14
ВК-1МС . . . . .	17	32	30	4
Эпоксид П и ПР . . . . .	—	10	—	32
ВК-32-ЭМ . . . . .	12	15	10	—
ФЛ-4С . . . . .	—	17	8	—
ВК-7 . . . . .	9	11	8	6*

\* При 250° С.

**Длительная прочность клеевых соединений на эпоксидных клеях горячего отверждения**

Марка клея	Напряжение при сдвиге, кг/см <sup>2</sup>	Время до разрушения, ч	Марка клея	Напряжение при сдвиге, кг/см <sup>2</sup>	Время до разрушения, ч
ВК-1 . . . . .	110	500	ВК-32-ЭМ . . . . .	95	180
ВК-1М . . . . .	80	500	ФЛ-4С . . . . .	30	389
ВК-1МС . . . . .	85	500	ВК-7 . . . . .	50	180
Эпоксид П и ПР . . . . .	96	100			

**Усталостная прочность при сдвиге клеевых соединений дюралюминия на эпоксидных клеях горячего отверждения**

Марка клея	Максимальное напряжение цикла, кг/см <sup>2</sup>		
	на базе 10 <sup>5</sup> циклов	на базе 10 <sup>6</sup> циклов	на базе 10 <sup>7</sup> циклов
ВК-1 . . . . .	62	53	45
ВК-1М . . . . .	62	52	40
ВК-1МС . . . . .	60	52	50
Эпоксид П и ПР . . . . .	70	48	25
ВК-32-ЭМ . . . . .	75	55	37
ФЛ-4С . . . . .	41	34	25
ВК-7 . . . . .	86	73	60

Прочность клеевых соединений на клее ВК-1 не снижается после нагревания при 150° С в течение 300 ч; клеевые соединения на клее ВК-1М устойчивы при 150° С в течение 100 ч, а на клее ВК-1МС — в течение 500 ч. После нагревания при 65° С в течение 300 ч прочность клеевых соединений на клее ФЛ-4С практически не меняется.

Не снижаются показатели прочности при сдвиге клеевых соединений на клеях К-153 и Эпоксид П после действия температуры 100° С в течение 500 ч.

При хранении клееных изделий из дюралюминия на клее Эпоксид П или ПР в течение года на открытой площадке прочность при сдвиге при 20° С уменьшается на 15%, а при 100° С на 30%; при хранении в неотопляемом складе снижение прочности составляет соответственно 10 и 25%.

**Полиуретановые клеи**

Клеи на основе различных полиуретанов обладают хорошей адгезией к большинству материалов и применяются для склеивания как при нормальной температуре, так и при нагревании. Выпускаются следующие марки полиуретановых клеев: ПУ-2, ПУ-2Б, ПУ-2М, ВК-5 и ВК-11.

Для изготовления клеев применяются компоненты, образующие при смешении полиуретаны: гидроксилсодержащие полиэфиры и полиизоцианаты.

Назначение клеев на основе полиизоцианатов и полиэфиры — склеивание металлов и неметаллических материалов. Свойства полиуретановых клеев приведены в таблице на стр. 485.

## Свойства клеевых соединений на полиуретановых клеях

Марка клея	Вид клея	Предел прочности клеевых соединений при 20° С, кг/см <sup>2</sup>		Прочность при равномерном отрыве, кг/см	Основные области применения
		при сдвиге	при равномерном отрыве		
ПУ-2	Пастообразная масса	140—185	350	30	Склеивание металлов, пластмасс, органического стекла, древесины и других материалов
ВК-5	Жидкий	110	220	25	Склеивание металлов, стеклопластиков

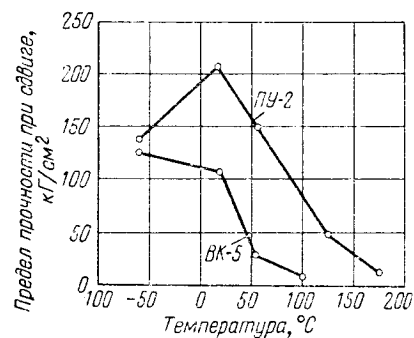


Рис. 10. Зависимость предела прочности при сдвиге клеевых соединений на полиуретановых клеях от температуры.

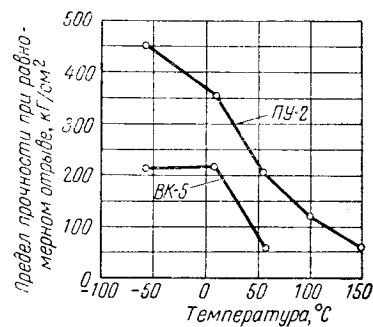


Рис. 11. Зависимость предела прочности при равномерном отрыве клеевых соединений на полиуретановых клеях от температуры.

Режимы склеивания полиуретановыми клеями ПУ-2 и ВК-5 приведены ниже:

	ПУ-2	ВК-5
Давление, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	0,5—5,0	2,0
Температура склеивания, °С . . . . .	110 ± 5 *	18—25
Продолжительность выдержки под давлением, ч . . . . .	3—4	24
Расход клея		
количество наносимых слоев . . . . .	1	1
расход клея на каждый слой, г/м <sup>2</sup> . . . . .	200—250	100—200
Жизнеспособность, ч, не менее . . . . .	2	5

\* Или при 20° С в течение 24 ч.

Полиуретановые клеи ПУ-2 и ПУ-2Б применяются также для склеивания органического стекла с органическим стеклом и с капроновой и лавсановой тканью.

## Свойства полиуретановых клеев для склеивания органического стекла

Марка клея	Склеиваемые материалы	Предел прочности при сдвиге, кг/см <sup>2</sup>				Режим склеивания			Примечания
		при -60° С	при 20° С	при 80° С	при 120° С	давление, кг/см <sup>2</sup>	температура, °С	продолжительность, ч	
ПУ-2	Органическое стекло СТ-1	—	140	95	—	—	—	—	Расход клея 200—250 г/ч для органического стекла и 750—800 г/м <sup>2</sup> для органического стекла с капроном и лавсаном  После действия температуры 80° С в течение 500 ч и воды в течение 30 суток прочность клеевых соединений не снижается
	Органическое стекло СТ-1 + капрон	—	100	95	1—3	120—70	—	—	
ПУ-2Б	Органическое стекло 2-55 + лавсан	—	220	130	—	—	—	—	—
	Органическое стекло СТ-1	150	230	185	1,5—2,0	20	65+20	24	—
	Органическое стекло СТ-1 + капрон	130	120	90	—	—	—	—	—

## Свойства полиуретановых клеев для приклеивания тканей и декоративно-облицовочных материалов к металлам и фанере

Марка	Вид клея	Склеиваемые материалы	Прочность при отрыве, кг/см			Жизнеспособность	Режим склеивания		Расход клея, г/м <sup>2</sup>
			при -60° С	при 20° С	при 60° С		давление, кг/см <sup>2</sup>	температура, °С	
ВК-11	Жидкий	Павинол + фанера	120—130	100—110	60—75	6—8 ч	Прикатывается валиком	20	150—200 (2 слоя)
			30—120	6—110	30—60				
ПУ-2М	Легкоподвижная масса	Павинол + фанера	20	70	50	1 сутки	Контактное	24	175—300
			—	—	—				

Клей ПУ-2М предназначен для приклеивания декоративно-отделочных материалов типа павинол к фанере.

Данные о прочности клеевых соединений на клеях ПУ-2 и ВК-5 при неравномерном отрыве, длительной и усталостной прочности приведены ниже. Зависимость прочностных показателей от температуры показана на рис. 10 и 11.

	ПУ-2	ВК-5
Прочность при неравномерном отрыве, кг/см		
при -60° С . . . . .	20	—
» 20° С . . . . .	30	25
» 60° С . . . . .	20	15
Длительная прочность при 20° С		
напряжение при сдвиге, кг/см <sup>2</sup> . . . . .	100	40
время до разрушения, ч . . . . .	2000	30
Максимальное напряжение цикла, кг/см <sup>2</sup>		
на базе 10 <sup>5</sup> циклов . . . . .	60	50
» » 10 <sup>6</sup> циклов . . . . .	43	35
» » 10 <sup>7</sup> циклов . . . . .	26	20

Клеевые соединения на клею ПУ-2 после выдержки в воде в течение 30 суток теряют 15—20% своей прочности, на клею ВК-5 — 6%. Уменьшение прочности таких соединений при хранении в течение 1 года в различных условиях показано ниже:

Марка клея	Температура испытания, °С	Уменьшение прочности при хранении, %	
		на открытой площадке	в неотапливаемом складе
ПУ-2	20	0	0
	60	15	10
ВК-5	20	25	20
	60	35	30

#### Клеи на основе мочевино-формальдегидных смол

Продукты конденсации мочевины с формальдегидом являются наиболее распространенными клеевыми смолами для склеивания древесины, фанеры и других древесных материалов.

По сравнению с феноло-формальдегидными, мочевино-формальдегидные клеи отличаются светостойкостью и значительно меньшей токсичностью; однако они менее устойчивы к действию воды, атмосферных условий и имеют более низкую механическую прочность.

Мочевино-формальдегидные клеи представляют собой, как правило, двухкомпонентные системы, состоящие из смолы и отвердителя.

#### Свойства клеевых мочевино-формальдегидных смол

Показатели	МФ-17	МФ	МФС-1	М-4	М-48	М-60	М-70	МФСМ	
								59—61	61—70
Концентрация, % . . . . .	Не менее 70	Не менее 65	55—60	48—50	57—63	67—70	59—61	61—70	60—2 40
Коэффициент рефракции	1,475—1,500	1,465—1,468	1,440—1,450	1,417—1,425	1,448—1,452	1,470—1,475	1,448—1,452	1,458—1,472	1,448—1,452
Вязкость по ВЗ-4, сек . . . . .	30—150 *	30—150 *	40—60	13—20	90—240	60—300	20—90	60—2 40	60—2 40
Содержание свободного формальдегида, % . . . . .	2,5—3,5	3—4	1,0—1,2	0,9—1,2	1,0—2,5	1,5—2,5	0,8—1,0	1,0—1,2	1,0—1,2
Жизнеспособность с 1 % хлористого аммония, ч	24—48	2—15	12—24	2,5—4	2—8	0,5—2	10—30	10—30	10—30
Продолжительность от- верждения с 1 % хлори- стого аммония, сек . . . . .	90—120	60—100	70—90	55—70	50—65	30—50	—	60—100	60—100
Срок хранения, месяцы . . . . .	4	2	1,5 суток	12	2	3—4	2	1—1,5	2

В качестве отвердителей используют молочную кислоту, сульфонафтеновые кислоты (контакт Петрова) и аммонийные соли сильных кислот. Скорость отверждения зависит от природы отвердителя, его количества и температуры отверждения. При рН=6—5,5 смолы отверждаются при повышенных температурах; при рН=3—5 отверждение происходит при обычной температуре.

Для приготовления клеев применяются различные мочевино-формальдегидные смолы, отличающиеся рецептурой и технологией изготовления.

Широко используемая мочевино-меламино-формальдегидная смола ММС представляет собой сиропообразную жидкость светлого или желтоватого цвета, содержащую  $60 \pm 2\%$  сухих веществ. Смола должна удовлетворять следующим требованиям:

Вязкость по ВЗ-4, мин . . . . .	1,5—4,0
Содержание свободного формальдегида, % . . . . .	0,5—1,5
рН . . . . .	6,5—7,5
Срок хранения при 20° С, месяцы . . . . .	3—4

Состав и свойства мочевино-формальдегидных клеев

Марка клея	Мочевино-формальдегидная смола		Отвердитель		Жизнеспособность клея ч	Основные области применения
	марка	количество, вес. ч.	название	количество, вес. ч.		
К-17*	МФ-17	100	Щавелевая кислота	7,5—22,0	3—5	Склеивание фанеры и мебели (холодное и горячее)
			Хлористый аммоний	1,0—1,2	24—48	
МФ	МФ	100	То же	1,0	2—15	То же
МФС-1	МФС-1	100	»	0,5—1,0	12—24	
М-4	М-4	100	»	0,5—1,0	24	Склеивание фанеры и мебели при нагревании
М-48	М-48	100	»	1,0	2,5—4,0	
М-60	М-60	100	»	0,5—1,0	2—8	Склеивание древесины (холодное и горячее)
М-70	М-70	100	»	0,5—1,0	0,5—2,0	
МФСМ	МФСМ	100	»	1,0	10—30	Склеивание древесины, фанеры и мебели при нагревании
			»			

\* Наполнитель — древесная мука (8—10% от массы смолы)

Смола предназначена для склеивания методом горячего прессования фанеры, фанерных плит, деталей и узлов мебели, музыкальных инструментов и других изделий из древесины с повышенной водостойкостью. Для склеивания строительных конструкций из древесины может быть использовано нагревание в поле токов высокой частоты. Температура склеивания смолой ММС колеблется в пределах 100—140° С. При склеивании без нагревания к смоле добавляется хлористый аммоний в количестве 0,5—1,0% от массы смолы.

Прочность клеевых соединений древесины на смоле ММС при скалывании в сухом состоянии составляет 21—26 кг/см<sup>2</sup>, после выдержки в воде в течение 24 ч — 23,5—28 кг/см<sup>2</sup> и после кипячения в воде (1 ч) — 15—22 кг/см<sup>2</sup>.

Свойства клеевых мочевино-формальдегидных смол приведены в таблице на стр. 487, состав и свойства мочевино-формальдегидных клеев — в таблице на стр. 488.

#### Клеи на основе кремнийорганических соединений

Клеевые композиции на основе кремнийорганических соединений отличаются высокой теплостойкостью, достигающей 1000° С, и предназначаются для склеивания металлов и таких неметаллических материалов, как стекловолокнистая теплоизоляция, а также полисилоксановых материалов.

К кремнийорганическим клеям относятся клеи ВК-2, ВК-8, ВКТ-2, ВКТ-3, КТ-15 и МАС-1, ВК-10.

Клеи ВК-2 и ВК-8 представляют собой готовые композиции на основе кремнийорганической смолы и минерального наполнителя, применяемые для склеивания металлов и теплостойких неметаллических материалов. Клеевые соединения на кремнийорганических клеях ВК-2 и ВК-8 обладают следующими свойствами (см. также рис. 12):

	ВК-2 ТУ ХП № 35-497-62	ВК-8 АМТУ № 503-63
Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>		
при сдвиге . . . . .	90	155
» равномерном отрыве	220	215
Прочность при неравномерном отрыве, кг/см . . . . .	8—9	13—15

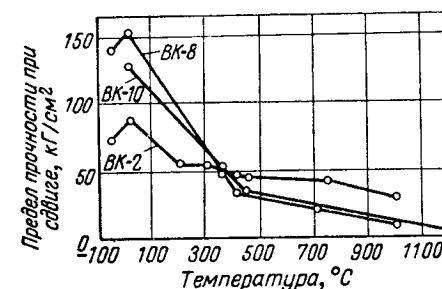


Рис. 12. Зависимость предела прочности при сдвиге клеевых соединений на клеях ВК-2, ВК-8 и ВК-10 от температуры.

Режимы склеивания клеями ВК-2 и ВК-8 приведены ниже:

	ВК-2	ВК-8
Давление, $\text{кг/см}^2$ . . . . .	8—15	8—15
Температура склеивания, $^{\circ}\text{C}$ . . . . .	200±5	180±5
Продолжительность выдержки под давлением, ч . . . . .	1	3
Расход клея		
количество слоев . . . . .	2	2
расход клея на 1 слой, $\text{г/м}^2$ . . . . .	150—200	150—200
Жизнеспособность, месяцы . . . . .	12	6

После выдержки в воде в течение 30 суток прочность при сдвиге клеевых соединений (при  $20^{\circ}\text{C}$ ) на клеях ВК-2, ВК-8 и ВК-10 снижается соответственно на 8, 13—15 и 10%.

Предел прочности при сдвиге клеевых соединений стали на клею ВК-2 после 1 года хранения на открытой площадке уменьшается на 10% (испытание при  $20^{\circ}\text{C}$ ) и на 20% (испытание при  $425^{\circ}\text{C}$ ).

Клеи ВКТ-2 и ВКТ-3 представляют собой смеси модифицированной кремнийорганической смолы и сополимера бутилметакрилата с метакриловой кислотой в органических растворителях. Клеи предназначены для приклеивания стекловолоконной теплоизоляции к металлам.

ВКТ-3 в отличие от ВКТ-2 содержит наполнитель и готовится путем введения в композицию ВКТ-2 наполнителя непосредственно перед употреблением.

Клеевые композиции ВКТ-2 и ВКТ-3 должны удовлетворять следующим требованиям:

	ВКТ-2	ВКТ-3
Внешний вид . . . . .	Однородный опалесцирующий раствор от желтого до темно-коричневого цвета	Вязкий продукт белого цвета
Сухой остаток, % . . . . .	40—45	—
Вязкость по ВЗ-4, сек . . . . .	6—15	—
Жизнеспособность . . . . .	Не менее 6 месяцев	45—60 мин

Клеи отверждаются при нормальной температуре без применения давления. Свойства клеев приведены в таблицах на стр. 491.

Процесс склеивания состоит из следующих операций: открытая выдержка клеевого слоя на воздухе в течение 5—10 мин, склеивание поверхностей прижимом теплоизоляции с помощью ролика или другим способом с последующей выдержкой склеенных поверхностей на воздухе.

Режимы склеивания и свойства кремнийорганических клеев ВКТ-2 и ВКТ-3

Марка клея	Технические условия	Прочность при отрыве (в $\text{кг/см}^2$ ) клеевого соединения стекловолоконной теплоизоляции и алюминиевого сплава Д16 или стали			Режим склеивания			Расход клея $\text{г/м}^2$
		при $-60^{\circ}\text{C}$	при $20^{\circ}\text{C}$	при $150^{\circ}\text{C}$	давление $\text{кг/см}^2$	температура $^{\circ}\text{C}$	продолжительность ч	
ВКТ-2	ТУ УХП № 116—59	20	45	15	Контактное	15—30	5—24	200—300
ВКТ-3	ТУ УХП № 116—59	20	60	20	»	15—30	5—24	200—300

Кремнийорганические клеи КТ-15 и МАС-1 предназначены для крепления вулканизированных полисилоксановых резин к металлам. Клей КТ-15 состоит из 60—70%-ного раствора кремнийорганической смолы в ксилоле и отвердителя. Жизнеспособность смеси компонентов — 3 месяца. Клей МАС-1 также состоит из двух частей: 50%-ного раствора кремнийорганического продукта в смеси толуола и бутанола (1:1) и отвердителя — перекиси бензоила. Отвердитель добавляется перед употреблением. Жизнеспособность композиции, содержащей отвердитель, составляет 1 месяц.

Клеевые соединения на клеях КТ-15 и МАС-1 выдерживают длительное воздействие температур 200 и  $250^{\circ}\text{C}$  и кратковременно  $300^{\circ}\text{C}$  (15 ч).

Свойства клеев КТ-15 и МАС-1 приведены ниже.

Свойства кремнийорганических клеев КТ-15 и МАС-1

Марка клея	Температура испытания $^{\circ}\text{C}$	Предел прочности при равномерном отрыве клеевых соединений полисилоксановой резины 14р-6 с металлами*, $\text{кг/см}^2$		
		сталь 30ХГСА	дюралюминий Д16	титановый сплав ВТ-1
КТ-15	20	6—8	7—11	6—8
	200	5—7	6—10	4—6
МАС-1	20	20,0	21,7	22,1
	200	8,4	11,1	10,9

\* Разрушение образцов происходит по резине.

## КЛЕИ НА ОСНОВЕ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕРОВ

К клеям на основе термопластичных полимеров относятся карбинольный клей, клеи на основе акриловых производных, полиамидов, поливинилацетата и поливинилхлорида, а также резиновые клеи.

## Карбинольный клей

Карбинольный клей представляет собой композицию на основе диметилвинилэтилкарбинола; готовится из карбинольного сиропа (АМТУ 391—57) с добавлением перед отверждением перекиси бензоила. В качестве наполнителя используется портландцемент марки 400. Приготовление клея производится смешением компонентов. Жизнеспособность клея составляет 1,5—2 ч, вязкость по ВЗ-1—160—470 сек. Режим склеивания следующий:

Температура, °С . . . . .	20—25
Давление, $\text{кг/см}^2$ . . . . .	1,5—2
Продолжительность выдержки, ч	
под давлением . . . . .	20—25
после снятия давления . . . . .	72

Карбинольный клей применяется для склеивания металлов, керамики, пластмасс в несилевых конструкциях, работающих при температурах до 60°С. Предел прочности при сдвиге клеевых соединений дюралюминия на карбинольном клее при —60, 20 и 60°С составляет соответственно 50, 120 и 130  $\text{кг/см}^2$ .

## Акриловые клеи

Полимеры производных акриловой и метакриловой кислот являются основой клеев для соединения металлов и неметаллических материалов.

Известны клеи на основе алкилцианакрилата (Циакрин) и клей КС-609, представляющий собой раствор полибутилметакрилата в мономере бутилового эфира метакриловой кислоты.

Циакрин представляет собой композицию, не содержащую растворитель и быстро отверждающуюся при комнатной температуре. Применяется для склеивания металлов, стекла, дерева, резины, пластмасс и других материалов. Склеивание производится при нормальной температуре без катализаторов в течение очень короткого времени: при соединении металла выдержка под давлением составляет 1—3 мин, для стекла 10—20 сек, для дерева 3—5 мин. Давление при склеивании — контактное. Клей хранится в запаянных полиэтиленовых ампулах.

Клеящие свойства Циакрин зависят от природы склеиваемого металла.

## Прочность клеевых соединений металлов на клее Циакрин

Металл	Предел прочности при сдвиге, $\text{кг/см}^2$		
	при —60°С	при 20°С	при 100°С
Дюралюминий (поверхность обработана шкуркой) . . . . .	107	125	78
Сталь 30ХГСА . . . . .	91	147	91
Титановый сплав Т-4 . . . . .	72	185	128

Показатели прочности клеевых соединений дюралюминия при отрыве на клее Циакрин приведены ниже:

	При —60°С	При —20°С	При —10°С
Предел прочности при равномерном отрыве, $\text{кг/см}^2$ . . . . .	200	220	226
Прочность при неравномерном отрыве, $\text{кг/см}$ . . . . .	3	10	7

После действия воды, бензина и минерального масла в течение 10 суток при 20°С прочность клеевых соединений практически не снижается.

Клей марки КС-609 на основе бутилметакрилата предназначен для получения клееварных соединений.

## Состав клея КС-609

Компоненты	ГОСТ или ТУ	Количество вес. ч.
Полибутилметакрилат . . . . .	ВТУ № П-64—60	40
Бутилметакрилат . . . . .	ТУ БУ № 27—52	60
Отвердитель . . . . .	ГОСТ 5855—51	0,5
Кварцевая мука . . . . .	ГОСТ 4417—48	50—100

Для приготовления клея применяется предварительно очищенный от гидрохинона щелочной обработкой мономер бутилметакрилата. В очищенном мономере растворяется полимер бутилметакрилата; полученный прозрачный вязкий раствор пригоден к употреблению в течение 10—12 суток. Отвердитель (диметиланилин) вводят в раствор непосредственно перед употреблением клея. Кварцевая мука предварительно прокаливается при 120°С в течение 3—4 ч. Жизнеспособность композиции с момента введения отвердителя — 5 ч.

Предел прочности клеевых соединений на клее КС-609 при 20°С составляет 78  $\text{кг/см}^2$ , после выдержки в воде в течение 30 суток — 73  $\text{кг/см}^2$ .



## Полиамидные клеи

Немодифицированные полиамиды не обладают хорошими клеящими свойствами. Значительное улучшение клеящих свойств полиамидов достигается обработкой их формальдегидом; образующиеся при этом метилолполиамидные смолы представляют собой продукты с очень высокими показателями клеящих свойств.

На основе метилолполиамидов известны два клея — ПФЭ-2/10 и МПФ-1.

Клей ПФЭ-2/10 представляет собой раствор смолы в смеси спирта и воды. Клей предназначен для склеивания силикатного стекла, кожи, керамики, пластмасс, металлов, бумаги и других материалов.

Клеевые соединения устойчивы к действию масел, бензина, керосина и ограниченно стойки к длительному действию воды.

Клей МПФ-1 представляет собой метилолполиамид, модифицированный полимером резольного типа; он отличается от клея ПФЭ-2/10 более высокой теплостойкостью и предназначен для склеивания металлов (дюралюминий, сталь, магниевые сплавы) между собой, а также с пенопластами, стеклотекстолитами и другими материалами в изделиях, работающих в интервале температур  $\pm 60^\circ\text{C}$ . Выпускается в жидком виде и в виде клеевой пленки.

Свойства полиамидных клеев и режимы склеивания приведены ниже:

	ПФЭ-2/10 ТУ УХП № 288-60	МПФ-1 МРТУ 6-800-61
Концентрация, % . . . . .	25—30	20—27
Вязкость . . . . .	20—60 <i>спз</i>	30—60 <i>сек</i> (по ВЗ-1)
Режим склеивания		
давление, $\text{кг/см}^2$ . . . . .	—	1,0—5,0
температура, $^\circ\text{C}$ . . . . .	—	155 $\pm$ 5
продолжительность, <i>ч</i> . . . . .	—	1
Жизнеспособность, месяцы . . . . .	6 (без отвердителя)	6

## Прочность клеевых соединений дюралюминия на клею МПФ-1

Температура испытания $^\circ\text{C}$	Предел прочности при сдвиге $\text{кг/см}^2$	Предел прочности при равномерном отрыве $\text{кг/см}^2$	Прочность при неравномерном отрыве $\text{кг/см}$
-60	131	482	36
20	175	318	65
60	94	137	42

Клеевые соединения устойчивы к вибрации: при нагрузке  $55 \text{ кг/см}^2$  соединения внахлестку выдерживают  $1,9 \cdot 10^6$  циклов до разрушения. При испытании на длительную прочность (нагрузка

$120 \text{ кг/см}^2$ ) клеевые соединения не разрушаются в течение 160 *ч*. При действии воды или ее паров прочность клеевых соединений значительно снижается; при эксплуатации клеевых изделий, работающих в условиях влажного и тропического климата, торцы клеевых соединений рекомендуется защищать лакокрасочными покрытиями.

## Поливинилацетатная эмульсия

Поливинилацетатная эмульсия нетоксична, удобна для применения, склеивает ряд материалов для облицовки полов и стен и т. п. Поливинилацетатная эмульсия выпускается по ГОСТ 10002—62.

## Перхлорвиниловые клеи

К клеям на основе перхлорвинила относятся ПК-10 и ХВК-2а. Для приклеивания декоративно-облицовочного материала — павинола применяется клей ПК-10, представляющий собой раствор перхлорвиниловой смолы, смолы ЭД-6 и дибутилфталата в смеси этилацетата и ацетона. Жизнеспособность клея — 6 месяцев; вязкость по ВЗ-1 18—22 *сек*; расход клея составляет 150—250 *г/м}^2*. Давление при склеивании создается прикаткой роликом. Данные о прочности клеевых соединений различных материалов на клею ПК-10 приведены ниже:

Склеиваемые материалы	Прочность при отдире, $\text{кг/м}$		
	при $20^\circ\text{C}$	при $60^\circ\text{C}$	при $-60^\circ\text{C}$
Дюралюминий + павинол . . . . .	80—90	100—110	40 *
Магниевый сплав + павинол . . . . .	80—90	100—110	40 *
Фанера + павинол . . . . .	50—60	60—75	12 *

\* Разрушение по павинолу.

Действие температуры  $\pm 60^\circ\text{C}$  в течение 500 *ч* не снижает прочности клеевого соединения. После выдержки в течение 30 суток во влажном воздухе ( $f=98\%$ ) прочность клеевого соединения остается удовлетворительной.

Клей ХВК-2а представляет собой готовый раствор смеси, состоящей из перхлорвиниловой смолы, алкидной смолы, пластификатора и стабилизатора. Применяется для приклеивания хлопчатобумажной ткани к древесине и фанере.

Жизнеспособность клея — 1 год; вязкость по ВЗ-1 15—50 *сек*; расход клея 600—700 *г/м}^2*. Прочность при отдире клеевых соединений с фанерой не менее 40  $\text{кг/м}$ .

## Резиновые клеи

Натуральный и некоторые синтетические каучуки служат основой различных клеевых композиций, назначением которых является склеивание резиновых изделий, крепление резины к металлам, древесине, стеклу и другим материалам.

Резиновые клеи представляют собой растворы каучуков или резиновых смесей в органических растворителях.

Существуют две группы клеев — вулканизирующиеся и невулканизирующиеся. К первой группе относятся клеи на основе термопрена и натурального каучука, представляющие собой растворы указанных полимеров в растворителях. Прочность клеевых соединений на основе этих клеев относительно невелика.

Клеи второй группы, кроме каучуков, содержат добавки вулканизирующих веществ. После вулканизации эти клеи образуют прочные клеевые соединения.

Вулканизация проводится при 140—150 или 25—30° С. В последнем случае в клеевые композиции вводят активаторы и ускорители.

## Клеи на основе полихлоропрена

К резиновым клеям на основе полихлоропрена относятся клеи 88Н, 88НП и 4НБ.

Клеи 88Н и 88НП представляют собой растворы резиновых смесей на основе наирита и бутилфеноло-формальдегидной смолы марки 101 в смеси этилацетата и бензина (в соотношении 1 : 1).

## Режимы склеивания и свойства клеев на основе полихлоропрена

Марка клея	Технические условия	Предел прочности при равномерном отрыве* кг/см <sup>2</sup> , не менее				Прочность при отслаивании* кг/см, не менее		Режим склеивания		
		после выдержки в течение		после выдержки в течение		давление кг/см <sup>2</sup>	температура °С	продолжительность ч		
		24 ч	48 ч	24 ч	48 ч					
88НП	МРТУ 6-07-6022	11	13	2,0	2,5	0,2	18—30	24		
88Н	ТУ МХП УТ № 88—58	11	13	2,0	2,5	0,2	Не ниже 12	24		
4НБ	ТУ УТ № 1017—59	Прочность склеивания губчатой резины Р-29 через 20 мин после склеивания составляет 1,4 кг				Прикалывание роликом		Не ниже 18	20—25 мин	

\* Клеевые соединения вулканизированной резины с дюралюминием или сталью.

Клеи представляют собой вязкие растворы серого цвета с желтоватым оттенком; поставляются в готовом виде.

Клеи предназначаются для приклеивания резины на любой основе к металлу, дереву, стеклу, древесине и для склеивания указанных материалов между собой. Клеевые соединения на клее 88НП пригодны для работы в морской воде. Клеевые пленки не стойки к действию масел и топлив.

Клей 4НБ на основе наиритового каучука марки Б предназначается для склеивания вулканизированных резины и резиноканевых материалов на основе наиритового, натурального, натрийбутадиенового и нитрильного каучуков без последующей вулканизации и невулканизированных резины и резиноканевых материалов.

## Клеи на основе бутадиен-акрилонитрильных каучуков

На основе бутадиен-акрилонитрильных каучуков выпускаются клеи: КР-5-18, КР-5-18р и КР-6-18. Они предназначаются для склеивания масло- и бензостойких резины и приклеивания их к металлам. Режимы склеивания, а также свойства клеевых соединений на этих клеях приведены в таблице на стр. 498.

## Клеи на основе натурального каучука и термопрена

К клеям на основе натурального каучука относятся композиции 4508 и К-4508 (см. таблицу на стр. 499). Вязкость клеев (по методу падающего шарика) составляет 5—10 сек. Применяются для склеивания невулканизированных резины из натурального и натрийбутадиенового каучуков с последующей вулканизацией, а также резины в вулканизированном виде без последующей вулканизации.

Клей термопрен предназначается для склеивания с металлами с подслоем клея 4508 невулканизированных резины из натурального, наиритового и натрийбутадиенового каучуков с последующей вулканизацией.

## Полнизоцианатный клей

Клей Лейконат представляет собой раствор триизоцианата трифенилметана в дихлорэтаноле; применяется для склеивания с металлами невулканизированных резины из нитрильного, наиритового и натурального каучука с последующей вулканизацией. Выпускается по ТУ МХП 2841—52 в виде жидкого раствора.

Склеивание лейконатом производят по режиму вулканизации при 143 ± 2° С. Предел прочности при равномерном отрыве клеевых соединений на этом клее составляет 40 кг/см<sup>2</sup>. Вулканизированная клеевая пленка стойка к действию масел и топлив.

Режимы склеивания и свойства клеев на основе бутадиен-акрилонитрильных каучуков

Марка клея	ТУ	Склеиваемые материалы	Свойства	Показатели прочности	Режим склеивания			Примечание
					давление Г/см <sup>2</sup>	температура °С не ниже	продолжительность ч	
КР-5-18	Раствор резиновой смеси — ТУ № 60361; Раствор смолы — ФР-12 — ТУ № М-758—57	Резина марки 203Б со сталью	Предел прочности при равномерном отрыве, кг/см <sup>2</sup>	После вулканизации при 143±2°С — не менее 48	15	15	48	Клеевое соединение маслостойко
КР-5-18р	То же	Резина марки 203Б	Прочность при расслаивании, кг	После выдержки 48 ч при 20°С (на полоску шириной 2,5 см) <sup>6</sup>	15	15	48	—
КР-6-18	ТУ № 503—61	Невулканизованная резина 3826 или 181	То же	Через 20 мин после склеивания — 2,5 После горячей вулканизации — 6,0 После действия топлива при 20°С в течение 24 ч — 5,0	Контактное	20	8	Клеевые соединения работают при температурах от —60 до +200°С

Клеи на основе натурального каучука и термопрена

Марка клея	ТУ	Вид клея	Склеиваемые материалы	Предел прочности при равномерном отрыве кг/см <sup>2</sup>	Прочность при расслаивании кг	Режим склеивания			Примечание
						давление кг/см <sup>2</sup>	температура °С	продолжительность ч	
4508	ТУ МХП № 1105—50	Жидкий клей	Миткаль или бязь	—	Не менее 3	Контактное	Не ниже 18	Не менее 16	Вулканизованная клеевая пленка не стойка к действию масел и топлив
К-4508	ТУ МХП № 1178-51р	Сухой клей	Миткаль или бязь	—	Не менее 3	»	Не ниже 18	Не менее 16	Клей представляет собой невулканизованную резиновую смесь, которую растворяют в бензине
Термопрен	ТУ НКХП № 351-11	Сухой клей	Вулканизованная резина 2651 со сталью	Не менее 5	—	»	20	8	Листы термопрена измельчают и растворяют в бензине

## ЛИПКИЕ ЛЕНТЫ

Ленты со слоем липкого клея сохраняют длительное время липкость не высыхая и, будучи нанесены на соответствующую поверхность, приклеиваются к различным материалам при легком нажатии рукой. Липкие клеящие слои обычно состоят из эластомера, обеспечивающего когезию клеевой пленки, веществ, придающих необходимую клейкость и различных добавок (пластификаторов, наполнителей, антиоксидантов и т. д.).

Наиболее часто применяются полиизобутилен, этилцеллюлоза и синтетические каучуки.

Основой липких лент являются полиэтилен, целлофан, бумага, ткань, пластикат.

Липкие ленты

Название	Технические условия	Липкий клей	Основа	Назначение
Лента липкая полиэтиленовая	СТУ 30-14222-64	На основе полиизобутилена	Полиэтилен	Общетехническое
Лента липкая целлофановая	ТУ МАП № 7-54	На основе натурального каучука, полиизобутилена и др.	Целлофан	При окраске изделий, герметизации щелей и т. д.
Лента липкая бумажная	ТУ МАП № 8-54	То же	Бумага	Технологическое и маркировочное
Лента липкая тканевая	ТУ МАП № 9-54	»	Бязь или миткаль	Технологическое
Лента ПВХ изоляционная	ТУ МХП № 2898-55	Перхлорвиниловая смола, канифоль и др.	Пластикат	Для ремонта и сращивания кабельных оболочек
Лента ПВХ для изоляции газонефтепродуктов	СТУ 38-678-65	Перхлорвиниловая смола, канифоль и др.	Морозостойкий пластикат	Обмотка трубопроводов для защиты от блуждающих токов

## ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

Большинство клеев являются токсичными веществами и при работе с ними необходимо соблюдение специальных мер по технике безопасности.

Приготовление клеев и склеивание необходимо производить в специально отведенных для этого помещениях, оборудованных хорошей приточно-вытяжной вентиляцией. Пол в помещениях, пред-

назначенных для работ с клеями, должен быть выложен мелкими плитками, иметь необходимый уклон и сточные канавки для спуска воды. Стены рекомендуется облицовывать на высоту до 1,5—2,0 м плитками или красить масляной краской.

На рабочих местах, в особенности при применении клеев с повышенной токсичностью, должны быть установлены дополнительные вытяжные приспособления в виде местных отсосов, которые в зависимости от летучести компонентов клея и характера производимых работ, могут быть выполнены в виде вытяжных шкафов, зонтов и бортовых или низовых отсасывающих устройств. Скорость движения воздуха в рабочих отверстиях вытяжных устройств и местных отсосов должна быть не менее 0,7 м/сек. Приточный воздух должен подаваться в количестве 90% от объема удаляемого воздуха.

В случае работы с большими количествами токсичных материалов рабочие должны иметь респираторы, обеспечивающие непрерывную подачу свежего воздуха в зону дыхания. Рабочим необходимо выдавать защитную одежду: комбинезоны, резиновые фартуки, резиновые перчатки, косынки и т. д.

При проливании на пол токсичного клея (или компонента клея), например фенольной смолы, последняя должна быть немедленно убрана или смыта. Если пролит продукт 102Т (компонент клея ПУ-2), то продукт необходимо засыпать опилками (концами, тряпками), собрать их совком, вынести из помещения и залить 5—10%ным раствором аммиака. Остатки продукта 102Т на месте разлива необходимо также залить раствором аммиака.

Следует указать на особую тщательность работы с продуктом 102Т: вскрытие емкостей с ним, отбор проб для анализа, отвешивание и т. д. должно производиться в очках, резиновых перчатках, нарукавниках, фартуках и резиновой обуви при действующей приточно-вытяжной вентиляции или еще лучше в вытяжном шкафу. Тара с продуктом 102Т должна быть герметически закрыта; всасывание продукта ртом при отборе проб для анализа с помощью пипетки недопустимо.

К работам, связанным с клеями, должны допускаться рабочие, прошедшие медицинский осмотр и инструктаж по технике безопасности и производственной санитарии. Рекомендуется проводить периодические медицинские осмотры работающих с клеями.

После окончания рабочего дня рабочие должны принять теплый душ; в умывальниках должна быть горячая вода. Спецодежду необходимо сохранять в отдельных шкафах.

При попадании токсичных клеев или их компонентов на кожу необходимо немедленно удалить загрязнение: фенол смывается мыльной водой, спиртом или слабым раствором питьевой соды с последующей тщательной промывкой водой. После этого необходимо пораженное место смазать вазелином или мазью от ожогов.

При сильных ожогах после промывания необходимо сразу же обратиться к врачу.

Формалин при попадании на кожу смывается водой, при попадании в глаза — тщательно промывается сильной струей воды. Необходима немедленная помощь врача.

При случайном попадании фенола или формалина внутрь следует выпить большое количество молока и экстренно обратиться за врачебной помощью.

Удаление продукта 102Т с рук производится с помощью ватного тампона, смоченного ацетоном или этилацетатом с последующим мытьем рук теплой водой с мылом.

При работе с клеями, содержащими растворители, мономеры и другие легко воспламеняющиеся вещества, необходимо строгое соблюдение специальных правил противопожарной безопасности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кардашов Д. А., Синтетические клеи, Изд. «Химия», 1968.
2. Клеи и технология склеивания, Сб. статей под ред. Д. А. Кардашова, Оборонгиз, 1960.
3. Михалев И. И., Колобова З. Н., Батизан В. П., Технология склеивания металлов, Изд. «Машиностроение», 1965.
4. Кардашов Д. А., Новые клеи на основе синтетических полимеров для склеивания металлов и неметаллических материалов, ЛДНТП, 1964.

#### ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Антипирены 10, 11  
 Антистатки 445 сл.  
   поверхностно-активные вещества 446—457  
   электропроводящие наполнители 457—460  
 Аппреты 263, 264
- Винипор 191—193  
 Вспененные пластмассы 155 сл.  
   на основе желатина 195  
 — — мочевино-формальдегидных смол 170—172  
 — — поливинилового спирта 194, 195  
 — — поливинилхлорида 186 сл., см. также Пенополивинилхлорид  
 — — полиолефинов 193, 194  
 — — полистирола 183 сл., см. также Пенополистирол  
 — — полиуретанов 156 сл., см. также Пенополиуретаны  
 — — феноло-формальдегидных смол 172 сл.  
 — — эпоксидных смол 178 сл.
- Грибостойкость  
   полиамидов 392  
   полистирола 422  
   реактопластов 404
- Замасливатели стекловолокна 262, 263
- Коллоксилин 197—199  
 Компаунды эпоксидные 63, 69, 70, 72, 77, 89 сл.
- Компаунды эпоксидные  
   наполнители 109—112  
   отвержденные 90—93, 95, 97, 98, 100, 102, 105, 107  
   переработка 112—115  
   применение 92, 93, 95, 97, 99, 101, 104, 106—108, 116 сл.  
   эпоксидно-каучуковые 102—105  
   эпоксидно-кремнийорганические 105—108  
   эпоксидно-полиэфирные 90—97  
   эпоксидно-тиокольные 97—101  
   эпоксидно-фурановые 108
- Кремнийорганические пластмассы 127 сл.  
   асбонаполненные 131—135  
   диэлектрические свойства 132, 135—141  
   дугостойкость 133  
   катализаторы отверждения 128  
   наполнители 128, 129, 133  
   переработка 127—131, 134, 138  
   применение 131, 133—140  
   стеклонаполненные 135—137  
   стеклотекстолиты 138—141  
   технологические свойства 133, 134  
   физико-механические свойства 132—139, 141
- Лавсан 142, 146  
 Лаки  
   полиэфирные 13, 14, 16, 41—43  
   эпоксидные 119, 120  
 Липкие ленты 501, 502
- Мастики полиэфирные 15

- Мипора 171, 172
- Наполнители**  
 для кремнийорганических пласт-  
 масс 128—130  
 — ненасыщенных полиэфиров 40  
 — полиарилатов 311  
 — эпоксидных компаундов 109—  
 112  
 стекловолокнистые 251 сл.  
 электропроводящие 457—460
- Отвердители**  
 ненасыщенных полиэфиров 30—36,  
 38, 266  
 эпоксидных смол 54, 56—59, 63—  
 65, 67, 76, 78, 80 сл., 266
- Пенопласты** 155, 164—170, 172—191
- Пенополивинилхлорид** 186 сл.  
 жесткий 187—190  
 эластичный 191—193
- Пенополистирол** 183 сл.  
 беспрессовый 185, 186  
 прессовый 183—185
- Пенополиуретаны** 156 сл.  
 жесткие 162—170  
 эластичные 157—162
- Пентапласт** 148 сл.  
 переработка 152, 153  
 пленки 149, 150  
 физико-механические свойства  
 149—151
- Пластификаторы** 344 сл.  
 для кумароновых смол 345  
 — поливинилацетата 345  
 — поливинилхлорида 345, 346,  
 348—360, 363  
 — резин 345, 359  
 — сополимеров хлористого вини-  
 ла 346, 351, 352, 354, 355, 360  
 — эфиров целлюлозы 213, 236, 345,  
 346, 351, 354, 360, 363  
 совместимость с полимерами 362
- Пластобетон** 16
- Пленки**  
 на основе ацетатов целлюлозы 211,  
 212  
 — — метилцеллюлозы 244  
 — — пентапласта 149, 150  
 полиарилатные 298—301, 304 сл.  
 полиимидные 319 сл.  
 полиэтилентерефталатные 143 сл.  
**Поверхностно-активные вещества**  
 446—457
- Полиарилаты** 289 сл.  
 диэлектрики на их основе 304—310  
 лаки 310  
 наполненные 311, 312  
 переработка 302—304  
 получение 289  
 применение 290—292, 306, 307,  
 309—312, 314, 315  
 теплофизические свойства 295  
 ударопрочные 312—314  
 физико-механические свойства  
 289—293, 295 сл.
- Полиимиды** 317 сл.  
 клеи 324  
 пленки на их основе 319—322  
 получение 317  
 прессовочные материалы 322, 323  
 свойства 318—323  
 связующие 323, 324
- Полипиромеллитимиды** 319, 322
- Полиэтилентерефталат** 142 сл.  
 переработка отходов 146  
 пленки 142, 143 сл.  
 применение 143, 146, 147
- Полиэфиры**  
 на основе адипиновой кислоты 364,  
 365  
 — — себациновой кислоты 363,  
 364
- Полиэфиры ненасыщенные** 7 сл.  
 водо- и кислотостойкость 11, 12  
 водо- и химическая стойкость 27—  
 29  
 вязкость 12, 13, 17—19  
 гелеобразование 32, 33—35  
 для полуфабрикатов 12, 13

- Полиэфиры ненасыщенные**  
 иницирующие системы 12, 13  
 компаунды 16, 23  
 композиции на их основе 14—16  
 лаки 41—43  
 общего назначения 9, 10  
 огнестойкость 29, 30  
 отверждение 17, 30—36  
 переработка 9, 10, 12, 13, 18, 30 сл.  
 повышенной теплостойкости 10  
 — эластичности 13  
 пониженной горючести 10, 11  
 применение 7, 9—12, 18, 36, 37,  
 46 сл.  
 способность к самозатуханию 11  
 стабилизация 9  
 температура саморазогрева 12,  
 13, 38  
 термические свойства 24—27  
 техника безопасности 43—46  
 технологические свойства 16—19,  
 37  
 физико-механические свойства  
 18—25
- Поропласты** 155, 157—162, 171
- Премиксы** 12, 13, 18, 272
- Препреги** 12, 13, 18, 258, 272
- Связующие для светопропускаемых**  
 стеклопластиков 11
- Синтетические клеи** 462 сл.  
 акриловые 492, 493  
 карбинольный 492  
 липкие ленты 500—502  
 на основе кремнийорганических со-  
 единений 489—491  
 — — мочевино-формальдегидных  
 смол 486—489  
 — — резорцино-формальдегидных  
 смол 478  
 — — феноло-формальдегидных  
 смол 465 сл.  
 перхлорвиниловые 495  
 полиамидные 494, 495  
 поливинилацетатная эмульсия 495  
 полиизоцианатный 497
- Синтетические клеи**  
 полнуретановые 483—486  
 резиновые 496  
 феноло-каучуковые 469—474  
 феноло-поливинилацетальные 474  
 эпоксидные 478—483
- Стабилизация** 406 сл.  
 ацетилцеллюлозных этролов 213  
 пентапласта 443, 444  
 полиамидов 423—426  
 полиарилатов 297  
 поливинилхлорида 416—421  
 поликарбоната 439—441  
 полиоксиметиленов 426—439  
 полиолефинов 407—416  
 полистирола и его производных 422  
 полиэтилентерефталата 441, 412  
 этилцеллюлозы 236
- Старение** 366 сл.  
 атмосферное 370—372, 374, 375,  
 382, 383, 389—392, 396—403  
 пентапласта 405  
 полиакрилатов 379—385, 393  
 полиамидов 386—393  
 поликарбоната 393, 394  
 полиолефинов 368—372  
 полистирола и его производных  
 370, 373—378  
 прессматериалов на основе карб-  
 амидных смол 395, 400  
 — — — феноло-формальдегид-  
 ных смол 394—399  
 световое 368, 369, 376, 381, 388,  
 394  
 тепловое 373, 379, 380, 386, 387,  
 393—395, 405  
 эпоксидных смол и компаундов  
 395, 401—403
- Стекловолокнистые наполнители**  
 251 сл.  
 армирующая способность 252—256  
 нетканые 257—260  
 тканые 260—262  
 элементарное стеклянное волокно  
 и первичная стеклонить 251,  
 252, 257

- Стекложгуты 257, 258  
 Стеклопластики 249 сл.  
 аппреты 263, 264  
 замасливатели 262, 263  
 клеящие препараты 264  
 на основе ненасыщенных полиэфиров 281—288  
 — — полиэпоксидов 118—122  
 — — термoplastичных смол 280, 281  
 наполнители 251 сл.  
 переработка 281 сл., 287, 288  
 прессовочные материалы 267—272, 274—277  
 применение 249, 250  
 связующие 11, 13, 14, 17, 19, 20, 265—267, 323, 324  
 Стеглосрезы 258  
 Стеклотекстолиты 138—141, 273, 278—280  
 Стеклохолсты 258  
 Термохимическая отделка стеклотканей 262—264  
 Ускорители отверждения  
 полиэфирных смол 31—36, 38, 45, 266  
 эпоксидных смол 81  
 Фенилон 326 сл.  
 антифрикционные свойства 339—341  
 волокна 329  
 переработка 341, 342  
 пленки и покрытия 331, 332, 334—336, 341, 342  
 прессматериал 327, 329, 330  
 применение 328—330, 342, 343  
 старение 338, 339  
 физико-механические свойства 329—332, 336—339  
 Целлофан 230, 231  
 Целлулоид 199—201  
 Шпаклевки полиэфирные 15

- Эпоксидные смолы 53 сл.  
 азотсодержащие 53, 57—59  
 алифатические 53, 66 сл.  
 диановые 53, 54 сл.  
 компаунды, см. Компаунды эпоксидные  
 модификаторы 74  
 на основе олигомеров дивинила 79, 80  
 неотвержденные 55, 61  
 олигодиепексиды 74, 75  
 отверждение 54—59, 63, 80 сл.  
 переработка 112—115  
 полиэпоксиды 53, 61 сл.  
 применение 54, 57—63, 65, 67, 69, 72, 76, 79, 116 сл.  
 растворимость 54  
 синтез 53, 75 сл.  
 техника безопасности 123, 124  
 ускорители отверждения 81  
 Этролы  
 ацетилцеллюлозные 212 сл.  
 ацетобутиратцеллюлозные 221 сл.  
 ацетопропионатцеллюлозные 228—230  
 нитроцеллюлозные 201  
 трипропионатцеллюлозные 228—230  
 Эфиры  
 адипиновой кислоты 351—353  
 декандикарбоновой кислоты 356, 357  
 себациновой кислоты 353—355  
 смеси жирных кислот  $C_7$ — $C_9$  358, 359  
 стеариновой кислоты 236  
 тиодивалериановой кислоты 357, 358  
 тиодипропионовой кислоты 357  
 тримеллитовой кислоты 349—350  
 фосфорной кислоты 236, 360, 361, 363  
 фталевой кислоты 236, 345—349  
 Эфиры целлюлозы простые 231 сл.  
 карбоксиметилцеллюлоза 237 сл.  
 метилоксипропилцеллюлоза 243, 244

- Эфиры целлюлозы сложные 196 сл.  
 ацетаты 201 сл.  
 ацетобутираты 218 сл.  
 ацетопропионат 227—230  
 ацетофталат 230  
 нитраты 196—201  
 пленки 211, 212  
 свойства 205—211  
 трипропионат 227—230

## УКАЗАТЕЛЬ МАРОК И НАЗВАНИЙ

## Смолы и пластические массы

АГ-4в 258, 259, 271, 274, 275, 394—  
 396, 404  
 АГ-4ЛС 274, 275  
 АГ-4нс 257, 259, 270  
 АГ-4с 257, 259, 269, 270, 274, 275  
 АМАН 311, 312  
 АН-ГК 373  
 Ацетилцеллюлоза для кинопромыш-  
 ленности 204  
 Ацетилцеллюлоза для этрола 204  
 Ацетилцеллюлоза «серикола» 205  
 Ацетобутират целлюлозы для произ-  
 водства лаков 219  
 Ацетобутират целлюлозы для этрола  
 218, 219  
 Ацетобутират целлюлозы плечочный  
 219  
 Ацетофталат целлюлозы 230  
  
 Винипор (А и Б) 191—193  
 Винипор жесткий 190  
 ВК-212 397  
 Волокнит 398, 404  
 ВФТС 279  
 ВЭП-1 276, 277  
  
 Д-2 293  
 Д-3 289, 290, 292, 296, 297  
 Д-4 290—298, 302—304, 312, 313  
 Д-4С 292, 294, 295, 304  
 Д-140 105, 106  
 ДДЦПД 53, 75, 76  
 Дифлон 393, 394  
 ДСВ 257  
 ДСВ-2-Р-2М 271, 272, 274, 275  
 ДСВ-4-Р-2М 271, 272, 274, 275  
 ДФ-55 300, 301  
 ДЭГ-1 53, 68—74  
 ДЭГ-19 53, 71  
 ДЭГ-Ж 53, 67, 73  
 ДЭГ-С 67  
  
 ДЭГ-У 53, 67, 73  
 ДЭГ-Ф 53, 73  
  
 ЗСП-1 17, 20, 26  
 ЗСП-2 10, 17, 18, 26  
 ЗСП-3 12, 13, 17  
 ЗСП-4 12, 13  
 ЗСП-6 11, 12, 17, 20, 26  
 ЗСП-7 13  
  
 ИТГ 293  
  
 К-17-23 397  
 К-18-2 398, 404  
 К-18-42 399, 404  
 К-18-53 399, 404  
 К-41-5 (МФХ-41) 131—134  
 К-54/6 92—94, 111, 116, 118, 122  
 К-71 131—134  
 К-78-51 400, 404  
 К-79-79 400  
 К-105 63  
 К-106 63  
 К-110 95  
 К-115 90—92, 94, 103, 109, 111, 115—  
 117, 401, 404  
 К-126 99—101, 117  
 К-129 99—101  
 К-134 102, 104, 111, 117  
 К-139 90, 102—104, 111, 115, 117, 402,  
 404  
 К-147 102, 104, 111, 117  
 К-153 90, 98, 99, 103, 109, 111, 115—  
 118, 122, 402, 404  
 К-156 69, 70, 90, 103, 111, 115—118,  
 122, 403, 404  
 К-160 103, 115, 403  
 К-168 92, 94, 115, 117  
 К-176 93, 94  
 К-201 91, 92, 94, 111, 117  
 К-211-34 399, 404  
 К-214-2 397, 399, 404

К-293 92, 94, 115, 117  
 Капрон 386, 388—392  
 Карбоксиметилцеллюлоза 237 сл.  
 КАСТ 255, 279  
 КГМС-1 23  
 КГМС-2 23  
 КДА 70, 118  
 КМК-218 131—135  
 КМК-218Л 131—135  
 КМС-9 136, 137  
 Коллоксилин лаковый и лакомастич-  
 ный 197, 198  
 Коллоксилин необезвоженный 197  
 Коллоксилин целлулоидный 197  
 Компаунды «Д»  
 Д-1 96, 117  
 Д-2 96  
 Д-3 96  
 Д-4 96  
 Д-12а 101  
 Д-17 96, 117  
 Д-19 96  
 Д-38 101  
 Д-38а 101  
 Д-40 117  
 Д-88 96, 117  
 Д-114 117  
 Д-127 101  
 Д-129 101  
 Д-130 101  
 Д-134 101  
 Д-135 101  
 КПЖ-9 131—135  
 Кровостан 195  
 КС-30/9 280, 281  
 КФ-9 138  
 КФ-10 138  
  
 Лавсан 142, 146  
 ЛОС 257, 259, 270  
  
 МАР-1 136, 137  
 МВЦГ 53, 78, 79  
 МГФ-9 48  
 Медкопористые фильтры из полиэти-  
 лена НД 193, 194  
 Метилцеллюлоза 242 сл.  
 Мипора 171, 172  
 МПВФ 194, 195  
 МС 373, 375—377, 422  
 МСН 373, 375—377, 422  
 МФК-20 131—134  
 МФП-1 172  
 МФХИ-6 106, 107  
 МЭГ-1 53, 73, 74  
  
 НПС 609-21М 12, 17, 21, 26, 45  
 НПС 609-22М 10, 12, 17, 19  
  
 Оксизтилцеллюлоза 246 сл.  
  
 П-1-2 274, 275  
 П-2-1 274, 275  
 П-2-3 270, 274, 275  
 П-2-5 274, 275  
 П-2-6в 274, 275  
 П-2-6с 270, 274, 275  
 П-2-7с 274, 275  
 П-3-1 274, 275  
 П-3-3 276, 277  
 П4ЭС-1 459, 460  
 П4ЭС-2 459, 460  
 П-5-2 276, 277  
 П-5-5 276, 277  
 П-5-6 276, 277  
 П-5-7 276, 277  
 П-5-8 276, 277  
 П-5-9 276, 277  
 П-5-12 276, 277  
 П-5-13 276, 277  
 П-50с 270, 274, 275  
 П-68 387—392, 423—426  
 П-68ВС 280, 281  
 П-62ДМ1, 5 387—392  
 П-68Т20 392  
 П-75с 270, 274, 275  
 П-548 424  
 П-2006-В 372  
 П-2010-В 372  
 П-2015-П 372  
 П-2020-Т 370, 372, 414—416  
 П-2035-Т 372  
 П-2070-П 372  
 П-4020 370, 414—416  
 П-АК7 386, 388—392  
 ПВ-1 189, 190  
 ПВХ-1 187—189  
 ПВХ-2 187—189  
 ПВХ-Э 191  
 ПДИ-3А 74  
 ПК-9 136  
 ПМ-67 323  
 ПН-1 9, 12, 29, 32, 33, 35, 38, 40, 45—  
 48  
 ПН-1С 10, 12, 17, 19, 26, 33  
 ПН-2 9, 12, 13, 15, 17, 22, 23, 26, 33,  
 40, 45, 48  
 ПН-2ГО 12, 13, 48  
 ПН-2Н 12, 13, 48  
 ПН-3 10, 12, 13, 15, 19, 23, 26—28, 32,  
 33, 45, 47, 48  
 ПН-3С 33



ПН-4 10, 12, 17, 18, 22—24, 26, 33—  
 35, 45, 47  
 ПН-6 10, 12, 17, 19, 26, 45  
 ПН-7 10, 17, 19, 26, 30  
 ПН-10 11—13, 17, 20, 26, 33  
 ПН-10/40 11—13, 22, 26, 33  
 ПН-11 12, 13, 17, 21, 26, 33, 45  
 ПН-62 10, 12, 13, 17, 19, 26, 30, 33, 45  
 ПН-69 13, 15, 17, 21, 22, 33, 45, 48  
 ПН-100 13, 15, 17, 21, 22, 33, 48  
 ПН-301 13, 43  
 ПНАД-0,2 25  
 ПНА-Д-Э-2 24  
 ПНМ-2 11, 13, 17, 19, 26, 33, 45  
 ПНМ-8 11, 17, 20, 26, 33, 45  
 ПНТ-2 12  
 ПНЦ-2 10—12  
 ПНЦ-2Э-6 24, 25  
 ПНЦ-2Э-7 25  
 Поликапроамид 386, 388—391, 424  
 Полиэтилен порообразующий 193  
 ППУ-3 162—164  
 ППУ-3н 164, 165  
 ППУ-9н 167, 168  
 ППУ-3С 164  
 ППУ-304н 165, 166  
 ППУ-305 166, 167  
 ППУ-305А 166, 167  
 ППУ-Э 157—160  
 ППУ-ЭМ-1 161  
 ППУ-ЭТ 161, 162  
 ППУ-ЭФ 160  
 Прессматериал фенилон 329, 330, 332,  
 339—341  
 Прессматериал фенилон С 330, 334,  
 336, 341  
 ПС-1 183—185  
 ПС-4 183—185  
 ПСБ-С 185, 186  
 ПСК-1 276, 277  
 ПС-СУ<sub>2</sub> 373, 375—378, 422  
 ПС-СУ<sub>3</sub> 373, 375—378, 422  
 ПУ-101 168, 169  
 ПУ-101Т 169  
 ПУ-102В 169, 170  
 ПХА 189  
 ПЭ-1 178, 179  
 ПЭ-2 179, 180  
 ПЭ-2Т 180, 181  
 ПЭ-5 181, 182  
 ПЭ-6 182, 183  
 ПЭК-18 104  
 ПЭК-20 104  
 ПЭКЛ-19 104  
 Раствор фенилона 329  
 РСТ 272, 274—277  
 РТП-170 136, 276, 277  
 РТП-200 276, 277  
 САМ 373, 375—378  
 СВАМ 255, 257, 268, 271  
 СВАМ-БФ 269, 271  
 СВАМ-БФ-1Ф 269  
 СВАМ-БФ-1ФП 269  
 СВАМ-БФ-2Ф 269  
 СВАМ-БФ-2ФП 269  
 СВАМ-Р-2м 269, 271  
 СВАМ-ТФЭ-Р 269, 271  
 СВАМ-3Ф-1Ф 121  
 СВАМ-3Ф-2Ф 121  
 СВАМ-ЭН 269, 271  
 СВАМ-ЭР 269, 271  
 СВК-1КФ 136  
 СВК-1МФ 136  
 СВК-2КФ 136  
 СВК-2МФ 136  
 СК-ФР 279  
 СКМ-1 279  
 СКМ-9 279  
 СКМФ-29 279  
 СКПС-3 13, 15, 17, 21, 22, 33, 48  
 СКС-9 279  
 СКТ-41/ЭП 121  
 СМФ-50 279  
 СМФ-50-М 139  
 СН-26 373  
 СНП-2 373, 375—378, 422  
 СНП-К 373  
 СОЛ 381, 382, 385  
 СП-1, 2, 3, 5 323  
 СП-68 280, 281  
 СТ 278  
 СТ-1 278—380, 382—385  
 СТ-Б 278  
 СТ-П 278  
 СТК 278  
 СТК-41 140  
 СТП-1, 2, 3, 5, 6 324  
 СТЭК-45 140, 141  
 СТЭФ 121, 278  
 СТЭФ-1 278  
 СТЭФ-1-130 120  
 СШ-БФ 268  
 СШ-Р-2м 268  
 СШ-ТФЭ-Р 268  
 СШ-ЭН 121, 268  
 СШ-ЭР 268  
 СШЭФ 121  
 СЭП-10 368—370  
 Т-2-55 379, 380, 383—385  
 Т-10 107, 108

Т-111 106  
 ТГМ-3 48  
 ТМГФ-11 14, 40  
 ТП-110 137  
 ТПВФ-1 194, 195  
 ТПВФ-2 194, 195  
 Триацетат целлюлозы 203, 204  
 ТСТ-Л 379, 380, 383, 385  
 ТФ-60 146  
 ТФЭ-9 105, 106  
 ТЭГ-1 53, 71, 72, 74  
 ТЭГ-17 53, 71  
 УП-1 373, 374 376—378, 422  
 УП-569 75  
 УП-584 95  
 УП-592 105  
 УП-599 75  
 УП-610 59  
 УП-610а 59  
 УП-610ф 59  
 УПП 373, 374, 376—378  
 Ф-1 291—297, 303, 313  
 Ф-2 291—297, 299, 303  
 Фенилон ВА 328  
 Фенилон ВБ 328, 329  
 Фенилон С 330—332, 334—336  
 ФК-20 174, 175  
 ФК-20-А-20 175, 176  
 ФК-40 176  
 ФРП-1 176, 177  
 ФС-7-2 173  
 ФФ 173  
 Целлулоид авиационный 199, 200  
 Целлулоид белый технический 199  
 Целлулоид галантерейный 200  
 Целлулоид технический прозрачный  
 199  
 Э-5 53  
 Э-15 61  
 Э-37 53, 57  
 Э-40 53, 57  
 Э-41 60, 61  
 Э-44 61  
 Э-49 61  
 Э-181 53, 67, 68, 70, 75  
 ЭА 53, 57, 58, 95, 118  
 ЭАФ-400 53, 59  
 ЭД-5 15, 53—58, 60, 62, 63, 65—74, 76,  
 78, 88—93, 95, 98, 99, 102, 104—  
 106, 115, 118—120  
 ЭД-6 53—58, 64, 74, 75, 84, 89, 92,  
 95—97, 102—108, 118—120, 401  
 ЭД-7 53—57, 61, 63, 74, 119  
 ЭД-П 53—55, 57, 74  
 ЭДТ-10 118  
 ЭДЦ 61, 62, 76—78, 118, 122  
 ЭДЦЭ-5/60 76—78, 118  
 ЭЖ-5 93, 94, 111, 116  
 ЭЗК-5 101  
 ЭЗК-8 101  
 ЭЗК-11 97  
 ЭЗК-12 97  
 ЭМДА 53, 58, 59  
 ЭН-5 53, 90  
 ЭН-6 53, 61—64, 90, 119, 121, 122  
 Этилцеллюлоза 231 сл.  
 Этрол нитроцеллюлозный 201  
 Этролы ацетилцеллюлозные 213—215  
 А-М  
 А-С  
 А-Т  
 Д-30  
 Н-М  
 Н-С  
 Н-Т  
 О-М  
 О-С  
 О-Т  
 Э-М  
 Э-С  
 Э-Т  
 2ДТ-43  
 2ДТ-55  
 Этролы ацетобутиратцеллюлозные  
 222, 223, 225  
 АБЦЭ-7,5-5  
 АБЦЭ-10  
 АБЦЭ-12  
 АБЦЭ-15  
 АБЦЭ-15-3  
 АБЦЭ-15-5  
 АБЦЭ-18-2  
 АБЦЭ-20  
 АБЦЭ-20-ДКДСМ  
 АБЦЭ-20-ДКМ  
 АБЦЭ-20-ДСМ  
 ЭТФ 53, 65, 66, 121, 122  
 ЭТФ-10 74  
 ЭФ 60  
 ЭФГ 74  
 ЭФФ-53, 59, 60  
 ЭЦ 53, 61, 64, 65  
 ЭЭТ-1 53, 73, 74  
 2-55, 379, 380, 383—385  
 5Н 62, 63  
 33-18в 258, 274, 275  
 33-18с 270, 274, 275  
 41ФАЭД 108

<i>Пленки и лаки</i>	
Аморфная пленка ПЭТФ 143	ГМБ-1 88 ГМБ-2 88
Д-4ЛК 310	Диметиланилин (ДМА) 31, 33—35, 82, 84
Д-4П 296, 298, 302, 304—306, 308, 309	Дициандиамид (ДЦДА) 82
Д-8П 301, 308	Диэтиланилин 31
Д-4Э 291, 304, 309	Диэтилентриамин (ДЭТА) 81, 82
ДФ-55П 296, 300, 304, 307—309	ДМ-12 81 ДТБ-1 88 ДТБ-2 88
К-41 140	<b>И-5М 89</b>
Конденсаторная ПЭТФ пленка 143, 144	Л-18 82, 83, 84 Л-19 82, 83, 84, 101 Л-20 82, 83, 84 ЛТ-13 83, 84
ЛФС-1 330	Малениновый ангидрид (МА) 56, 59, 60, 62, 63, 65, 66, 70, 72, 75, 78, 79, 85, 86, 88, 96, 100, 107
МФ-50-М 139	Метилтетрагидрофталсвий ангидрид (МТГФА) 63, 85, 86, 100, 107
Непластифицированная и слабопла- стифицированная триацетатная электронизоляционная пленка 212	ММФ 89
ПАК-1 322	Пирумеллитовый диангидрид (ПДА) 85
ПМ 319—322	Полиэтиленполиамин (ПЭПА) 56, 67, 70, 72, 73, 75, 79, 81, 82, 88, 90
ПЭ-29 13, 16, 42	ПЭА-3 87
ПЭ-214 42	С-18 83, 84, 104
ПЭ-219 13, 48	С-19 83, 84
ПЭ-220 13, 16, 42, 43, 48	С-20 83, 84, 104
ПЭ-225 42	Смола № 18 63, 81
ПЭМ-2 119—121	Смола № 211 63, 81
ПЭТФ пленка для металлизации 144	<b>Т-4 86, 87</b> <b>Т-19 83, 84</b>
Ф-2П 296, 299, 302, 304, 306—309	Тetraгидрофталсвий ангидрид (ТГФА) 85, 86
Ф-8П 308	Триэтанолламин (ТЭА) 82, 84, 90, 96
Целлофан 230, 231	Триэтанолламинотитанат (ТЭАТ-1) 72, 87, 88, 90
ЭДП-2 120, 121	УП-575 88
ЭДФ 119, 121, 122	УП-581 89
Электроизоляционная пластифициро- ванная триацетатная пленка 212	УП-583 88
Электроизоляционная ПЭТФ пленка 143, 144	Ускоритель В 31, 33
Электротехническая ПЭТФ пленка 143, 144	Ускоритель НК 31, 32, 33, 34
ЭР-1-130 120	<b>м-Фенилендиамин (МФДА) 65, 66, 68, 82, 90</b>
№ 512 120, 121	Фталсвий ангидрид (ФА) 85, 107
<i>Отвердители и ускорители отвержде- ния</i>	
АФ-2 89	
Гексаметилендиамин (ГМДА) 82, 91, 93, 96	

Хлорэндиковый ангидрид (ХЭТ) 85	Стеклокани 261
Эндиковый ангидрид (ЭА) 85	АСТТ (6)-С
40АГ 86, 88, 98, 99	АСТТ (6)-С <sub>2р</sub>
40АФ 86, 88, 98, 99	АСТТ (6)-С <sub>2-0</sub>
№ 254 87, 88	КТ-11
	КТ-11-Э-0,2
	СТСС
	Т
	ТЖС-0,56
	ТЖСК-0,4
	ТСЖ-0,7
	ТСФШ
	УК-1
	УК-Т
	УТС
	Э-0.1
	Э-0.12
	Э-40
<i>Наполнители, аппреты и замаслива- тели</i>	Стеклохлолсты 259
А-41 263	ВВП
АГМ-3 264	ХЖК-1,0-Г-П
АГМ-9 264	ХЖК-1,0-Г-С
АДЭ-3 264	ХЖКИ
Алюминиевая пудра ПАК-3 457—459	ХМ
Асбоцемент 111	
Ацетиленовая сажа 457—459	
<b>Волап 264</b>	
ВТЭС 264	
ГВС-9 264	
Графит карандашный 457, 458	
Графит П 112	
Двуокись титана пигментная 111, 112	
Железный порошок АСМ 111, 112	
Железо карбонильное 112	
Кварц молотый пылевидный КП-2 и КП-3 109, 111, 112	
Коллоидное серебро 111	
Литопон 112	
Портланд цемент 112	
Пудра алюминиевая 112	
Сажа белая У-333 111, 112	
Слюда молотая 112	
Слюда щипаная 112	
Стекложгуты 259	
ЖС-1-ЖС-6	
ЖСР-24/60	
Стеклонити 259	
КН-11	
КН-11к	
нити и волокна стеклянные одно- направленные	
нити первичные стеклянные одно- направленные	
нити стеклянные крученые	
НС-150/2	
	Тальк молотый 111, 112
	Цемент 400—600 111
	Цинковая пыль 457—459
	№3 263
	№9 263
	№30 263
	№78 263
	№289 263
	№752 263
	<i>Пластификаторы</i>
	Адиновый эфир смеси спиртов С <sub>7</sub> — С <sub>9</sub> изостроения 352, 362
	Бутилбензилфталат 349, 362
	Бутил-2-этилгексилфталат 349, 362
	Диалкилфталат-610 (ДАФ-610) 348, 362
	Диалкилфталат-789 (ДАФ-789) 346, 347, 362
	Дибутиладипинат (ДБА) 351, 362
	Дибутиловый эфир декандикарбоно- вой кислоты 356, 362
	Дибутилсебацат 353, 354, 362
	Дибутилглюцилат 357, 358, 362

Дибугилтиодипропионат 357, 362  
 Дибугилфталат (ДБФ) 345, 347, 362  
 Динизодециладипинат 353, 362  
 Дикаприладипинат 352, 362  
 Дикаприлсебаинат 354, 355, 362  
 Дикаприлфталат (ДКФ) 346, 347, 362  
 Диметилфталат (ДМФ) 213, 345, 347, 362  
 Динитриладипинат 213  
 Диоктилкапролат-46 353, 362  
 Диоктилсебаинат 421  
 Диоктилфталат 421  
 Дитридецилфталат (ДТДФ) 348, 362  
 Ди-2-этилгексилладипинат (ДОА) 351, 362  
 Ди-2-этилгексильный эфир декандикарбоновой кислоты 356, 357, 362  
 Ди-2-этилгексильный эфир смеси дикарбоновых кислот C<sub>11</sub>—C<sub>13</sub> 355, 356, 362  
 Ди-(2-этилгексил)-себаинат 354, 362  
 Ди-(2-этилгексил)-тиодивалерианат 358, 362  
 Ди-(2-этилгексил)-тиодипропионат 357, 362  
 Ди-(2-этилгексил)-фенилфосфат 361—363  
 Ди-(2-этилгексил)-фталат (ДОФ) 346, 347, 362  
 Диэтиленгликольдикаприлат 359, 362  
 Диэтиленгликольдипропионат 213  
 Диэтилфталат (ДЭФ) 213, 345, 347, 362

ПГА-5 364  
 ПДАК-3 364  
 ПДАК-679 365  
 ПДАО-4 365  
 ПДСК-3 364  
 ПДСО-4 363, 364  
 ПДЭА-4 364  
 ПДЭС-1 363  
 ППАЛ-6 365  
 ППАО-4 365

Себаиновый эфир смеси спиртов C<sub>7</sub>—C<sub>9</sub> изостроения 355, 362

Триацетин 213  
 Трибутилфосфат 360, 362  
 Трикрезилфосфат 360, 361, 362  
 Тримеллитат спиртов C<sub>7</sub>—C<sub>9</sub> 350, 362  
 Триоктилтримеллитат 349, 350, 362  
 Трифенилфосфат 213, 360, 362  
 Трихлорэтилфосфат 213

Триэтиленгликольдипропионат 213  
 Триэтиленгликолькаприлат 359, 362

## Стабилизаторы

Азотметины 407  
 Азотсодержащие соединения 418  
 Алкилфенолсульфиды 407  
 Алкилфенолы 407  
 Альдолы-β-нафтиламин 435

*n*-Бензилпирокатехин 411  
 Бис-(2-метил-5-*трет*-бутил-4-оксифенил)-моносулфид (тиоалкофен БМ) 409, 410, 413  
 Бис-(5-метил-3-*трет*-бутил-2-оксифенил)-моносулфид (тиоалкофен БП) 409, 410  
 Бис-(5-метил-3-α-метилбензил-2-оксифенил)-моносулфид (тиоалкофен МБП) 409, 411, 413  
 Бис-(4-окси-3,5-ди-*трет*-бутилбензил)-сульфид (ТБ-3) 409, 413  
 2,6-Бис-(2-окси-5-*трет*-бутилбензил)-4-*трет*-бутилфенол 433  
 2,6-Бис-(2-окси-3-*трет*-бутил-5-метилбензил)-метилфенол 411  
 4-*трет*-Бутил-6-бензилпирокатехин 411  
 6-*трет*-Бутил-*о*-крезол 430  
*n*-*трет*-Бутилфенилсалицилат 444

Гидразоны 407  
 2,5-Ди-*трет*-амилгидрохинон 433  
 4,5-Дибензилпирокатехин 411  
 Дибензоат резорцина 444  
 2,5-Ди-*трет*-бутилгидрохинон (сантовар 0) 432  
 Ди-*трет*-бутил-*n*-крезол 422  
 4,6-Ди-*трет*-бутил-*о*-крезол 430  
 2,6-Ди-*трет*-бутил-4-метилфенол (нонол или алкофен БП) 411, 423, 424, 431, 439  
 Дибутиловый эфир фенилэтилпирокатехинфосфористой кислоты 411  
 Динизоамилгидрохинон (сантовар) 410  
 2,6-Динизоборнил-4-метилфенол 411  
 Дикрезилопропан 410  
 Дилаурилнодипропионат 411, 413  
 Диметил-ди-(фениламинофеноксид)-силан (С-1) 437, 438  
 Ди-β-нафтил-*n*-фенилендиамин (ди-афен НН) 408, 409, 411, 412  
 N, N'-Ди-β-нафтил-*n*-фенилендиамин (ДНФДА) 423—426, 438

2,4-Диоксиацетофенол 421  
*n, n'*-Диоксидифениламин 435  
 2,2'-Диоксид-2-метоксибензофенон 444  
 Ди-(оксифениламинофенил)-метан (С-19) 437  
 2,6-Ди-*трет*-бутилфенол 431  
 Дифениламин 236, 411, 435  
 Ди-(фениламинофенил)-карбонат (С-7) 436  
 Ди-(фениламинофенил)-мочевина 436  
 Ди-(фениламинофенил)-терефталат (С-31) 437  
 Ди-(фениламинофенил)-фталат (С-33) 437  
 Дифенил-ди-(фениламинофеноксид)-силан (С-3) 436  
 Дифенил-*n*-фенилендиамин (ДФФД) 408, 411, 413  
 N, N'-Дифенил-*n*-фенилендиамин 434  
 2-Изоборнил-4-метилфенол (Н-365Д) 410

2-Изоборнил-6-метилфенол 411  
 N-Изопропил-*N'*-фенил-*n*-фенилендиамин (40-10NA) 434  
 Ионилпирокатехинфосфит 439

Меркаптобензимидазол 438  
 2,2'-Метилен-бис-(6-*трет*-бутил-4-метилфенол) 422  
 4,4'-Метилен-бис-(2,6-ди-*трет*-бутилфенол) (МБ-1) 411  
 2,2'-Метилен-бис-(4-метил-6-*трет*-бутилфенол) (бисалкофен БП или антиоксидант 22-46) 408—410, 413, 414, 423, 425, 427—429, 431, 438, 439  
 4,4'-Метилен-бис-(2-метил-6-*трет*-бутилфенол) (букремет) 432  
 2,2'-Метилен-бис-(4-метил-6-α-метилциклогексилфенол) (стабин 2 МЦПМ) 409, 410, 413  
 2,2'-Метилен-бис-(6-*трет*-октил-*n*-крезол) 432  
 α, α'-Метилен-бис-(фенил-β-нафтиламин) (С-23) 436  
 2,2'-Метилен-бис-(4-этил-6-*трет*-бутилфенол) (ангиоксидант 425) 411  
 Метилфенил-ди-фениламинофеноксид-силан (С-20) 437

α-Нафтол 423, 431  
 β-Нафтол 431

2-Окси-4-алкил (C<sub>7</sub>—C<sub>9</sub>)-оксидбензофенон (бензон ОА) 414, 416, 444  
 Оксикетоны 418  
 2-(2'-Окси-5'-метилфенил)-бензотриазол (беназол П) 422, 444  
 2-Окси-4-метоксибензофенон (бензон ОН) 444  
 2-Окси-4-октилбензофенон (бензон 00) 444  
*n*-Оксифенил-β-нафтиламин (*n*-оксинеозон) 435  
 Октил-*n*-крезол 410  
 Октилфенол 410  
 Оловоорганические соединения 417

Пирокатехин 439  
 Полинафталин (ПН) 439, 440  
 Полихиноидоксим (ПХД) 439, 440  
 Полифенилацетилен (ПФА) 439, 440

Сажа ДГ-100 414, 416  
 Соединения свинца 417, 419—421  
 Соли щелочных и щелочноземельных металлов 417  
 4,4'-Тио-бис-(2-метил-6-*трет*-бутилфенол) (ТБ-2) 411  
 4,4'-Тио-бис-(5-метил-2-*трет*-бутилфенол) (букресуль) 437  
 4,4'-Тио-бис-(2-метил-6-циклогексилфенол) 411  
 2,2,4-Триметил-1,2-дигидрохинолин (ацетонанил) 443  
 Три-(2-метил-4-окси-5-*трет*-бутилфенол)-метан 433  
 Триметилсилоксидифениламин (С-21) 435  
 2,4,4'-Трис-(3-*трет*-бутил-4-окси-6-метилфенол)-бутан (топапол СА) 411, 413

*n*-Фенилендиамин 434  
 Фенил-α-нафтиламин (неозон А) 408, 411, 412, 435, 443  
 N-Фенил-β-нафтиламин (неозон Д) 420, 423—426, 435, 440, 443  
*n*-Фенил-*N'*-цианэтил-*n*-фенилендиамин 434  
 N-Фенил-*N'*-циклогексил-*n*-фенилендиамин 423, 439  
 2,6-(α-Фенилэтил)-*n*-крезол 411  
 Фенилэтилпирокатехин 411  
 Фенилэтилфениловый эфир пирокатехинфосфористой кислоты 411  
 Фенолы 418  
 Фосфит П-24 (полигард) 408, 409, 411, 413, 414, 416, 439, 440, 441

Фосфорсодержащие соединения 418  
N-Циклогексил-N'-фенил-п-фенилен-  
диамин (40-10) 434

Эфиры ПКФ 423, 424

*Антистатики*

Аламин-17 446, 452, 454  
Алкамон ДЛ 446, 452, 454, 456  
Алкамон Н 446, 452, 454, 456  
Алкамон ОС-2 446, 450, 452, 454, 456  
Амины C<sub>7</sub>—C<sub>9</sub> 446, 452, 454  
Амины C<sub>16</sub>—C<sub>20</sub> 446, 452, 454  
Амины нафтяные 447, 452, 454

Б-300 447, 452  
Б-400 448, 453

Выравниватель А 447, 452, 454

Диалкилмонотрийфосфат 447, 454

Каталин К 447, 452  
Керилбензолсульфонат 448, 452, 454  
Ксилиталь 0-10 448, 453, 455

Оксамин С-2 448, 449, 451, 453, 455,  
456

Оксанол ЦС-17 448, 449, 451, 453, 455,  
456

ОП-7 447, 452, 454, 456  
ОП-10 447, 452, 454, 456  
ОС-20 448, 456

«Прогресс» 448, 453, 455  
Проксанол 172, 224, 228, 448, 453, 455

Синтамыды 449, 453, 455  
Синтанол ДС-10 448, 453, 455  
Синтанол ЦС-20 448, 453, 455  
Стеарокс-6 448, 449, 453, 455, 456  
Сульфанол НП-1 449, 453, 455  
Сульфонат А 449, 453, 455

Триамон 449, 453, 455  
Триметилалкиламмонийхлорид 449,  
453, 455, 456

Триэтаноламиновая соль лаурилсуль-  
фата 449, 453, 455

Этамон ДС 449, 453, 455

*Клеи*

БФ-2 471—477  
БФ-4 474—477  
БФ-6 474, 475  
БФР-2 474, 475, 477

В31-Ф9 465, 467  
ВИАМ Б-3 185, 465, 466, 467  
ВИАМ Ф-9 465, 466, 467  
ВК-1 480—483  
ВК-1М 480—483  
ВК-1МС 480—483  
ВК-2 489, 490  
ВК-3 469—473  
ВК-4 469—473  
ВК-5 483, 484, 486  
ВК-7 480, 482, 483  
ВК-8 489, 490  
ВК-9 478, 479  
ВК-11 483, 485  
ВК-32-ЭМ 480—483  
ВК-32-2 469, 473  
ВК-32-200 185, 469—473  
ВКТ-2 489, 490, 491  
ВКТ-3 489, 490, 491  
ВС-10Т 474—477  
ВС-350 474—477

К-17 488  
К-153 480, 481  
К-4508 497, 499  
Карбинольный клей 492  
КБ-3 465, 466, 467  
КЛН-1 478, 479  
КР-5-18 497, 498  
КР-5-18р 497, 498  
КР-6-18 497, 498  
КС-609 493  
КТ-15 489, 491

Л-4 478, 479  
Лейконат 497  
Лента липкая бумажная 500  
Лента липкая полиэтиленовая 500  
Лента липкая тканевая 500  
Лента липкая целлофановая 500  
Лента ПВХ для изоляции газонефте-  
продуктов 500  
Лента ПВХ изоляционная 500

М-4 488  
М-48 488  
М-60 488  
М-70 488  
МАС-1 489, 491

МПФ-1 463, 491  
МФ 488  
МФС-1 488  
МФСМ 488

ПК-10 495  
Поливинилацетатная эмульсия 495  
ПУ-2 483—486  
ПУ-2Б 483—485  
ПУ-2М 483, 485  
ПФЭ-2/10 494

С-1 465, 468, 469  
С-35 465, 468, 469  
С-50 469  
СБС-1 465, 468, 469  
СБТ 465, 468, 469

СКС-1 465, 468, 469  
СП-1 465, 468, 469

Термопрен 499

ФЛ-4С 480—483  
ФР-12 478  
ХВК-2а 495  
Цнакрин 492, 493

Эпоксид П и ПР 480—483

№4НБ 496, 497  
№88Н 185, 496  
№88НП 496, 497  
№4508 497, 499

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «ХИМИЯ»**

**ГОТОВЯТСЯ  
К ВЫПУСКУ  
В 1970 ГОДУ**

ГЛУХОВ Е. Е.

**Основные понятия о конструкционных и технологических свойствах пластмасс.**

7 л., ц. 57 коп.

**Кристаллические полиолефины,  
т. I. Синтез.**

Перевод с английского.

35 л., ц. 2 р. 72 к.

**Кристаллические полиолефины,  
т. II. Строение и свойства.**

Перевод с английского.

45 л., ц. 3 р. 44 к.

**Успехи реологии полимеров.**

Под ред. докт. хим. наук Г. В. Виноградова.

24 л., ц. 1 р. 47 к.

**Успехи химии и физико-химии  
полимеров.**

Коллектив авторов.

35 л., ц. 2 р. 41 к.

**Предварительные  
заказы на книги  
можно оформить  
в магазинах,  
распространяющих  
научно-техническую  
литературу**

**Справочник по пластическим массам**

Под редакцией *М. И. Гарбара, В. М. Катаева, М. С. Акутина*

Издательство „Химия“, М., 1969 г.

520.

УДК 678.5 (083)

Редакторы *Г. М. Медникова, А. А. Рогайлина*

Техн. редакторы *В. В. Коган, Л. А. Пантелеева*

Художник *Б. С. Цимбал*

Корректоры *Т. Р. Киприянова, Л. П. Кирьянова*

T-16309. Подписано к печати 14/XI 1969 г. Формат бумаги 60×90<sup>1/16</sup>. Печ. л. 32,5. Уч.-изд. л. 33,26.  
Типогр. бум. № 1. Тираж 33 000 экз. Тем. план 1968 г. № 187. Цена 1 р. 96 к. Зак. 213.

Ленинградская типография № 2 имени Евгении Соколовой Главполиграфпрома  
Комитета по печати при Совете Министров СССР. Измайловский проспект, 29.