67.8.05

ОБОРУДОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ПЛАСТМАСС

ХИМИЯ 1972

Авторы:

В. К. ЗАВГОРОДНИЙ, Э. Л. КАЛИНЧЕВ, Е. Г. МАХАРИНСКИЙ

Оборудование предприятий по переработке пластмасс, Изд. «Химия», Л., 1972, стр. 464, рис. 263, табл. 34.

В книге рассмотрен весь комплекс оборудования, применяемого не только для изготовления изделий из пластмасс, но и для вспомогательных процессов переработки и подготовки композиций. Приведены классификация и технические характеристики оборудования, расчеты технологических параметров, поузловая характеристика машин и аппаратов. Описаны технологические линии и агрегаты для производства различных видов изделий.

Являясь учебным пособием для студентов химико-технологических вузов, книга может быть полезной также инженерно-техническим работникам предприятий и конструкторских организаций промышленности пластмасс.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 7
Введение 9

Глава I. **Оборудование для смешения и измельчения** 17

§ 1. Смешение сыпучих полимерных материалов 17
§ 2. Смесители для сыпучих материалов 20
§ 3. Смешение расплавов полимеров, паст и тестообразных масс 27
§ 4. Смесители для расплавов полимеров, паст и тестообразных масс 29
§ 5. Оборудование для измельчения 36
Литература 40

Глава II. **Машины для таблетирования** 41

§ 1. Особенности таблетирования пластмасс 41
§ 2. Классификация и общая характеристика таблеточных машин 45
§ 3. Эксцентриковые таблеточные машины 47
§ 4. Ротационные таблеточные машины 52
§ 5. Гидравлические таблеточные машины 65
Литература 70

Глава III. **Аппараты и устройства для предварительного нагрева и сушки** 71

§ 1. Особенности процесса предварительного нагрева пластмасс 71
§ 2. Генераторы токов высокой частоты 76
§ 3. Индукционные контактные нагреватели 81
§ 4. Устройства для сушки и подогрева пластмасс 84
Литература 86

Глава IV. **Гидравлические прессы** 87

§ 1. Особенности процесса прессования реактопластов 87
§ 2. Классификация и общая характеристика гидравлических прессов 96

§ 3. Прессы с групповым гидравлическим приводом 97
Конструкция и расчет технологических параметров прессов . . 97
Привод 102
Устройства для управления прессом 105
§ 4. Прессы с индивидуальным гидравлическим приводом 114
Конструкция прессов 114
Аппаратура для привода 117
Гидравлическая схема управления прессом 122
§ 5. Прессы для трансферного прессования 136
§ 6. Прессы специального назначения 142
§ 7. Автоматические прессы и линии 147
Технологические предпосылки автоматизации 147
Прессы-автоматы и прессовые линии 149
Роторные прессы и линии 162

Литература 172

Глава V. **Вальцы и каландры** 173

§ 1. Особенности процессов вальцевания и каландрования . . . 173
§ 2. Классификация, общая характеристика и конструкции вальцев и каландров 182
Вальцы 182
Каландры 189
§ 3. Валковые установки для производства пленок 199
§ 4. Конструктивные особенности основных узлов валкового оборудования 202

Литература 211

Глава VI. **Экструзионные машины и установки** 212

§ 1. Основные особенности, назначение и классификация оборудования 212
§ 2. Расчет технологических параметров 216
§ 3. Конструктивные особенности основных узлов и деталей экструдера 232
§ 4. Горизонтальные червячные экструдеры 242
§ 5. Вертикальные, комбинированные и специальные червячные экструдеры 257
§ 6. Бесчервячные и дисково-червячные экструдеры 264
§ 7. Экструдеры-грануляторы 269
§ 8. Экструзионные установки для производства пленок и листов 273
§ 9. Экструзионные установки для производства труб и других профилированных изделий 288
§10. Экструзионные установки для нанесения изоляции, покрытий и дублирования 295
§ 11. Агрегаты для экструзионно-выдувного формования полых изделий 297

Литература 305

Глава VII. **Литьевые машины** 306

§ 1. Особенности литья под давлением, общая характеристика и классификация оборудования 306
§ 2. Инжекционные части литьевых машин 309
§ 3. Прессовые части литьевых машин 328
§ 4. Технологические особенности работы литьевых машин . . . 332
Работа литьевой машины в режимах инжекции 332
Работа литьевой машины в режимах интрузии 343
Работа литьевой машины в инжекционно-прессовом режиме . . 346
§ 5. Литьевые машины для переработки термопластов 348
§ 6. Литьевые машины для переработки реактопластов 353
§ 7. Технологические расчеты литьевых машин 356
Однопозиционные машины 356
Многопозиционные машины 357

Литература 360

Глава VIII. **Оборудование для формования изделий из листовых и пленочных термопластичных материалов** 361

§ 1. Особенности и классификация методов формования 361
§ 2. Вакуумформовочные машины 371
§ 3. Пневмоформовочные машины 379
§ 4. Механоформовочные (штамповочные) машины 381

Литература 385

Глава IX. **Оборудование для изготовления изделий из стеклопластиков** 386

§ 1. Особенности методов изготовления изделий из стеклопластиков и классификация оборудования 386
§ 2. Установки для напыления 389
§ 3. Установки для формования труб и цилиндрических оболочек 395
§ 4. Установки для производства стекломатов, плоских и гофрированных листов 415

Литература 419

Глава X. **Оборудование для сварки и нанесения покрытий** 420

§ 1. Классификация методов сварки и особенности оборудования 420
§ 2. Классификация методов нанесения покрытий и особенности оборудования 428

Литература 432

Глава XI. **Оборудование для механической обработки и отделки изделий** 433

§ 1. Особенности процессов механической обработки и отделки изделий, классификация оборудования 433
§ 2. Универсальные установки для зачистки 437

§ 3. Механизированные приспособления и станки для обработки и зачистки 441
§ 4. Специализированные полуавтоматические станки для обработки и зачистки 445
§ 5. Универсальные полуавтоматические станки для обработки и зачистки 451
§ 6. Автоматические станки для обработки и зачистки 453
§ 7. Оборудование для отделки поверхности 456
Литература 459
Предметный указатель 460

ПРЕДИСЛОВИЕ

Директивами XXIV Съезда КПСС намечена грандиозная программа по увеличению производства пластических масс и синтетических смол — в 2 раза в течение 1971—1975 гг. Выполнение этой программы потребует не только совершенствования технологических процессов переработки пластмасс и оборудования, но и повышения научно-технических знаний специалистов, а также студентов, при подготовке которых, наряду с углубленным изучением физико-химических основ процессов переработки пластмасс, особое внимание должно быть уделено устройству, принципу действия, технологическим расчетам и тенденциям развития перерабатывающего оборудования. Инженер-технолог должен знать также технологические возможности каждого вида оборудования и уметь определять оптимальные режимы процессов в зависимости от особенностей перерабатываемых материалов и изготовляемых изделий.

Именно такие цели были поставлены коллективом авторов, взявшим на себя труд написать учебное пособие по оборудованию для переработки пластмасс. Подобное учебное пособие выпускается впервые, поэтому естественны определенные затруднения в его создании. Книга отражает достигнутый в настоящее время научно-технический уровень в области переработки пластмасс. Необходимо отметить, что разработанные в последние годы отечественными и зарубежными учеными научные основы переработки пластмасс в большой степени основаны на данных экспериментальных исследований и относятся преимущественно к основным технологическим процессам переработки — экструзии, литью под давлением, вакуумформованию, прессованию. При переработке пластмасс другими способами обычно пользуются данными и зависимостями, основанными только на опыте работы, а не на научных методах расчета. В связи с этим различные главы учебного пособия в неодинаковой мере насыщены технологическими расчетами процессов и применяемого оборудования.

Большие трудности при работе над книгой возникли из-за того, что некоторые виды оборудования, например, машины и аппараты для изготовления изделий из стеклопластиков, механической

обработки пластмассовых изделий, нанесения покрытий напылением, почти не выпускаются серийно отечественными машиностроительными заводами.

Авторы стремились методически полно изложить не только основы учебного курса, но и современные достижения в области отечественного и зарубежного оборудования для переработки пластмасс, учесть и показать тенденции развития различных типов оборудования.

Объем каждой главы определяется в зависимости от степени распространения и сложности различных видов оборудования и в основном соответствует распределению часов лекционной и лабораторной частей курса.

Следует отметить, что данный курс взаимосвязан с другими предусмотренными учебным планом курсами: «Технология переработки пластмасс», «Расчет и конструирование формующего инструмента» и т. д. Курс «Оборудование предприятий по переработке пластмасс» является по существу завершающим обучение инженера-технолога, и его изучение непосредственно предшествует курсовому и дипломному проектированию.

Учитывая новизну и сложность задачи создания достаточно стабильного учебного пособия, авторы просят читателей высказать необходимые замечания и предложения, направленные на устранение возможных недостатков в данном учебном пособии. Все такие замечания и предложения будут приняты с признательностью.

Авторы отмечают значительную работу, проделанную рецензентами книги, и приносят благодарность коллективу кафедры «Машины и аппараты по производству пластмасс и резины и переработке их в изделия» Московского института химического машиностроения и ее заведующему канд. техн. наук доценту К. А. Салазкину, доктору технических наук Р. В. Торнеру, а также доктору техн. наук профессору Р. Г. Мирзоеву. Существенную помощь в подготовке учебного пособия оказал научный редактор канд. техн. наук В. А. Брагинский. Общее руководство и необходимые методические разработки плана книги и отдельных ее глав осуществлены канд. техн. наук доцентом В. К. Завгородним.

Введение, главы II, III, IV, VI, VIII, XI написаны канд. техн. наук доцентом В. К. Завгородним, главы I, V и IX — канд. техн. наук Е. Г. Махаринским, главы VII и X — канд. техн. наук Э. Л. Калинчевым. При редактировании книги отдельные разделы глав I и XI написаны канд. техн. наук В. А. Брагинским.

ВВЕДЕНИЕ

При переработке термореактивные материалы (реактопласты) испытывают физико-химические превращения, а термопластичные материалы (термопласты) — в основном только физические превращения, связанные с расплавлением материала, формованием и охлаждением изделий. Процессы формования стеклопластиков очень специфичны и зависят как от вида стеклянного наполнителя (волокно, жгут, ленты, ткани, маты), так и от типа смол (термореактивные или термопластичные, горячего или холодного отверждения и т. д.).

Развитие методов и оборудования для переработки пластмасс неразрывно связано с особенностями полимерных материалов.

Основные методы переработки порошкообразных и волокнистых реактопластов — прессование и литье под давлением. Термопласты перерабатывают в изделия методами экструзии, выдувного формования, литья под давлением, каландрования, центробежного литья и ротационного формования, вакуумного и пневматического формования, механической штамповки, прессования и т. д.

Изделия из стеклопластиков получают методами контактного формования (без давления), протяжки, прокатки, намотки, напыления и прессования.

Настоящий этап развития промышленности переработки пластмасс характеризуется непрерывным совершенствованием известных методов, их модификацией и проникновением в новые области применения. Ярким примером этого является все большее распространение метода литья под давлением для получения изделий из реактопластов. Его внедрение связано со значительным технико-экономическим эффектом, так как при литье под давлением обычно сокращается цикл формования и повышается качество изделий.

Литье под давлением реактопластов применяется в первую очередь при изготовлении изделий с арматурой, разной толщиной стенок и изделий сложной конфигурации.

Литье под давлением термопластов является наиболее универсальным методом переработки, позволяющим изготовлять

одноцветные и многоцветные изделия различной конфигурации и размеров. Процесс литья под давлением полностью автоматизирован и высокопроизводителен.

Значительно усовершенствовач метод прессования за счет применения специальных устройств и приемов, интенсифицирующих процесс изготовления изделий.

Методом экструзии (т. е. выдавливания расплавленного материала через фильеру определенного сечения) в последние годы изготовляют широкую номенклатуру пленок, листов, труб, различных профильных изделий из термопластов, наносят пластмассовую изоляцию на провода и кабели, а также тонкослойные пленочные покрытия на бумагу, картон, ткани, металлическую фольгу. Метод экструзии используется также для дублирования термопластичных пленок. Широкое распространение этого метода объясняется высокой производительностью, непрерывностью и автоматизацией процесса экструзии.

Оригинальным и весьма важным в арсенале современных методов переработки является выдувное формование, применяемое для изготовления полых изделий из термопластов — бутылок, фляг, канистр и других емкостей. Изделия формуются в специальной форме под действием сжатого воздуха из трубчатой заготовки, полученной предварительно методом экструзии или литья под давлением.

Вакуумное и пневматическое формование в широких промышленных масштабах применяется сравнительно недавно, но уже прочно вошло в перечень основных методов переработки листовых и пленочных пластмасс. Вакуумное формование осуществляется под действием атмосферного давления воздуха, а пневматическое — под действием избыточного давления сжатого воздуха. Этот метод обычно применяется для изготовления изделий из пленок и тонких листов (толщиной до 3—5 *мм*). При пневматическом формовании можно изготовлять изделия (ванны, контейнеры, лодки и т. д.) из листов толщиной до 15 *мм*.

Перспективными являются также ротационное формование и центробежное литье термопластов. При ротационном формовании в закрытую форму загружается материал в виде порошка, гранул или пасты. Затем форма, вращающаяся вокруг двух взаимно перпендикулярных осей, перемещается в камеру нагрева, где материал плавится и равномерно распределяется по внутренней поверхности формы. В камере охлаждения отформованное изделие остывает и затвердевает.

При центробежном литье в форму загружается расплавленный материал из плавильной камеры или экструдера. Формование изделия осуществляется под действием центробежных сил, возникающих в формуемом материале при вращении формы с большой скоростью. Поскольку центробежное литье пока малопроизводительно, этот метод применяется только для формования изделий, которые очень трудно или невозможно изготовить другими методами, например,

литьем под давлением (толстостенные изделия типа шестерен, втулок и т. д.).

Каландрование, хотя и является одним из самых старых способов переработки пластмасс (особенно термопластов), остается предпочтительным или даже единственным методом в ряде случаев, например, при изготовлении широких пленок из жесткого поливинилхлорида, листов с жестким минеральным наполнителем, линолеума (в том числе с утопленной подложкой) и т. д.

Особое место во всех основных отраслях промышленности занимают стеклопластики. Они отличаются высокими эксплуатационными показателями и во многих случаях являются основным конструкционным материалом для изготовления деталей машин, аппаратов и приборов. Разнообразные методы изготовления стеклопластиковых изделий недостаточно механизированы и автоматизированы.

Методом намотки стекложгутов или стеклолент, пропитанных смолой, получают высокопрочные и герметичные трубы, сосуды, полые изделия. Методом протяжки производят стержни, трубы, профильные изделия, в которых стеклянный наполнитель ориентирован в одном продольном направлении. Плоские и гофрированные листы из стеклопластиков получают методом прокатки между валками или роликами.

Контактное формование применяют преимущественно для получения крупногабаритных изделий из нескольких слоев стеклоткани, пропитанной смолой. Тонкостенные изделия можно формовать, напыляя рубленый стекложгут, смолу и отвердитель на поверхность формы (модели).

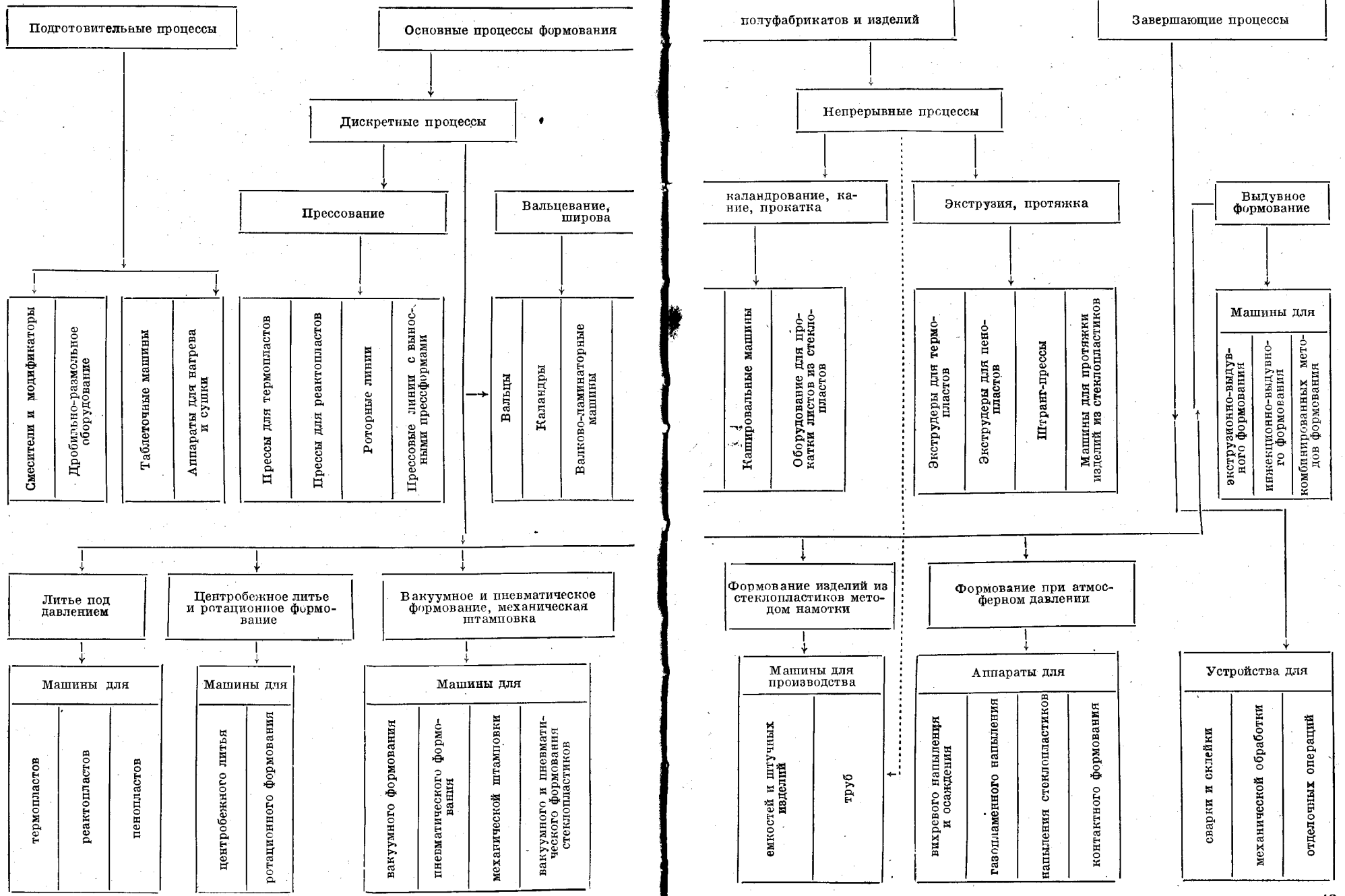
Классификация методов формования пластмасс *

Группа I (методы, при которых происходят только физические превращения)	Группа II (методы, при которых происходят только химические превращения)	Группа III (методы, при которых происходят оба вида превращений)
Литье под давлением	Отверждение мономеров	Прямое и литьевое прессование термореактивных смол
Горячее формование	Формование полых изделий заливкой	
Выдувание		
Литье пластизолей		

* Д. М. Мак-Келви, Переработка полимеров, Изд. «Химия», 1965.

Даже приведенный краткий перечень и основные черты методов переработки пластмасс достаточно четко показывают, что проблема систематизации и классификации методов и перерабатывающего оборудования является многоаспектной и сложной, поскольку в качестве классификационных могут быть использованы технологические,

Классификация основных методов переработки пластмасс и перерабатывающего оборудования



конструктивные, материальные и другие признаки или всевозможные их сочетания. Определенное решение этой проблемы важно не только с точки зрения научно-технической, но и учебной. В этом смысле прежде всего следует отметить классификацию методов формования пластмасс по состоянию полимерного материала при переработке (см. табл. на стр. 11). Такой подход наиболее удобен для рассмотрения процессов течения полимеров, т. е. при решении технологических вопросов, но непригоден с позиций анализа перерабатывающего оборудования.

Попытки классификации перерабатывающего оборудования в зависимости от типа формуемых изделий (пленки, листы, трубы, профильные погонажные изделия, полые изделия, прессованные и литые изделия произвольной конфигурации, покрытия и т. д.) также оказались неприемлемыми из-за своей громоздкости (многие из перечисленных изделий можно формовать разными методами из различных материалов на разнотипном оборудовании).

Использование подробной технологической классификации методов переработки *, а также классификации оборудования по машиностроительным признакам (прессы, валковые, червячные, поршневые, роторные машины и т. д.) тоже не позволяет полностью учесть все специфические особенности переработки различных полимерных материалов разными методами.

Вследствие перечисленных выше причин возникла необходимость разработки новой, приемлемой для учебного пособия классификации **. Главными в ней являются организационно-технологические признаки — выделяются подготовительные, основные и завершающие процессы. Основные процессы делятся затем по характеру их ведения на дискретные и непрерывные, и для них называются конкретные технологические процессы. Это делает удобным описание функционально-конструктивных особенностей оборудования. Для каждого технологического процесса в классификационной схеме (см. стр. 12) указаны основные типы оборудования, а также материалы, которые на этом оборудовании перерабатываются, или специфические изделия, которые формуются с помощью тех или иных машин и установок.

В классификационной схеме показано, например, что намотка изделий из стеклопластиков и вальцевание могут быть отнесены к дискретным и непрерывным процессам (см. направление стрелок).

Приведенная классификация еще требует определенной детализации, однако и сейчас она очень полезна, поскольку позволяет последовательно расположить материал учебного пособия, существенно помогая тем самым читателю.

---

* А. А. Пешехонов, Б. А. Пешехонов, Произв. и перераб. пластмасс, № 7, 70—77 (1965).

** Основы предлагаемой классификации были впервые изложены в книге: В. К. Завгородний, Механизация и автоматизация переработки пластических масс, Изд. «Машиностроение», 1970.

В книге все типы и виды оборудования расположены по главам в строгом соответствии с предлагаемой классификацией. В каждой главе для определенного типа оборудования дается дополнительная подробная классификация.

Некоторые виды оборудования (например, для центробежного литья и ротационного формования, склейки и окрашивания изделий из пластмасс, переработки пенопластов, прессования изделий из термопластов и др.) не описаны в учебном пособии, что объясняется либо очень малыми объемами переработки пластмасс на указанном оборудовании, либо отсутствием или крайне ограниченной номенклатурой оборудования для этих целей.

В каждой главе приведено краткое описание технологического процесса. Большое внимание уделено технологическим расчетам процессов и оборудования, описанию и анализу основных узлов и деталей машин, а также прогрессивным конструкциям перерабатывающего оборудования. В большинстве глав приведены основные мероприятия по охране труда и технике безопасности.

В главе I даны основы теории смешения сыпучих и жидких полимерных материалов, описаны конструкции типового оборудования, применяемого для смешения и измельчения материалов.

В главе II большое внимание уделено теории процесса таблетирования порошкообразных термореактивных материалов, а также описанию конструкций и анализу работы основных видов таблеточных машин (ротационных и гидравлических).

Глава III посвящена в основном генераторам токов высокой частоты, применяемым для предварительного нагрева таблетированных термореактивных материалов перед прессованием. Показана эффективность применения ускоренных циклов прессования. Кратко описаны индукционные контактные нагреватели и устройства для подогрева и сушки материалов (главным образом, термопластичных).

Глава IV — одна из наиболее емких в учебном пособии. В ней приведены особенности процесса прессования термореактивных материалов различными методами, полуавтоматические и автоматические прессы с групповым и индивидуальным гидравлическим приводом, роторные прессы-автоматы и автоматические линии, прессовые линии с выносными прессформами. Изложены также основные технологические предпосылки автоматизации процесса прессования.

В главе V приведены теоретические основы процессов вальцевания и каландрования и описаны отечественные вальцы и каландры, применяемые для переработки пластмасс.

Процессы экструзии и литья под давлением являются основными при переработке термопластичных материалов. Поэтому в главах VI и VII большое внимание уделено теории процессов, технологическим расчетам, описанию устройства и принципа действия различных типов экструдеров и литьевых машин, а также экструзионных установок для производства гранул, пленок, листов,

труб, полых изделий. Кроме того, рассмотрены литьевые машины для переработки реактопластов.

В главе VIII описаны методы вакуумного и пневматического формования, штамповки изделий из листовых и пленочных термопластов, а также применяемое для этих целей оборудование.

Глава IX посвящена оборудованию для изготовления из стеклопластиков труб, цилиндрических оболочек, плоских и гофрированных листов, а также изделий произвольной формы методами намотки, протяжки, прокатки и напыления.

В главах X и XI описано оборудование для сварки пластмасс и нанесения пластмассовых покрытий, а также для механической обработки, зачистки и отделки пластмассовых изделий.

ГЛАВА I

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СМЕШЕНИЯ И ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

§ 1. СМЕШЕНИЕ СЫПУЧИХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Перемешивание сыпучих полимерных материалов является частным случаем смешения твердых сыпучих веществ. Под названием «сыпучий материал» или «сыпучее тело» понимается совокупность мелких твердых частиц. В зависимости от размеров и формы частиц сыпучий материал может быть в пылевидном, порошкообразном, зернистом и кусковом видах.

Смешение твердых сыпучих материалов заключается в пространственной перегруппировке частиц компонентов, происходящей под внешним механическим воздействием и продолжающейся до достижения заданной степени однородности смеси. Иногда механическое смешение сопровождается физико-химическими процессами пластикации. В ряде случаев попутно осуществляется спекание, агломерация, сушка и т. д.

Несмотря на принципиальную простоту осуществления и широкое промышленное использование этого процесса, теоретические основы его разработаны недостаточно. В связи с этим проектирование смесительных устройств и машин, режим их работы и оценка качества полученной в них смеси большей частью основываются на накопленных в различных отраслях промышленности эмпирических данных и опыте.

2857

Установлено, что качество и производительность процесса смешения сыпучих материалов зависят от большого числа факторов, которые можно разделить на три основные группы:

1) методы смешения (распыливание, пересыпание, перелопачивание, смешение во взвешенном слое, различные комбинации перечисленных способов и т. д.);

2) конструктивные особенности смесителей, влияющие на интенсивность смешения (степень заполнения, скорость и характер циркуляции материала в смесителе, угол наклона рабочего органа, скорость движения и т. д.);

3) физико-механические характеристики смеси и ее отдельных компонентов (соотношение компонентов в смеси, плотности компонентов, гранулометрический состав смеси, угол естественного откоса смеси, коэффициент внутреннего трения, форма частиц, влажность).

БИБЛИОТЕКА
Челябинского завода
шлифовальных

При выборе смесителей необходимо учитывать также такие свойства сыпучего материала, как слеживаемость (потеря сыпучести), липкость и сводообразование. Слежавшийся материал плохо транспортируется, плохо высыпается из отверстия и может быть причиной поломки вращающихся рабочих органов смесителя. Липкость — свойство сыпучих материалов прилипать к поверхности твердых тел, в частности к стенкам смесителя, что затрудняет чистку внутренней полости смесителя. Сводообразование — явление самопроизвольного возникновения сводов, образующихся из кусков или мелких частиц над выпускным отверстием.

Важное значение при выборе оборудования для смешения имеет насыпная плотность сыпучих материалов, зависящая от гранулометрического состава, влажности и способа загрузки. Насыпная плотность материала при выбранном объеме смесителя определяет производительность оборудования, поэтому изменение, например, гранулометрического состава компонентов может снизить качество смешения при заданном режиме смешения (скорости вращения смесителя, температуре смешения, длительности процесса).

Следует учитывать, что при перемешивании компонентов возможно изменение их гранулометрического состава — уменьшение размера частиц в результате их разрушения (диспергирующее смешение).

Выбор технологического режима смешения производится по производственным или лабораторным данным (модельным опытам). Экспериментально определяются физико-химические характеристики компонентов и свойства всех используемых веществ при температурах и давлениях в условиях опытов. К их числу относятся плотность, угол естественного откоса смеси, коэффициент внутреннего трения и т. д.

Основной целью испытания в модельном опыте является определение качества работы смесителя и потребляемой им мощности.

При перемешивании стремятся достигнуть идеального взаимного расположения частиц компонентов. Траектории их движения, определяющие минимальное время, в течение которого частицы занимают определенное пространственное расположение, обусловливаются главным образом конструкцией применяемого для смешения оборудования. При смешении материал подвергается интенсивному деформированию с целью увеличения поверхности раздела между компонентами, что является непременным условием получения однородной по составу и свойствам смеси.

Возможно бесконечное разнообразие состояний смеси при различных взаимных расположениях компонентов. В связи с этим большинство методов оценки качества смеси (степени смешения) основано на методах статистического анализа.

Например, если появление одного из компонентов в пробах смеси — случайное, то, соблюдая принцип случайности при отборе проб, распределение этого компонента в пробах может быть с достаточной степенью точности описано законом нормального

распределения. Качество смешения в этом случае будет характеризоваться двумя основными параметрами: средним значением аргумента — концентрацией какого-либо из компонентов в смеси ($\bar{X}$) и средним квадратическим отклонением от этого среднего (σ).

Для сравнения смесей с количественно разным содержанием какого-то компонента пользоваться величинами σ неудобно, так как они будут количественно разными даже при одинаковой степени смешения смесей. Поэтому степень смешения обычно характеризуют величиной σ в ее относительной форме, т. е. коэффициентом вариации, в данном случае называемым коэффициентом неоднородности $K_с$ (в %):

$$K_с = \frac{\sigma \cdot 100}{C_0} = \frac{100}{C_0} \sqrt{\frac{\sum (C_i - C_0)^2 n_i}{n-1}} \qquad (I.1)$$

где C_i — концентрация одного из компонентов в пробах; C_0 — концентрация этого же компонента при идеальном распределении; n_i — число проб с концентрацией C_i; n — общее число проб.

Величина $K_с$ определяется по компоненту, массовая концентрация которого C_0 является наименьшей.

При оперировании значениями C меньший объем проб дает возможность более точно охарактеризовать смесь. Однако пробы должны быть достаточно большими, чтобы свести к минимуму квадратичные ошибки расчетов и измерений.

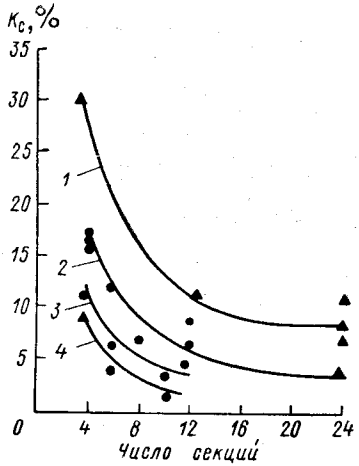


Рис. I.1. Зависимость коэффициента неоднородности от числа секций в гравитационных смесителях:

1 — желобчато-пересыпной; *2* — ударно-распылительный; *3* — виброгравитационный (при работе на среднедисперсных материалах); *4* — виброгравитационный (при работе на мелкодисперсных материалах).

Чем меньше значение величины коэффициента неоднородности $K_с$, тем выше степень смешения. При идеальном смешении $K_с \to 0$.

При работе смесителя величина $K_с$ изменяется со временем в зависимости от числа секций. Характер этого изменения для всех смесителей приблизительно одинаков: сначала резкое падение значений $K_с$, а потом постепенная их стабилизация (рис. I.1).

Каждый тип смесителя и конкретной сыпучей массы отличается предельным значением $K_{с.пр}$. Физически это объясняется тем, что наряду с прямым процессом смешения в каждом смесителе идут обратные процессы (сепарация, расслаивание и т. д.). Поэтому для каждого смесителя и конкретного материала можно установить свое оптимальное время смешения, равное тому минимальному промежутку времени, которое необходимо смесителю для приведения смеси в состояние с $K_{с.пр}$. В настоящее время в лучших современных конструкциях смесителей удается получить значения $K_{с.пр} = \pm 2\%$.

Наиболее распространенным методом проведения качественного анализа смешения является микроскопический. При этом в смесь вводят красящие вещества или предварительно окрашивают один из компонентов смеси. Можно также приготовить искусственную смесь из веществ, отличающихся окраской, но таких, которые имеют те же свойства, что и вещества, подлежащие перемешиванию, т. е. такую же крупность частиц, форму зерен и разность плотностей.

В результате микроскопического анализа определяется не только содержание окрашенного компонента, но и его распределение в объеме основного компонента, а также устанавливается форма и размер частиц компонентов (например, наполнителей).

По результатам микроскопического анализа подсчитывается все количество частиц наполнителя или их частей, расположенных в пределах поля зрения микроскопа или фотографии. Конечным результатом анализа является определение коэффициента однородности K_o по формуле:

$$K_o = \Delta d \sqrt{\frac{\sum n_i}{\sum n_i V^2}} \qquad (I.2)$$

где Δd — повторяющаяся разность в выбранной шкале размеров частиц; Σn_i — сумма всех частиц в поле зрения; $V = B - d_i$ — расхождение между величиной частиц d_i и средним размером частиц всего спектра $B = \Sigma n_i d_i / \Sigma n_i$.

Материал считается удовлетворительно смешанным при условии $K_o \geqslant 0{,}35 \div 0{,}4$.

Кроме микроскопического метода, для определения качества смешения могут применяться другие методы:

1) химический метод количественного анализа (весовой и объемный);

2) электрохимический метод;

3) метод, основанный на измерении электропроводности смеси;

4) метод, основанный на измерении электропроводности с помощью меченых атомов;

5) спектральный анализ (рентгеноскопия и инфракрасная спектроскопия).

Выбор соответствующего метода связан с рабочими условиями исследуемой системы и свойствами перемешиваемых веществ.

§ 2. СМЕСИТЕЛИ ДЛЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Все существующие конструкции смесителей для сыпучих материалов можно разделить по принципу действия на периодические и непрерывные.

В зависимости от конструкции воздействующего на смесь рабочего органа смесители периодического действия можно подразделить на следующие группы: смесители с вращающимся корпусом (смесительные барабаны), червячно-лопастные, плунжерные, ленточные; сме-

сительные бегуны; смесители центробежного действия с псевдоожижением сыпучего материала, с быстро вращающимся ротором; смесители центробежного действия с вращающимся конусом; пневмосмесители; усреднители.

При непрерывном процессе смешения подача сыпучего материала в рабочий объем смесителя так же, как и выгрузка, осуществляются непрерывно. При этом к смесителям предъявляется требование, чтобы соотношение компонентов, вводимых в него с определенной скоростью, в каждой пробе определенного объема на выходе из системы было достаточно близким к соотношению компонентов смеси в целом.

Смесители непрерывного действия можно подразделить на барабанные, червячно-лопастные, гравитационные, центробежного действия, прямоточные и каскадные, прямоточные ударного действия, вибросмесители.

Наиболее распространенными в настоящее время механизмами для осуществления процесса смешения сыпучих материалов являются барабанные смесители с вращающимся корпусом.

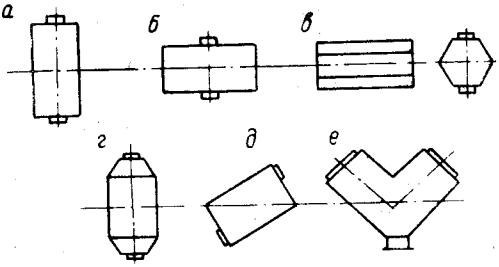


Рис. I.2. Смесительные барабаны с вращающимся корпусом и опорой на цапфах:

а, б — с цилиндрическим корпусом; *в* — с граненым корпусом; *г* — с биконическим корпусом; *д* — с наклонным корпусом; *е* — с бицилиндрическим корпусом.

Известны шесть основных типов смесительных барабанов с опорой на цапфах (рис. I.2).

Барабанные смесители относятся к тихоходным машинам (линейная скорость вращения барабана составляет 0,8—1 *м/сек*). Рабочее число оборотов в барабанных смесителях $n_{см}$ (в *об/мин*) определяется из соотношения:

$$n_{см} \leqslant \frac{12}{\sqrt{R}} \quad . \tag{I.3}$$

где R — радиус барабана, *м*.

В зависимости от степени заполнения в барабанных смесителях с цилиндрическим корпусом можно наблюдать три варианта движения массы.

1. При очень малой степени заполнения (3%) материал совершает колебательное движение, скользит по поверхности барабана как одно целое, без перераспределения.

2. Сыпучий материал скользит по поверхности барабана как одно целое, оставаясь неподвижным в состоянии равновесия на некотором достигнутом уровне. Этот режим наблюдается при степени заполнения 3—10%.

3. Сыпучий материал непрерывно обрушивается и перемешивается. При вращении барабана центр тяжести сегмента сыпучего

материала, образованный нормальным сечением барабана, поднимается на некоторый угол; на такой же угол наклонится его свободная поверхность к горизонту. Если этот угол меньше угла естественного откоса φ, то при достижении центром тяжести угла, равного φ, со свободной поверхности начнется обрушение материала, что способствует перераспределению частиц в плоскости сегмента. Такой режим наблюдается при степени заполнения $>10\%$.

Барабанные смесители с цилиндрическим корпусом работают в третьем режиме, степень их заполнения лежит в пределах 35—60%.

В смесителях с гладким цилиндрическим или граненым корпусом циркуляция материала происходит лишь в плоскостях сегментов. Для циркуляции сыпучего материала вдоль оси в корпусе монтируют либо лопатки, либо вращающиеся лопастные валы.

Технические характеристики смесителей, выпускаемых отечественной промышленностью, приведены в табл. I.1.

Таблица I.1

Технические характеристики отечественных барабанных смесителей

Характеристика	Смесительный барабан завода «Прогресс»		Конический барабан Уварова (3 *т*)
	1,5 *т*	3 *т*	
Рабочая емкость, *м*³	2	3,7	3
Число оборотов корпуса, *об/мин* . .	7,5	7	9
Мощность привода, *квт*	5,8	10	4,5
Число оборотов шнека, *об/мин* . .	36,5	57,5	—

Эффективность процесса смешения определяется следующими факторами, зависящими от типа оборудования:

1) удельной площадью для установки смесителя [в $(м^3/ч)/м^3$], условно измеряемой тем количеством квадратных метров производственной площади, которые приходятся на 1 $м^3/ч$ производительности установленного смесителя;

2) удельной производительностью смесителя [в $м^3/(ч/м^3)$], дающей возможность судить о съеме готового продукта с каждого кубического метра внутреннего объема смесителя;

3) удельной металлоемкостью [в $т/(м^3/ч)$], по величине которой можно судить о количестве металла какой-то условной доли смесителя (в *т*), приходящегося на 1 $м^3/ч$ производительности смесителя;

4) удельными энергозатратами (в $квт \cdot ч/т$), показывающими, какое количество энергии (в $квт \cdot ч$) требуется для получения 1 *т* готовой смеси;

5) временем смешения (в *ч*);

6) достижимым коэффициентом неоднородности готового продукта (в %).

Технико-экономическое сравнение смесителей различного типа, проведенное по этим факторам, приводится в табл. I.2. Там же даются рекомендации по выбору типа смесителя в зависимости от необходимого качества смешения и физико-механических свойств сыпучей массы.

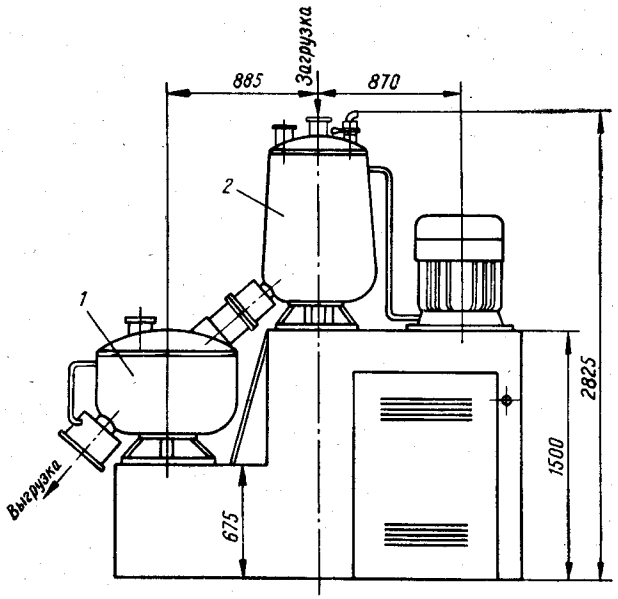


Рис. I.3. Двухстадийный лопастной смеситель:
1 — бак холодного смешения; *2* — бак горячего смешения.

Большой интерес представляет новый тип оборудования — двухстадийный лопастной (или турбоскоростной) смеситель, который предназначен для смешения порошкообразных термопластов (например, поливинилхлорида) с различными ингредиентами. Турбоскоростной смеситель состоит из баков холодного *1* и горячего *2* смешения (рис. I.3). Контактирующая с термопластом поверхность бака изготовлена из нержавеющей стали. Баки установлены на различной высоте, что позволяет направлять смешиваемую композицию самотеком из верхнего обогреваемого горячей водой бака в нижний охлаждаемый проточной водой бак. В баках расположены фасонные лопасти, валы которых проходят через днища баков. Лопасти вращаются двухскоростными электродвигателями через клиноременную передачу и редуктор.

Смешиваемые компоненты загружают в верхний бак, а готовую композицию выгружают через люк нижнего бака с пневматическим затвором. Емкость верхнего и нижнего баков соответственно равна

Таблица I.2

Технико-экономическое сравнение смесителей различного типа

Тип смесителя	Коэффициент заполнения, %	Удельная площадь для установки, $м^2/(м^3/ч)$	Удельная производительность, $(м^3/ч)/м^3$	Удельная металлоемкость, $т/(м^3/ч)$	Удельные энергозатраты, $кат \cdot ч/т$	Время смешения, $ч$	Коэффициент неоднородности K_c, %	Назначение
Смесители периодического действия								
Смесительный барабан . .	0,6	7—25	0,16—0,65	0,6—2,4	3,0—11,6	1—4	20—22	Для грубого смешения высокоабразивных материалов с хорошей сыпучестью
Конический барабан Уварова	0,6	8—20	0,22—0,65	0,6—1,8	2,2—6,7	1—3	10—18	То же
Бицилиндрический	0,6	14—18	0,32—0,65	0,68—1,36	2,7—5,3	1—2	10—15	Для грубого смешения высокоабразивных материалов с хорошей сыпучестью, при необходимости частой чистки смесителя
Биконический	0,6	8—16	0 32—0,6	0,5—1	2,7—5,5	1—2	6—12	То же
Червячно-лопастной . . .	0,9	4,5	1,6	4,2	12—17	0,5	12—14	Для грубого смешения малосыпучих материалов с увлажнением
Плужный с выдвижным механизмом	0,8	18	1,6	1,5	11—15	1	15—20	Для материалов с большой липкостью или увлажненных материалов
Ленточный	0,9	4,4	1,1	1,5	7,5—11	1	15—20	Для грубого смешения увлажненных материалов

Смесительные бегуны . .	—	3—6	—	0,25	0,5	0,1	4—14	Для приготовления плотных сыпучих масс с малым содержанием воздуха
Лопастной со взвешенным слоем	0,9	0,3	1,7	0,5	3—5	0,2	2,5—6	Для высококачественного смешения легких малоабразивных сухих сыпучих материалов. Чистка смесителя частая
Дисковый со взвешенным слоем	0,6	0,3	3	0,8—1	16—25	0,1	—	Для высококачественного смешения легких малоабразивных сыпучих материалов. Чистка смесителя редкая
Шнековый со взвешенным слоем	0,5	0,2	3	—	—	0,1	—	То же
Центробежный с вращающимся конусом	0,5	2	1,4	1,8	1	0,25	2—5	Для высококачественного смешения сухих сыпучих материалов с большой разницей плотностей
Усреднитель циркуляционный	0,9	1,6	0,88	1,6	2,3	1	5	Для высококачественного усреднения больших партий материалов (до 20 $м^3$)
Усреднитель «Наута» . . .	0,9	3	0,9	0,5—1	2,2—3	1	10	Для грубого усреднения зернистых порошкообразных материалов
Усреднитель со взвешенным слоем	0,6	0,4	0,4	0,3	0,2	1,5	—	Для грубого смешения больших партий однотипных сыпучих материалов с одинаковой зернистостью

Продолжение табл. I.2

Тип смесителя	Коэффициент заполнения, %	Удельная площадь установки, $м^2/(м^3/ч)$	Удельная производительность, $(м^3/ч)/м^3$	Удельная металлоемкость, $т/(м^3/ч)$	Удельные энергозатраты, $квт \cdot ч/т$	Время смешения, $ч$	Коэффициент неоднородности K_c, %	Назначение
Смесители непрерывного действия								
Вибросмеситель ВС-200Н	0,9	0,44—0,6	40—50	0,2—0,3	1—1,5	—	5	Для высококачественного смешения увлажненных или малосыпучих материалов
Смесительный барабан . .	0,1	0,16	8,2	0,07	0,2	—	25	Для очень грубого смешения сыпучих материалов с увлажнением
Червячно-лопастной одновалковый	0,9	0,8—1	30	0,07—0,1	0,3—0,6	—	25—30	Для грубого смешения с увлажнением
Червячно-лопастной двухвалковый	0,9	0,5—1	5—10	0,17—0,32	0,8—1,2	—	15	То же
Гравитационный	0,01	1,0	5—10	0,13	0	0,006	3—5	Для высококачественного смешения сухих зернистых материалов с хорошей сыпучестью
Центробежно-прямоточный	0,01	0,1	10	0,08	0,2	0,003	3—5	Для высококачественного смешения сухих материалов с хорошей сыпучестью
Центробежно-каскадный	0,5	0,1	10	0,15—0,2	0,2—0,5	0,05	2—4	То же

200 и 300 *л*, скорость вращения лопастей 305; 610 и 47; 94 *об/мин*. Производительность смесителя при охлаждении материала до 40—60° С составляет 100—120 *кг/ч*.

§ 3. СМЕШЕНИЕ РАСПЛАВОВ ПОЛИМЕРОВ, ПАСТ И ТЕСТООБРАЗНЫХ МАСС

Смешение полимеров, находящихся в жидком (расплавленном) состоянии, а также в пасто- и тестообразном виде, заключается в пространственной перегруппировке частиц компонентов, продолжающейся до достижения заданной степени однородности смеси. При этом под частицей компонентов понимается частица бесконечно малого объема, имеющая, однако, макроскопический характер и состоящая из молекул значительно меньшего объема.

Эффективность процесса смешения зависит от методов его проведения, конструктивных особенностей смесителей, влияющих на интенсивность смешения (геометрические характеристики аппарата, степень заполнения, скорость и характер циркуляции материала и т. д.), а также от физико-механических характеристик смеси и ее отдельных компонентов (вязкость, соотношение компонентов в смеси, форма частиц, их дисперсность и т. д.).

Смешение расплавов полимеров осуществляется главным образом посредством вынужденной конвекции, которая достигается определенным направлением движения жидкости. Решающее влияние при этом играет режим течения жидкости, зависящий от скорости потока, вязкости жидкости и геометрической характеристики пространства, через которое жидкость протекает.

Первостепенное значение для смешения имеет турбулентность потока жидкости. При турбулентном режиме из одних слоев жидкости в другие переходят не только молекулы, но и элементарные массы жидкости, причем массопередача возрастает пропорционально турбулентности потока.

Критерием, который позволяет определить, будет ли течение ламинарным или турбулентным, является число Рейнольдса Re, выражаемое отношением:

$$\mathrm{Re}=\frac{vL}{\nu} \qquad (I.4)$$

где v — скорость потока жидкости; ν — кинематический коэффициент вязкости; L — определяющий линейный размер.

Переход ламинарного режима в турбулентный при повышении скорости потока происходит не сразу по достижении критического значения числа Рейнольдса. Между ламинарным и турбулентным режимами существует промежуточная область. В частности, установлено, что при перемешивании механическими мешалками ламинарный режим определяется областью изменения числа Рейнольдса $\mathrm{Re} = 10 \div 20$, переходная область $\mathrm{Re} = 10 \div 10^3$, область устойчивой турбулентности $\mathrm{Re} = 10^4 \div 10^6$.

Следует учитывать, что перемешивание высоковязких жидкостей, к которым относятся расплавы полимеров, а также смешение паст и тестообразных материалов (например, высоконаполненных полимеров с дисперсным наполнителем) протекает в большинстве случаев в области слаборазвитой турбулентности или при ламинарном режиме. Механизм смешения таких систем заключается в сдвиге материалов в параллельные слои, что приводит к увеличению межфазной поверхности. Чем меньше толщина таких слоев, тем эффективнее идет процесс смешения. Толщина слоев должна быть доведена до величины порядка размера частиц, что в принципе можно достичь увеличением скорости циркуляции при одновременном усложнении траектории движения частиц.

Для правильного выбора оборудования при смешении расплавов полимеров, паст и тестообразных масс необходимо знать, какой результат перемешивания может быть достигнут в системе при использовании устройства данного типа и размера и каково время, необходимое для достижения полного перемешивания материала с известными реологическими характеристиками. Это устанавливается специальными опытами, в которых прежде всего определяется диаграмма линий токов частиц материалов.

Наиболее простым методом визуального наблюдения линий тока является окрашивание исследуемого материала. Указанный метод применим и в тех случаях, когда окрашен один из компонентов смеси, а также когда перемешиваемые жидкости или массы бесцветны. Исследование в последнем случае проводят, вводя небольшое количество красящего вещества в жидкость (расплав). При этом измеряют время от момента подачи красителя до момента достижения равномерного окрашивания всей массы перемешиваемой жидкости.

Для определения интенсивности окрашивания сравнение проб следует проводить в колориметре, в котором в качестве эталона применяют раствор такой концентрации, какая будет в сосуде после равномерного распределения красителя в объеме.

Количественная оценка основана на определении времени перемешивания, необходимого для выравнивания температуры массы после того как в какую-то часть аппарата в массу было быстро введено известное количество тепла. Для создания теплового импульса используют электронагреватели сопротивления. Необходимое количество тепла должно значительно превышать тепло, сообщаемое жидкости за счет трения при перемешивании, чтобы последним можно было пренебречь. Продолжительность перемешивания определяют интервалом времени, протекающим с момента создания температурного градиента при введении теплового импульса до выравнивания температуры.

Контроль качества смешения наполненных полимеров с дисперсным наполнителем осуществляется следующим образом. В смесь вводится определенное количество твердых частиц, отличающихся по окраске от основной массы. В процессе смешения производится отбор проб и приготовляются образцы для проведения микроскопи-

ческого анализа (срезы массы). Отобранные образцы контролируют подсчетом частиц под лупой или микроскопом.

Для оценки однородности пластифицированных смесей определяются какие-либо зависящие от структуры массы показатели ее свойств: пластичность, твердость, плотность и т. д. Полученные численные значения показателей подставляются в формулу I.1 вместо значений концентраций C_0 и C_i.

§ 4. СМЕСИТЕЛИ ДЛЯ РАСПЛАВОВ ПОЛИМЕРОВ, ПАСТ И ТЕСТООБРАЗНЫХ МАСС

На практике наиболее распространены механические перемешивающие устройства. Они состоят из трех основных частей: мешалки, являющейся рабочим элементом устройства; вертикального, горизонтального или наклонного вала, на котором закреплена мешалка, и привода, с помощью которого вал приводится в движение.

Мешалки можно классифицировать по конструктивной форме или по типу создаваемого ими потока жидкости.

В зависимости от конструктивной формы различают мешалки лопастные, пропеллерные, турбинные и смешанные. В большинстве случаев это вращающиеся мешалки.

В зависимости от характера потока, образуемого мешалкой в сосуде, мешалки создают:

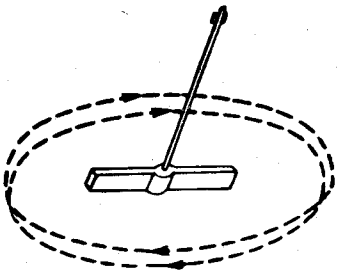


Рис. I.4. Схема тангенциального потока.

1) тангенциальное течение, при котором жидкость в сосуде движется параллельно пути, описываемому мешалкой (рис. I.4);

2) радиальное течение, при котором жидкость течет от мешалки перпендикулярно оси ее вращения (рис. I.5);

3) осевое течение, при котором жидкость поступает и вытекает из мешалки параллельно оси ее вращения (рис. I.6).

В зависимости от поворота лопасти пропеллера по отношению к направлению вращения (правый или левый винт) различают два типа вертикальных мешалок с осевым течением жидкости в сосуде: мешалки, засасывающие жидкость от дна и нагнетающие жидкость к поверхности, и мешалки, засасывающие жидкость от поверхности и нагнетающие ее ко дну.

При перемешивании лопастной мешалкой с прямыми лопастями устанавливается преимущественно тангенциальное течение. Ярко выраженное радиальное течение создают турбинные мешалки со статором. К группе мешалок, вызывающих осевой поток, относятся пропеллерные и вибрационные мешалки.

Практически в большинстве случаев имеет место смешанное течение жидкости, которое является результатом сложения потоков двух или даже трех основных типов течения жидкостей.

Условия перемешивания высоковязких жидкостей, паст и тестообразных масс существенно отличаются от условий перемешивания жидких сред. Чем выше консистенция среды, тем медленнее движется материал в аппарате и тем меньшей будет эффективность турбулентности. При центральном расположении мешалки движение массы по периферии может быть весьма медленным, и в некоторых случаях материал будет прилипать к стенкам аппарата. Поэтому смеситель должен быть сконструирован так, чтобы материал все время передвигался в область эффективного перемешивания или чтобы мешалка проходила по всему содержимому сосуда.

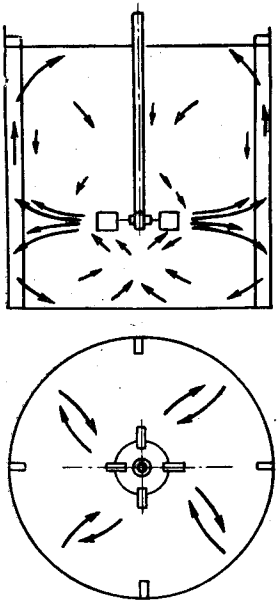


Рис. I.5. Схема радиального потока.

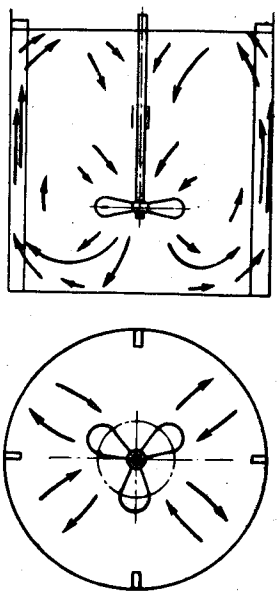


Рис. I.6. Схема осевого потока.

Существующее оборудование для смешения высоковязких жидкостей, паст и тестообразных масс по признаку возрастающей их консистенции можно расположить в следующем порядке: 1) аппараты с лопастными мешалками; 2) аппараты с турбинными мешалками; 3) шаровые мельницы; 4) мешатели с вращающимся сосудом и неподвижной лопастью; 5) мешатели с вращающимися сосудом и лопастью; 6) аппараты с ленточными мешалками; 7) аппараты с дисковыми мешалками; 8) аппараты с рамными и якорными мешалками; 9) аппараты с гребенчатыми мешалками; 10) мешатели с двойными лопастными мешалками, вращающимися в противоположных направлениях; 11) мешатели с планетарными мешалками; 12) валковые машины; 13) смесительные бегуны; 14) мешатели с вертикальным винтом; 15) лопастные червячные смесители; 16) роторные смесители.

При смешении тестообразных масс эффективны роторные смесители различной конструкции. Собственно переминание и смешение материала в этих смесителях осуществляется роторами, вращающимися вокруг горизонтальной оси. В химической промышленности чаще всего применяют лопасти, показанные на рис. I.7, *а*. Для жидких паст обычно используют лопасти, приведенные на рис. I.7, *б*. Для диспергирования красок и пигментов в пластических массах или для создания водных дисперсионных растворов каучука применяют лопасти Z-образной формы (рис. I.7, *в*). В целях переминания небольших количеств высококонсистентных масс применяют роторы, изображенные на рис. I.7, *г*, а для смешения больших количеств — роторы, показанные на рис. I.7, *д*. Для гомогенизации волокнистого материала предназначены роторы с зубчатыми скребками (рис. I.7, *е*). Для переминания каучука следует пользоваться массивными роторами (рис. I.7, *ж*).

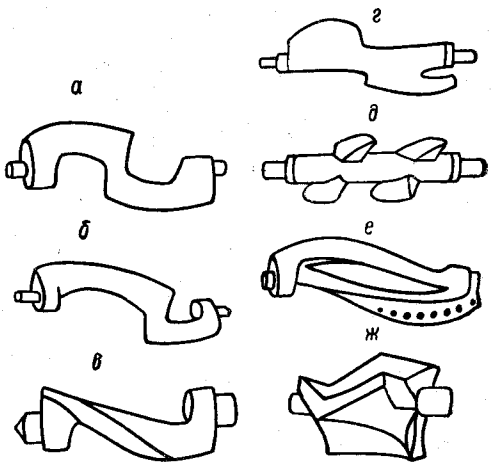


Рис. I.7. Различные формы лопастей смесителя.

В тех случаях, когда необходимо обрабатывать большие количества материала, для смешения высоковязких жидкостей и тестообразных масс применяют смесители, в которых в одном направлении вращаются два профилированных червяка, находящихся во взаимном зацеплении. При каждом обороте червяки счищают один с другого прилипший материал. Вращение червяков обеспечивает интенсивное разминание массы и ее перемещение к разгрузочному отверстию, которое находится в противоположном конце от места ввода компонентов.

Для дезагрегации частиц твердой фазы, смачивания их и равномерного распределения в основном компоненте смеси предназначены валковые машины (см. гл. V). Экструдеры (см. гл. VI) также могут быть использованы для осуществления процесса смешения расплавов полимеров. Их возможности, однако, ограничены относительно малыми сдвиговыми деформациями материала, поэтому обычно они применяются после предварительного перемешивания компонентов в смесителях.

При смешении расплавов полимеров, паст и тестообразных масс, как и при любом смешении, стремятся увеличивать поверхность раздела между компонентами. Работа, затрачиваемая на деформацию материалов в таком состоянии, намного больше, чем это необходимо для сыпучих или жидких компонентов.

Основные закономерности силового воздействия на материал в смесителе можно установить, рассматривая расплав как гомогенную массу.

Степень деформации материала характеризуют следующим образом:

$$\left(\frac{dv}{dy}\right)_{ср} = \frac{v_1 - v_2}{h} \qquad (I.5)$$

где $(dv/dy)_{ср}$ — средний градиент скорости сдвига; v_1 и v_2 — линейные скорости двух поверхностей, между которыми деформируется перерабатываемый материал; h — расстояние между поверхностями.

Вследствие сложной конфигурации роторов в различных частях деформируемой массы создаются разные значения градиентов скорости сдвига и, следовательно, различные условия смешения.

Бо́льшая часть механической энергии, затрачиваемой на деформацию перерабатываемых материалов, переходит в тепловую. По мере смешения материал становится все более пластичным и в конечном счете начинает течь под воздействием сдвиговых напряжений. Рассматривая эту смесь в узком зазоре между вершиной гребня ротора и стенкой камеры как жидкость с высокой вязкостью, подверженную однородному сдвигу, можно, в соответствии с законом Ньютона, записать:

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \qquad (I.6)$$

где τ — напряжение сдвига; μ — динамический коэффициент вязкости жидкости; dv/dy — градиент скорости сдвига.

При постоянном значении величины зазора h на всей ширине вершины гребня лопасти ω градиент скорости можно рассчитать следующим образом:

$$\frac{dv}{dy} = \frac{v}{h} \qquad (I.7)$$

где v — линейная скорость поверхности гребня лопасти; h — зазор между гребнем лопасти и стенкой камеры.

Мощность N, затрачиваемую на привод лопасти, можно определить как произведение силы сопротивления движению лопасти P на ее скорость v:

$$N = Pv = \tau S v = \mu \frac{v}{h} \omega L v = \mu\omega \frac{L}{h} v^2 \qquad (I.8)$$

При $v = \pi D_р n_р$ окончательно получим:

$$N = \mu\omega \frac{L}{h} \pi^2 D_р^2 n_р^2 \qquad (I.9)$$

Кроме указанных выше, в уравнениях (I.8) и (I.9) приняты обозначения: L — длина вершины гребня лопасти; S — площадь сдвига; $D_р$ — наружный диаметр ротора; $n_р$ — число оборотов ротора.

Для перемешивания высоковязких масс в смесителе необходима значительная мощность, например, для смесителя емкостью 130 *л* требуется мощность электродвигателя 200 *квт*.

Рассмотрим отдельные типовые конструкции промышленных смесителей.

Широко распространен скоростной смеситель периодического действия типа «Бенбери», показанный на рис. I.8. Используется он в основном как резиносмеситель. Два его вала с лопастями *3* вращаются во взаимно противоположных направлениях. В закрытый корпус *4* через воронку *1* подается масса, которая сжимается с помощью поршневого затвора *2*. При этом разгрузочный патрубок запирается специальным устройством *5*.

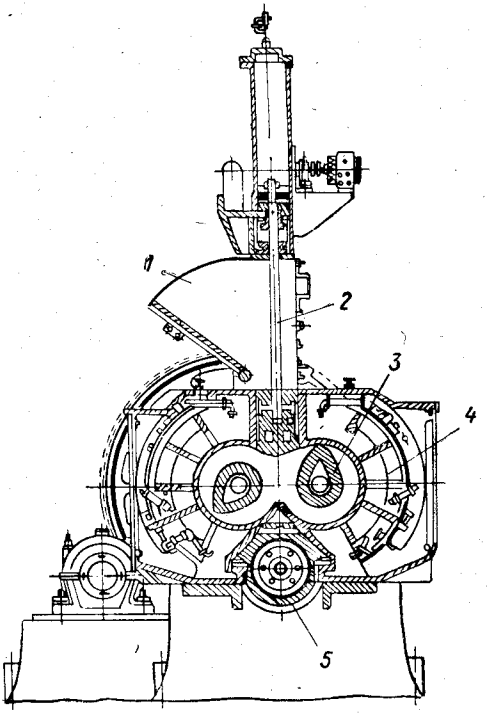


Рис. I.8. Скоростной смеситель периодического действия типа «Бенбери»:

1 — воронка; *2* — поршневой затвор; *3* — лопасти; *4* — корпус смесителя; *5* — запорное устройство.

В качестве смесителей непрерывного действия широкое распространение получили смесители-грануляторы фирмы «Werner Pfleiderer» (ФРГ), осциллирующие смесители-пластификаторы (ко-кнеторы) фирмы «Buss» (Швейцария) и микструдеры фирмы «Krauss Maffei» (ФРГ).

Червячно-кулачковые смесители-грануляторы фирмы «Werner Pfleiderer» созданы на базе двухчервячной машины. Профиль нарезки предусматривает обработку материала в относительно тонком слое и самоочистку червяков в процессе работы. Червячные секции смесителя-гранулятора чередуются по длине с участками, образуемыми специальными смесительными кулачками. При вращении червяков объем пространства, в котором находится перемешиваемый материал, постоянно изменяется, вследствие чего создаются условия для получения достаточно эффективного перемешивающего действия. Зазоры между вершинами смесительных кулачков и внутренней стенкой корпуса составляют 0,02 *мм*. Деформации сдвига в сегментных зонах смесительных кулачков относительно невелики, и в зависимости от скорости вращения градиент скорости

изменяется в пределах 5—50 $сек^{-1}$. Смесители-грануляторы особенно эффективны для процессов, не требующих больших сдвиговых деформаций, и в том случае, когда необходимо сохранить структуру и форму наполнителя (например, стекловолокон).

Ко-кнеторы фирмы «Buss» — одночервячные машины, у которых червяк разделен на винтовые кулачки тремя каналами, расположенными по образующим через 120°. Червяк кроме вращательного имеет возвратно-поступательное (осциллирующее) движение. В цилиндре ко-кнетора установлены три ряда зубьев, которые при осевом перемещении червяка в передней и задней крайних точках находятся во впадинах винтовой нарезки червяка между кулачками. Благодаря такому взаимодействию между винтовыми кулачками червяка

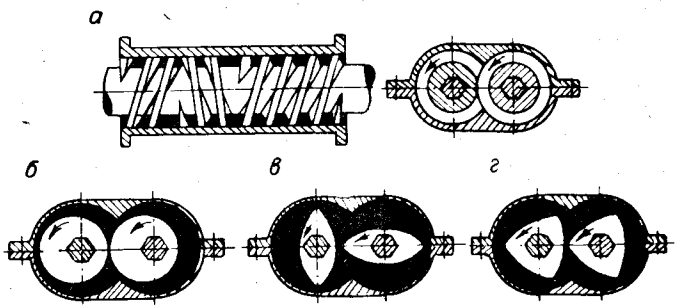


Рис. I.9. Схемы смесителей непрерывного действия:

а — двухчервячный смеситель; *б* — смеситель с эксцентриковыми кулачками; *в* — смеситель с линзовидными кулачками; *г* — смеситель с трехгранными кулачками.

и зубьями цилиндра обеспечивается интенсивное перемешивание и сдвиг частиц материала. Величины зазоров между смесительными зубьями, которые устанавливаются на внутренней стенке корпуса, и сердечником червяка относительно невелики (6—16 *мм*), а градиенты скорости в этих зазорах не превышают 50 $сек^{-1}$.

В микструдере фирмы «Krauss Maffei» конструктивно сочетаются особенности смесителя тяжелого типа периодического действия и непрерывно работающего экструдера. В первой загрузочной части микструдер выполнен в виде двух зацепляющихся транспортирующих червяков, во второй — в виде двух смесительных лопастей (по профилю напоминающих лопасти смесителя типа «Бенбери»), которые в свою очередь соединяются через специальные конические переходы с двумя червячными участками, заканчивающимися гранулирующими устройствами.

При производстве и переработке полимерных материалов применяются также отечественные одночервячные и двухчервячные смесители непрерывного действия, выпускаемые заводами «Большевик» (г. Киев) и Тамбовхиммаш.

Двухчервячные смесители (рис. I.9, *а*) выполняются с правой и левой нарезкой червяков, с эксцентриковыми кулачками

(рис. I.9, *б*), с линзовидными кулачками (рис. I.9, *в*), с самоочищающимися трехгранными кулачками (рис. I.9, *г*).

Для осуществления непрерывных процессов смешения, механохимического совмещения и наполнения полимеров и эластомеров применяется двухроторный модификатор.

Принцип действия двухроторного модификатора заключается в следующем. Загружаемые в машину раздельно или в предварительно смешанном виде компоненты захватываются вращающимися навстречу друг другу роторами, которые в загрузочной части выполнены в виде зацепляющихся червяков с транспортирующим профилем нарезки. Далее материал поступает в зону смешения и совмещения. Профиль роторов в этой зоне набирается из специальных насадок или кулачков, располагающихся на валу со смещением на угол 30°, т. е. в виде ступенчатой винтовой линии.

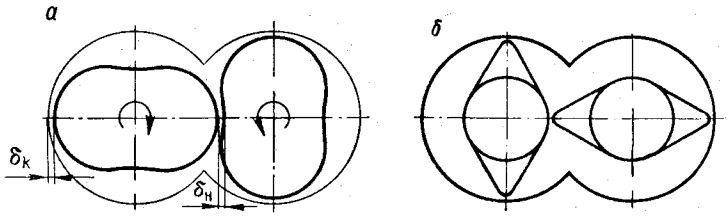


Рис. I.10. Типы кулачков модификатора:
а — спиралевидные кулачки; *б* — ромбические кулачки.

Геометрия кулачка определяет характер и интенсивность механического воздействия на обрабатываемые материалы. В случае установки кулачков, профиль которых в плоскости представляет собой фигуру, каждая четверть которой описывается уравнением спирали Архимеда, интенсивное механическое воздействие на обрабатываемые материалы (градиент скорости до 250 $сек^{-1}$) обеспечивается в зазоре $\delta_н$ постоянной величины между насадками и в зазоре $\delta_к$ между вершиной насадки и поверхностью корпуса (рис. I.10, *а*).

Такая повышенная интенсивность механического воздействия сопровождается, как правило, структурными изменениями обрабатываемых компонентов. Интенсивность механического воздействия может быть уменьшена за счет увеличения рабочих зазоров (сменные насадки) или за счет уменьшения скорости вращения роторов. В тех случаях, когда процесс требует особо «мягких» условий переработки материала, рабочие насадки модификатора могут быть заменены другими, полностью исключающими обработку в малых зазорах. Примером такого профиля могут служить кулачки, имеющие форму ромба (рис. I.10, *б*). При сохранении структуры наполнителя они обеспечивают достаточно однородное распределение его в полимере.

§ 5. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ

Измельчение условно, по размеру кусков исходного сырья и конечного продукта, разделяется на два класса — дробление и помол. Дроблением получают крупные куски материала (от 250 до 1 *мм*). Помол может быть грубым, средним, тонким и коллоидным. Помолу подвергают куски материала с размерами от 5 до 0,1 *мм*. После измельчения размеры их изменяются— от 0,1 до 0,001 *мм*.

Отношение размеров кусков до и после измельчения называют степенью измельчения. Практически размер наибольших кусков определяется отверстием сита, через которое проходит сыпучий материал. При этом форма отверстия сит для исходного и измельченного материалов должна быть одинаковой (круглой, квадратной, прямоугольной и т. п.).

Крупность кускового и порошкообразного материалов с указанием линейных размеров наибольшего и наименьшего кусков может быть охарактеризована по одному из следующих способов:

1) по верхнему пределу крупности ($-d$), что означает «не крупнее d» (здесь d — поперечное сечение куска);

2) по нижнему пределу крупности ($+d$), что означает «не мельче d»;

3) по нижнему и верхнему пределам крупности ($+d$, $-d$);

4) по фракционному составу в долях и процентах;

5) по удельной поверхности материала, т. е. поверхности частиц, приходящейся на единицу веса или объема материала.

Материал можно охарактеризовать также величиной допустимого процентного содержания какой-либо фракции: крупной, средней или мелкой.

По способу измельчения оборудование различается следующим образом: раскалывающего (разламывающего), раздавливающего, истирающе-раздавливающего, ударного и ударно-истирающего действия; отдельную группу представляют коллоидные измельчители.

Оборудование для процесса дробления по конструкции и принципу действия разделяется на щековые, конусные, валковые, молотковые дробилки и бегуны.

Щековые дробилки могут быть с простым (рис. I, 11, *а*) и сложным (рис. I.11, *б*) качанием подвижной щеки. Куски материала раздавливаются и раскалываются в зазоре между неподвижной *1* и подвижной *2* щеками в результате их периодического сближения. В дробилках со сложным качанием щеки материал еще и истирается.

В конусных дробилках (рис. I.11, *в*) материал раздавливается и частично деформируется между двумя конусами. Внешний рифленый конус *3* неподвижен, а внутренний (дробящий) конус *4*, установленный на вертикальном валу *5*, движется по окружности эксцентрично по отношению к внешнему конусу. В конусных дробилках материал измельчается непрерывно.

Материал в валковых дробилках (рис. I.11, *г*) раздавливается и частично истирается в зазоре между двумя валками *6* и *7*, вращающимися навстречу друг другу.

В молотковых дробилках (рис. I.11, *д*) куски материала дробятся при ударе молотками *9*, свободно подвешенными на быстро вращающемся роторе *8* (при этом материал частично истирается).

Бегуны (рис. I.11, *е*) предназначены для мелкого дробления и грубого помола. Материал раздавливается и истирается в зазоре между двумя вращающимися катками *10* и чашей *11*.

Оборудование для осуществления процесса помола по конструкции и принципу действия разделяется на барабанные, роликовые, молотковые, пневматические, вибрационные и струйные мельницы.

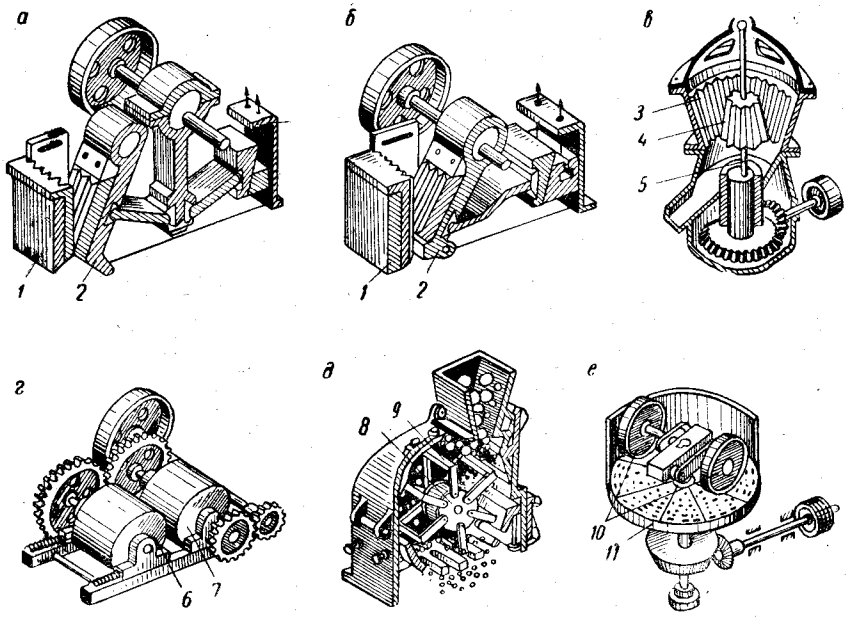


Рис. I.11. Дробилки:

а — щековая (с простым качанием щеки); *б* — щековая (со сложным качанием щеки); *в* — конусная; *г* — валковая; *д* — молотковая; *е* — бегуны;
1 — неподвижная щека; *2* — подвижная щека; *3* — внешний неподвижный конус; *4* — внутренний конус; *5* — вал; *6*, *7* — валки; *8* — ротор; *9* — молотки; *10* — катки; *11* — чаша.

Барабанные (шаровые и стержневые) мельницы используются для тонкого измельчения (рис. I.12, *а*). Барабан *1* мельницы приводится в движение от электродвигателя *3* через редуктор *2*.

В роликово-маятниковых мельницах (рис. I.12, *б*) материал раздавливается между неподвижным кольцом *7* и быстро вращающимися роликами *6*, шарнирно соединенными с крестовиной *5*, которая укреплена на вертикальном валу *4*.

Молотковые (ударные) мельницы предназначены для размола (рис. I.12, *в*). В некоторых случаях они обеспечивают подсушку материала в процессе размола. Молотковые мельницы изготовляются с жестко закрепленными или с шарнирно подвешенными на роторе *9*

молотками *8*. К этой группе оборудования относятся также дезинтеграторы (рис. I.12, *г*); измельчение в них происходит при ударе частиц о пальцы *11*, закрепленные в дисках *10*, при ударе частиц одна о другую и отчасти при истирании.

Пневматические мельницы (рис. I.12, *д*) используются для тонкого измельчения. Материал в них измельчается при ударе. Кусочки

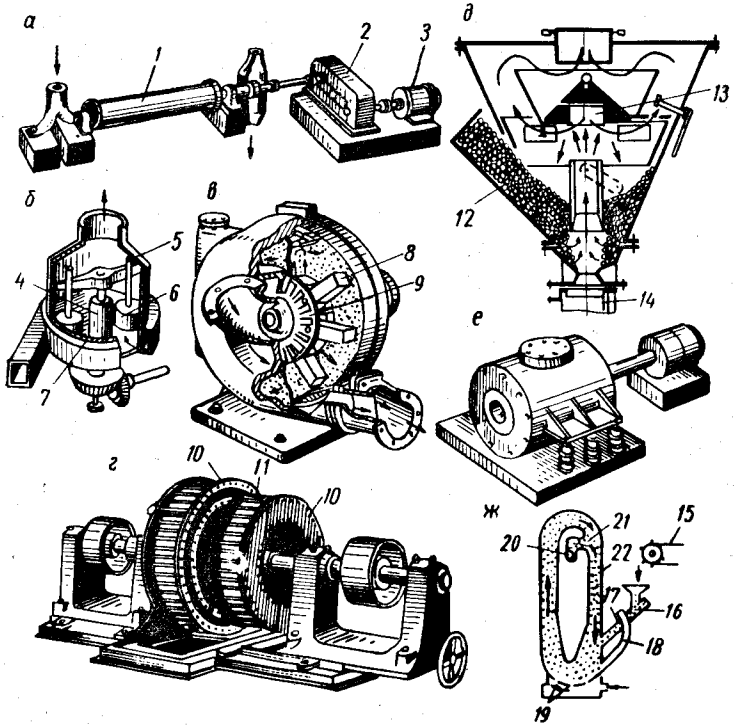


Рис. I.12. Мельницы:

а — барабанная; *б* — роликово-маятниковая; *в* — молотковая; *г* — дезинтегратор; *д* — пневматическая; *е* — вибрационная; *ж* — струйная;
1 — барабан; *2* — редуктор; *3* — электродвигатель; *4* — вал; *5* — крестовина; *6* — ролики; *7* — неподвижное кольцо; *8* — молотки; *9* — ротор; *10* — диски; *11* — пальцы; *12* — материал; *13* — размольная плита; *14* — сопло; *15* — питатель; *16*, *18* — трубы; *17* — диффузор; *19* — сопло; *20* — выходное отверстие; *21* — жалюзи; *22* — корпус.

12 материала, подлежащие измельчению, подхватываются воздухом, который нагнетается через сопло *14*, летят со скоростью 20—80 *м/сек* и ударяются о размольную плиту *13*, а также друг о друга.

Вибрационные мельницы (рис. I.12, *е*) применяются для тонкого и сверхтонкого помола материалов.

Струйные мельницы (рис. I.12, *ж*) предназначены для сверхтонкого помола. Размол в них происходит за счет соударения частиц материала, находящихся в турбулентном воздушном потоке. Частицы материала подаются ленточным питателем в приемный бункер. Далее

материал по трубе *16* направляется в зону диффузора *17*, где он подхватывается воздухом, поступающим по трубе *18*. Затем материал подается в корпус *22* мельницы, выполненной в виде трубы эллиптической формы. В нижней части корпуса имеются сопла *19*, через которые поступает воздух.

Скорость воздуха в соплах доходит до 460 *м/сек*. Воздух обычно подогревают, что обеспечивает подсушивание материала. Поступающий в корпус мельницы воздух подхватывает частицы материала и заставляет их циркулировать в трубе. Частицы, двигаясь в турбулентном воздушном потоке, интенсивно измельчаются, ударяясь друг о друга и о стенки корпуса.

Отработанный воздух с частицами готового продукта проходит через классифицирующее жалюзийное устройство *21* и далее через выходное отверстие *20* поступает в устройство для осаждения. Наклон лопаток жалюзийного устройства можно регулировать и тем самым достигать требуемой тонины помола.

Классификация по крупности зерен отходящего продукта происходит здесь следующим образом. В потоке воздуха с частицами материала различных размеров, движущегося по верхнему закругленному участку, происходит сепарация материала: более крупные частицы, обладающие большой массой, под действием центробежных сил отлетают к наружной стенке корпуса и продолжают движение в трубе, а менее крупные частицы, скапливающиеся у внутренней стенки, увлекаются отходящим потоком и выносятся наружу.

Обычно при измельчении твердых материалов редко удается сразу получить продукт требуемого состава. Для этой цели применяют различные установки, в которых разделение сыпучих материалов на фракции производится следующими способами: просеиванием или грохочением через сита и решетки; под действием гравитационно-инерционных или гравитационно-центробежных сил.

Способ разделения порошкообразных материалов на фракции просеиванием их через сита является наиболее простым и распространенным. При этом материал пропускают через сито с определенным размером отверстий d. Частицы, размер которых меньше размера отверстия в сите, проходят через него (фракция $-d$), а более крупные задерживаются (фракция $+d$). Применяя сита с разными отверстиями, можно разделить зернистый материал на любое количество фракций.

* * *

На производстве рабочие места и оборудование для измельчения должны быть обеспечены нормальным освещением и вентиляционными устройствами. Все приборы автоматического регулирования и управления следует устанавливать с учетом перехода (при необходимости) на ручное управление исполнительными механизмами. Для дробильного оборудования необходимо предусмотреть устройство встроенных укрытий и местных отсосов у бункеров.

ЛИТЕРАТУРА

Н. А. Козулин, И. А. Горловский, Оборудование заводов лакокрасочной промышленности. Изд. «Химия», 1968.

Н. А. Козулин, А. Я. Шапиро, Р. К. Гаврурина, Оборудование для производства и переработки пластических масс, Изд. «Химия», 1967.

Д. М. Мак-Келви, Переработка полимеров, Изд. «Химия», 1965.

П. М. Сиденко, Измельчение в химической промышленности, Изд. «Химия», 1968.

З. Штербачек, П. Тауск, Перемешивание в химической промышленности Госхимиздат, 1963.

Глава II

МАШИНЫ ДЛЯ ТАБЛЕТИРОВАНИЯ

§ 1. ОСОБЕННОСТИ ТАБЛЕТИРОВАНИЯ ПЛАСТМАСС

Формование заготовок — таблеток определенной конфигурации, размеров и плотности из порошкообразных, гранулированных или волокнистых пластмасс — под действием сжимающего усилия называется таблетированием.

Таблетирование является предварительной операцией перед прессованием. Оно позволяет более точно дозировать материал, а также относительно полно удалять из него воздух (и, как следствие, повышает теплопроводность материала). Применение таблеток упрощает процесс подогрева пластмасс в генераторах токов высокой частоты и контактных нагревателях. При использовании таблетированного материала уменьшается загрузочная камера прессформы, повышается скорость ее замыкания и снижаются потери материала.

Качество таблеток характеризуется прочностью и плотностью и зависит в первую очередь от таблетируемости материала, т. е. от его способности спрессовываться в компактную таблетку (обычно цилиндрической формы) под действием сжимающего усилия. Таблетируемость порошкообразных прессматериалов зависит от их химического и гранулометрического состава, влажности и температуры материала, наличия в нем смазывающих присадок, величины и скорости приложения давления таблетирования (сжатия), выдержки таблеток под давлением, а также условий таблетирования (одностороннего или двухстороннего сжатия). Рассмотрим кратко влияние отмеченных факторов.

Экспериментально установлено, что с увеличением скорости сжатия материала его таблетируемость ухудшается. При возрастании скорости сжатия в 2—2,5 раза для получения таблеток идентичной прочности требуется повышение удельного давления таблетирования на 25—30%. Это объясняется тем, что при малых скоростях сжатия (деформации) энергия сжатия успевает полностью или в большой степени распределиться в материале. При увеличенной скорости сжатия сопротивление материала возрастает с увеличением скорости деформации.

Значения удельных давлений таблетирования некоторых порошкообразных прессматериалов для различных типов таблеточных

машин (см. § 2 данной главы) в зависимости от быстроходности последних приведены в табл. II.1.

Таблица II.1

Удельные давления таблетирования (в $Мн/м^2$) для различных типов таблеточных машин
В скобках приведены величины быстроходности машин.

Таблетируемый материал	Тип машины		
	ротационная (60—600 *цикл/мин*)	эксцентриковая (15—40 *цикл/мин*)	гидравлическая (4,5—35 *цикл/мин*)
Фенопласты	79—98	59—79	39—59
Аминопласты	118—176	79—118	69—88

Прочность и плотность таблеток из пресспорошков существенно зависит от давления таблетирования (рис. II.1). В начале процесса таблетирования прочность (участок *АБ*) и плотность таблеток возрастают пропорционально давлению, и поверх-

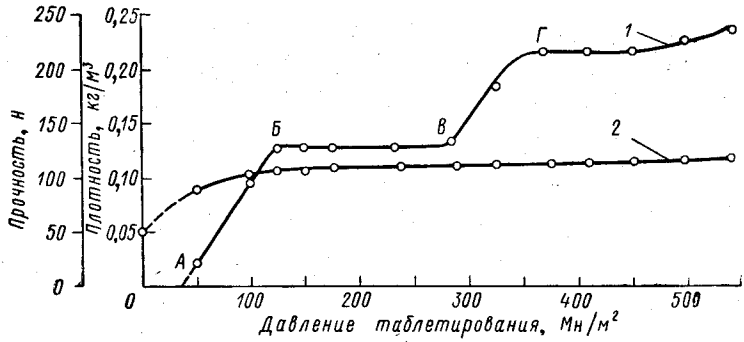


Рис. II.1. Зависимость прочности (кривая *1*) и плотности (кривая *2*) таблеток от давления таблетирования.

ность контактов увеличивается за счет упорядочения укладки частиц порошка. При последующем увеличении давления (участок *БВ*) образуется пористая заготовка таблетки. Дальнейшее уплотнение порошкообразного материала возможно лишь при условии деформации его частиц. У пористых тел отсутствует резкая граница между областями упругой и остаточной деформаций, так как в местах контактов зерен могут быть напряжения, превышающие предел текучести, в то время как центральная часть зерен находится в области упругой деформации. На участке *БВ* повышение давления не всегда приводит к увеличению прочности таблетки. Это объясняется тем, что в определенном интервале давлений процесс сжатия мате-

риала с образованием таблетки протекает с преобладанием упругой деформации.

На участке *ВГ* с повышением давления напряжение в зернах превышает предел текучести и процесс протекает с преобладанием пластических деформаций. Прочность таблеток увеличивается здесь с повышением давления таблетирования. При увеличении давления от 100 до 500 *Мн/м²* наблюдается монотонное повышение плотности таблеток.

Размеры зерен прессматериала непосредственно влияют на прочность таблеток, снижая ее при своем увеличении. Для достижения оптимальной прочности таблетки из пресспорошка с размерами зерен до 0,25 *мм* требуется давление порядка 80 *Мн/м²*,

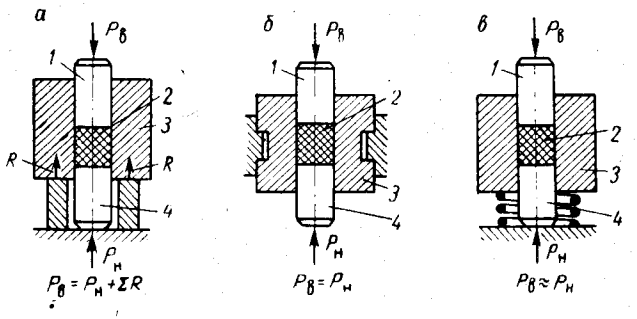


Рис. II.2. Схемы таблетирования с односторонним сжатием (*а*), двухсторонним сжатием (*б*) и в «плавающей» матрице (*в*):

1 — верхний пуансон; *2* — материал; *3* — матрица; *4* — нижний пуансон.

а с размерами зерен $\geqslant 1$ *мм* — порядка 160 *Мн/м²*. Это объясняется, вероятно, тем, что мелкозернистые материалы имеют бо́льшую удельную поверхность. При таблетировании крупнозернистых материалов для получения прочных таблеток нужно вначале разрушить исходные зерна.

Выдержка под давлением влияет на плотность и прочность таблеток противоположно скорости сжатия.

Схемы таблетирования приведены на рис. II.2. На начальной стадии сжатия материала целесообразно ускоренное опускание пуансона *1* (рис. II.2, *а*) или перемещение пуансонов *1* и *4* (рис. II.2, *б*) навстречу друг другу. На конечной стадии сжатия перемещения незначительны, но преодолеваются большие силы сопротивления.

При сжатии материала *2* возникает трение его о поверхность матрицы *3*. Оно может достичь очень большой величины, вследствие чего снизится давление таблетирования по высоте формуемой таблетки, а это в свою очередь приведет к неоднородности прочности и плотности по высоте и диаметру таблетки.

При одностороннем сжатии таблетка формуется только одним пуансоном (второй пуансон неподвижен). В случае двухстороннего сжатия одновременно перемещаются оба пуансона. Двухстороннее сжатие обеспечивает повышение прочности таблетки на 15—25% по сравнению с односторонним сжатием (при одинаковых давлении и скорости сжатия).

Одностороннее сжатие обычно применяется на эксцентриковых (кривошипных) таблеточных машинах. При этом

$$P_в = P_н + \Sigma R \qquad (II.1)$$

где $P_в$ — усилие на верхнем пуансоне; $P_н$ — усилие на нижнем пуансоне; ΣR — реакция опоры матрицы, равная по величине сумме сил трения материала о поверхность матрицы.

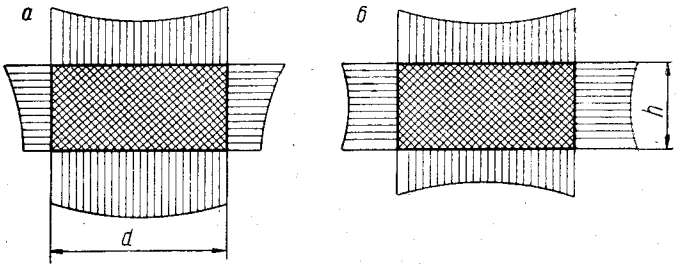


Рис. II.3. Эпюры давления и плотности таблеток при одностороннем (*а*) и двухстороннем (*б*) сжатии.

Поскольку при двухстороннем сжатии верхний и нижний пуансоны обычно движутся с одинаковой скоростью, величины $P_в = P_н$ (см. рис. II.2, *б*) и давления таблетирования на верхнем и нижнем торцах формуемой таблетки одинаковы. Эффект двухстороннего сжатия может быть получен при использовании «плавающей» (т. е. подвижной в осевом направлении) матрицы, которая обычно применяется на горизонтальных гидравлических машинах (рис. II.2, *в*).

Эпюры давления и плотности таблеток при одностороннем и двухстороннем сжатии приведены на рис. II.3. При одностороннем сжатии (рис. II.3, *а*) на поверхности, примыкающей к подвижному формующему пуансону, давление и плотность уменьшаются в центре и увеличиваются к краям. На поверхности, примыкающей к неподвижному пуансону, наибольшие давление и плотность — в центре, а наименьшее — у краев таблетки. При удалении от формующего пуансона плотность уменьшается от слоя к слою. При двухстороннем сжатии (рис. II.3, *б*) наиболее прочными и плотными являются торцы таблетки, а наименее прочной — ее средняя цилиндрическая часть.

С увеличением влажности пресспорошка таблетируемость его улучшается, например, если влажность аминопласта возрастет на 1—1,5%, таблетируемость увеличится на 35—50%.

При повышении температуры материала его таблетируемость также улучшается. Однако попытки улучшить таблетируемость материала электрическим обогревом матриц на таблеточной машине не дали положительного эффекта из-за низких значений коэффициентов теплопередачи и теплопроводности материала, и кратковременного пребывания его в матрице.

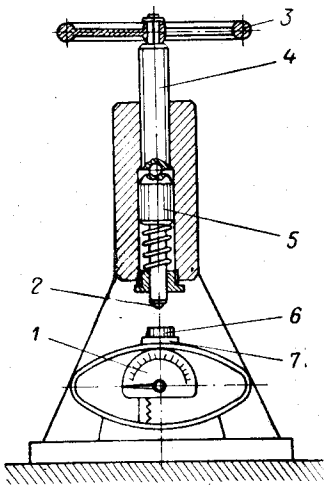


Рис. II.4. Прибор для определения прочности таблеток:

1 — динамометр; *2* — шарик или конус; *3* — штурвал; *4* — винт; *5* — ползун; *6* — разрушаемая таблетка; *7* — площадка.

В. К. Завгородним предложена методика определения качества таблеток путем измерения их прочности при разрушении. Показателем прочности принята величина усилия, необходимого для разрушения таблетки, зажатой между плоской опорой и шариком или острым конусом. Для периодической проверки прочности таблеток и определения оптимального давления таблетирования на машинах применяют специальный прибор, состоящий из настольного винтового пресса и ручного динамометра, рассчитанного на усилие до 900 *н*. Принцип действия прибора ясен из рис. II.4.

Плотность таблеток должна обеспечивать их целостность при транспортировании, перегрузке и хранении. При формовании таблеток излишней плотности таблеточная машина быстро изнашивается, а эффективность высокочастотного подогрева снижается.

§ 2. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТАБЛЕТОЧНЫХ МАШИН

Таблеточные машины классифицируются по следующим признакам:

1) по виду привода (механический, гидравлический или комбинированный);

2) по характеру перемещения формуемого материала и таблеток (периодическое и непрерывное);

3) по характеру движения формующих деталей машины (возвратно-поступательное, круговое);

4) по положению оси перемещения пуансонов и матриц (вертикальное или горизонтальное);

5) по способу применения усилия (одностороннее или двухстороннее сжатие);

6) по типу устройств для компенсации давления таблетирования (механические или гидравлические компенсаторы).

Машины с механическим приводом разделяются на ротационные (или карусельные) и эксцентриковые (или кривошипные), а гидравлические машины — на горизонтальные и вертикальные.

Наибольшее распространение получили ротационные таблеточные машины. Они отличаются высокой производительностью, однако не позволяют получать крупные таблетки (диаметром >50 — 60 *мм*). На эксцентриковых машинах изготавливаются точные по весу таблетки (мелкие и крупные, диаметром до 100 *мм*).

В последнее время все более широкое распространение получают гидравлические (главным образом горизонтальные) таблеточные машины. Производительность и усилие таблетирования этих машин значительно выше, чем у эксцентриковых, а колебание веса изготовляемых таблеток меньше, чем в случае ротационных машин. На гидравлических машинах можно изготовлять цилиндрические таблетки диаметром до 230 *мм* и высотой до 100 *мм*. Такие большие таблетки удобны при прессовании крупногабаритных изделий из феноло-, мочевино- и меламино-формальдегидных материалов.

Очень важными в процессе таблетирования являются операции загрузки и дозирования материала. При недостаточно стабильной работе устройств для загрузки и дозирования материала может наблюдаться значительное отклонение веса формуемых таблеток от заданного, которое обычно называется разновесом.

На вертикальных таблеточных машинах материал засыпается под действием собственного веса. Для загрузки необходимого количества порошкообразного материала в матрицы таблеточной формы применяются устройства различного типа (см. стр. 49, 55, 68, 69).

При таблетировании получают главным образом цилиндрические таблетки. В некоторых случаях применяют также таблетки прямоугольной, овальной, кольцеобразной и другой конфигурации, формуемые соответствующими пуансонами в одногнездных и многогнездных матрицах. Прессование изделий облегчается, если конфигурации таблеток и формуемого изделия аналогичны.

Механические и гидравлические машины оснащены одногнездными или многогнездными матрицами и соответствующим количеством верхних и нижних пуансонов (или подвижных и неподвижных пуансонов на гидравлических машинах).

На эксцентриковых и гидравлических таблеточных машинах пуансоны обычно жестко закреплены в узлах машин (ползуне, штоке гидравлического плунжера и т. д.). На ротационных машинах пуансоны могут быть автономными деталями, не имеющими жесткого, неподвижного соединения с другими узлами и деталями машины (см. § 4 данной главы).

На гидравлических и механических эксцентриковых машинах все основные операции таблетирования — загрузка материала в матрицу, его сжатие в таблетку, выталкивание готовой таблетки из матрицы — производятся последовательно в одном гнезде матрицы, а на ротационных машинах эти операции выполняются одновременно в нескольких гнездах — рабочих органах машины.

Для расчета производительности Q (в *кг/ч*) ротационной таблеточной машины используют уравнение:

$$Q = 60GNmkn \qquad (II.2)$$

или

$$Q = 60\frac{P}{p}h\rho Nmkn \qquad (II.3)$$

Производительность эксцентриковой и гидравлической таблеточной машины Q (в *кг/ч*) определяется по формуле:

$$Q = 60Gmn \qquad (II.4)$$

В формулах (II.2) — (II.4) приняты следующие условные обозначения: G — масса одной таблетки, *кг*; N — количество матриц в роторе; m — количество гнезд в матрице; k — коэффициент кратности таблетирования ($k = 1$; 2; 3 или 4); n — количество оборотов ротора, эксцентрикового вала, или число ходов машины в 1 *мин*; P — усилие машины, *н*; p — удельное давление таблетирования для выбранного материала, *н/м*^{2}; h — глубина загрузочной камеры матрицы, *м*; ρ — плотность таблетированного материала, *кг/м*^{3}.

§ 3. ЭКСЦЕНТРИКОВЫЕ ТАБЛЕТОЧНЫЕ МАШИНЫ

Эксцентриковые таблеточные машины характеризуются периодическим перемещением формуемого материала и таблетки. Для таблетирования порошкообразных прессовочных материалов применяются вертикальные эксцентриковые машины с электромеханическим приводом. Машины обеспечивают одностороннее сжатие материала верхним пуансоном (или пуансонами) в одногнездной (или многогнездной) матрице без выдержки под давлением. Отформованные таблетки выталкиваются нижним пуансоном (или пуансонами).

В настоящее время выпускаются эксцентриковые машины с усилием таблетирования от 20 до 1000 *кн*. Эксцентриковая таблеточная машина (рис. II.5) имеет литую составную станину *1*, на которой смонтированы все узлы и детали машины. Крутящий момент обычно передается от электродвигателя на эксцентриковый главный вал *7* через клиноременную или плоскоременную передачу, шкив и зубчатые шестерни.

На средней эксцентриковой части вала в шатуне установлена эксцентриковая втулка, которая может поворачиваться в цилиндрическом пазу шатуна с целью изменения эксцентриситета и регулирования давления таблетирования. К шатуну *5* прикреплен ползун *4*, в котором установлен верхний пуансон *3*. Нижний пуансон закреплен в резьбовом штоке, который может подниматься или опускаться под действием регулировочной гайки *2* и менять вес таблетки, формуемой в матрице.

Готовая таблетка выталкивается из матрицы нижним пуансоном под действием внутреннего профильного ролика. Порошкообразный материал из бункера *8* загружается в подвижный питатель *6*.

Перемещение питателя осуществляется от привода машины. Штурвал *9* предназначен для проворачивания главного вала машины вручную. Готовые таблетки соскальзывают по лотку *10* в тару, устанавливаемую на площадке *11*.

Принципиальная кинематическая схема рассматриваемой машины показана на рис. II.6, *а*. Привод машины осуществляется электродвигателем *1* через клиноременную передачу *4* и шестерни *10*, *12*. Эксцентриковый вал *15*, вращаясь, сообщает через шатун *16* возвратно-поступательное движение ползуну *18* и верхнему пуансону *19*. На тыльной торцовой стороне зубчатого колеса *12* установлен внутренний профильный кулачок *11*. Ролик *17*, перемещаясь по кулачку, обеспечивает возвратно-поступательное движение штанге *31*, которая через цапфу *25* приводит в движение толкатель *26*, на котором укреплен нижний пуансон *24*. При вращении регулировочной втулки *27* объем камеры засыпки в матрице *23* изменяется. Цапфу *25* устанавливают в зависимости от положения регулировочной втулки при помощи стопорных гаек *30*.

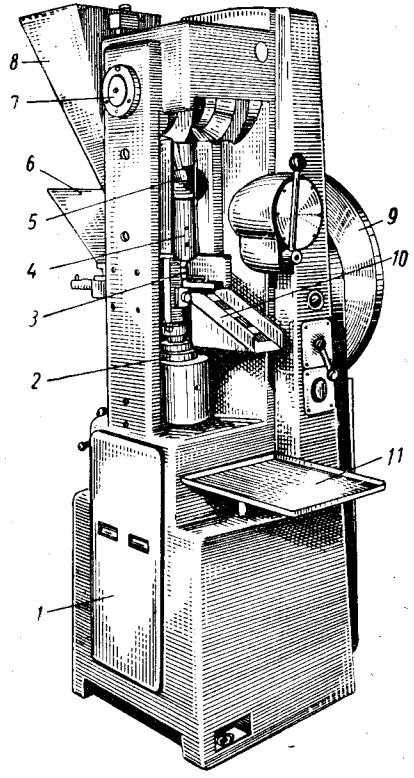


Рис. II.5. Общий вид эксцентриковой таблеточной машины:

1 — станина; *2* — регулировочная гайка; *3* — верхний пуансон; *4* — ползун; *5* — шатун; *6* — питатель; *7* — главный вал; *8* — бункер; *9* — штурвал; *10* — лоток; *11* — площадка.

Кулачок *9*, расположенный на консоли эксцентрикового вала, воздействует на ролик *8*. Вследствие этого рычаг *7* при помощи серьги *5* передвигает бункер *20* вдоль стола *21*. При движении бункера зубчатые шестерни *2* ворошителя передвигаются по рейке *3*. На кулачке *9* имеется волнообразный выступ, служащий для встряхивания бункера, что облегчает засыпку порошка в матрицу. На некоторых таблеточных машинах применяются приспособления для вибрационного встряхивания бункера.

Таблетируемый материал *32* предварительно засыпают в бункер *20* (рис. II.6, *б*). При соприкосновении выступающей части кулачка *9* с роликом *8* бункер перемещается к матрице. После совмещения нижней щели бункера с матрицей материал засыпается в ее гнездо. По окончании засыпки бункер пружиной *6* возвращается в исходное

положение, а пуансон *19*, опускаясь, входит в матрицу *23* и сжимает находящийся в ней порошок в таблетку *22*.

Плотность таблетки зависит от глубины, на которую опускается верхний пуансон, и регулируется угловым перемещением эксцентриковой втулки *13* (расположенной в головке *14* шатуна) относительно вала *15*. Когда верхний пуансон поднимается, таблетка *22* выталкивается из матрицы нижним пуансоном *24*. В начале следующего цикла таблетка сталкивается передней частью бункера со стола *21* на наклонный лоток *28*, а толкатель *26* с нижним пуансоном опускается в исходное положение.

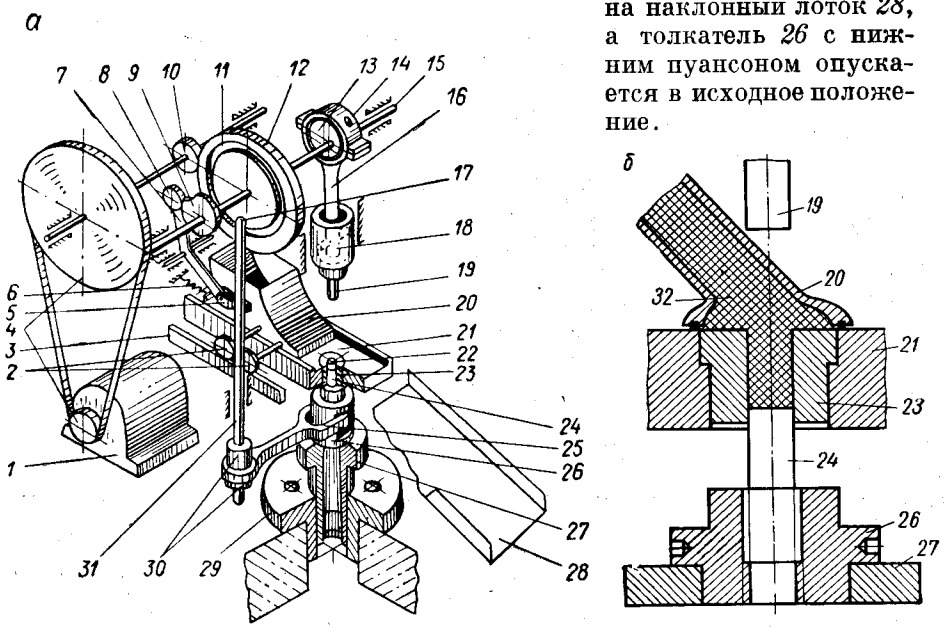


Рис. II.6. Эксцентриковая таблеточная машина:

а — кинематическая схема; *б* — схема дозировочного устройства; *1* — электродвигатель; *2*, *10*, *12* — шестерни; *3* — зубчатая рейка; *4* — клиноременная передача; *5* — серьга; *6* — пружина; *7* — рычаг; *8*, *17* — ролики; *9*, *11* — кулачки; *13* — эксцентриковая втулка; *14* — головка шатуна; *15* — вал; *16* — шатун; *18* — ползун; *19* — верхний пуансон; *20* — бункер; *21* — стол; *22* — таблетка; *23* — матрица; *24* — нижний пуансон; *25* — цапфа; *26* — толкатель; *27* — регулировочная втулка; *28* — лоток; *29* — резьбовая втулка; *30* — гайки; *31* — штанга; *32* — таблетируемый материал.

Колебания веса таблеток в процессе работы машины зависят от неравномерности засыпки порошка в матрицы, величины зазора между поверхностями нижнего пуансона и матрицы, настройки регулировочной втулки *27* относительно неподвижной резьбовой втулки *29*, надежности крепления пуансона *24* к толкателю *26*. В зазор между толкателем и верхней плоскостью регулировочной втулки не должны попадать пыль и порошок, так как увеличение зазора вызовет произвольное уменьшение веса таблеток.

Гайки *30* должны быть отрегулированы так, чтобы верхний торец пуансона *24* при выталкивании таблетки находился заподлицо с верхним торцом матрицы *23*. Зона сближения пуансонов закрыта

дверкой, которая сблокирована с конечным выключателем таким образом, что при открытой дверке цепь питания магнитного пускателя электродвигателя размыкается.

Производительность эксцентриковой таблеточной машины зависит от площади таблетирования, глубины заполнения матрицы и скорости вращения эксцентрикового вала, обычно равной 15—40 *об/мин* (табл. II.2). В свою очередь площадь таблетирования зависит от максимального усилия, развиваемого машиной, и удельного давления таблетирования, являющегося главным образом функцией свойств таблетируемого материала и скорости таблетирования.

Таблица II.2

Технические характеристики эксцентриковых таблеточных машин

Параметры	Фирма и тип машины			
	«Stokes», 280 (США)	«Manesty», 35T (Англия)	«Korsch», EKIV (ФРГ)	«Busch», KV2000 (ФРГ)
Максимальное усилие таблетирования, *кн*	1000	350	250	160
Производительность, *шт./ч*	3000	720—2160	2400	2000
Диаметр таблеток, *мм*	100	57	80	65
Глубина заполнения матрицы, *мм*	51	57	70	60
Мощность электродвигателя, *квт*	7,5	3	3,3	2,2
Габаритные размеры машины, *см*	107×239××152	209×123×92	110×210××110	175×115×75
Вес машины, *кн*	58	15,2	13	12,5

Расчет оптимальной производительности машины по формуле (II.4) является, как следует из приведенных объяснений, ориентировочным.

Выше отмечалось, что одностороннее сжатие материала в таблетку на эксцентриковых таблеточных машинах выполняется кривошипно-шатунным механизмом. Схема кривошипно-шатунного механизма в момент захода пуансона в матрицу (ABC) и в крайнем нижнем его положении (AB_0C_0) приведена на рис. II.7, *а*. Как следует из этой схемы

$$\overline{CC}_0 = \overline{C_0B_0} + \overline{B_0A} - \overline{CB}\cos\gamma_1 - \overline{BA}\cos\alpha_1 \qquad (II.5)$$

$$S = l(1-\cos\gamma_1) + r(1-\cos\alpha_1) \qquad (II.6)$$

Здесь S — величина хода пуансона в матрице; r — длина кривошипа; l — длина шатуна; γ_1, α_1 — соответственно углы давления и поворота кривошипа в момент начала сжатия τ_1 ($\gamma_1 \leqslant 10°$).

Поскольку $r \sin \alpha_1 = l \sin \gamma_1$ и $\lambda = r/l$, для длин кривошипа и шатуна получим:

$$r = \frac{S\lambda}{1 + \lambda - \cos \gamma_1 - \sqrt{\lambda^2 - \sin^2 \gamma_1}} \qquad (II.7)$$

$$l = r/\lambda \qquad (II.8)$$

Величину $S/2\,r$ при различных значениях λ и γ_1 можно определять графически (рис. II.7, *б*). Выбор величины хода пуансона зависит от размеров бункерного питателя, который в момент заполне-

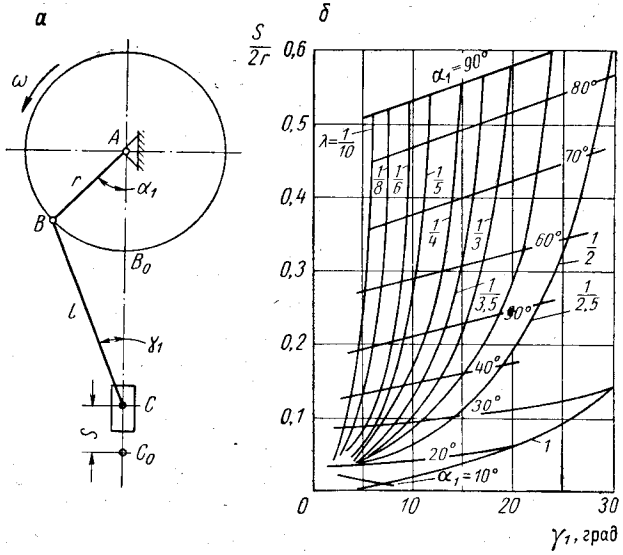


Рис. II.7. Кривошипно-шатунный механизм эксцентриковой машины:

а — схема механизма; *б* — номограмма для расчета механизма.

ния матрицы материалом находится под верхним пуансоном. Пересечение наклонных линий, вычерченных для различных значений угла α_1, с кривыми значений λ позволяет определить по шкале на оси ординат значение $S/2r$. Например, при $\alpha_1 = 50°$ и $\lambda = 1/3$ имеем $S/2r \approx 0{,}23$.

После окончательного выбора размеров кривошипа и ползуна нужно рассчитать угол поворота кривошипа, соответствующий моменту начала сжатия:

$$\alpha_1 = \arccos \frac{(l + r - S)^2 - l^2 + r^2}{2r\,(l + r - S)} \qquad (II.9)$$

Угловую скорость вращения кривошипа ω можно определить по максимально допустимой скорости сжатия. Поскольку скорость ползуна v в момент τ_1 находится по формуле

$$v = \omega r \left(\sin \alpha_1 + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha_1 \right)$$

то

$$\omega = \frac{v}{r \left(\sin \alpha_1 + \frac{\lambda}{2} \sin 2\alpha_1 \right)} \qquad (II.10)$$

§ 4. РОТАЦИОННЫЕ ТАБЛЕТОЧНЫЕ МАШИНЫ

Современные ротационные машины обеспечивают одно-, двух-, трех- или четырехкратное таблетирование, при этом из каждого гнезда матрицы за один оборот ротора получают соответствующее количество таблеток (1, 2, 3 или 4).

Ротационные машины имеют электромеханический привод и выпускаются в вертикальном исполнении. Они обеспечивают двухстороннее сжатие материала без выдержки или с небольшой выдержкой под давлением и непрерывное перемещение формуемого материала и таблеток. Такие машины обычно оснащены механическими (пружинными) компенсаторами давления.

Конструктивные особенности и характер движения пуансонов позволяют разделить ротационные машины на два класса. К I классу относятся машины, у которых движение пуансонов по копирам сопровождается трением качения; ко II классу — машины, у которых аналогичное перемещение пуансонов сопровождается трением скольжения.

Отечественная таблеточная машина I класса МТ-3А (рис. II.8) предназначена для однопозиционного таблетирования порошкообразных фено- и аминопластов (подробную техническую характеристику см. в табл. II.3). Машина имеет литую станину, внутри которой размещены червячный и цилиндрический зубчатые редукторы, а также фрикционная муфта сцепления. На станине установлена нижняя плита *17*, соединенная с верхней плитой *13* колоннами *14*. Между плитами смонтирован ротор *9* с пятнадцатью комплектами одногнездных матриц, верхних *15* и нижних *16* пуансонов. Силовые кулачки для таблетирования и выталкивания таблетки установлены на плитах *13* и *17*, а вспомогательные кулачки — на колоннах *14*.

Крутящий момент передается от электродвигателя *1* на вал *8* ротора *9* через зубчатые передачи *2*, сменные шестерни *6*, *7*, червяк *4* и червячное колесо *5*. Взаимная перемена мест шестерен *6* и *7* обеспечивает две скорости вращения ротора: 7,3 и 9,87 *об/мин*. Муфта *3* позволяет останавливать и пускать в работу машину при включенном электродвигателе. Через шестерни *12* вращение передается на лопасти *10* ворошителя, который облегчает загрузку матриц порошкообразным материалом, находящимся в бункере *11*.

Особое внимание следует обратить на характер соединения пуансонов с другими деталями и узлами машины. Известно, что у ротационных машин I класса пуансоны непосредственно не взаимодействуют с кулачками и роликами. Перемещение пуансонов происходит в результате обкатывания боковых *7* и торцовых *8* роликов (рис. II.9) по кулачкам и направляющим и сопровождается трением качения. В этом случае формующие части *4* пуансонов устанавливают и закрепляют в цилиндрических корпусах *5* и *15*.

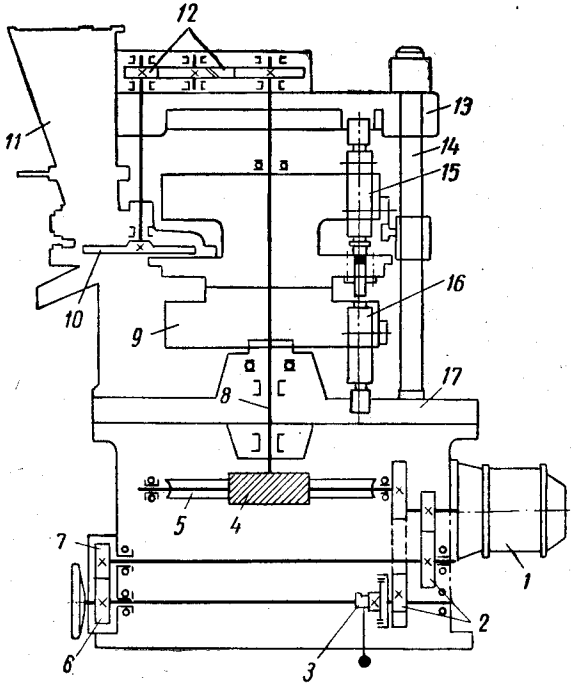


Рис. II.8. Кинематическая схема ротационной таблеточной машины МТ-3А:

1 — электродвигатель; *2* — зубчатые передачи; *3* — муфта; *4* — червяк; *5* — червячное колесо; *6*, *7*, *12* — шестерни; *8* — вал; *9* — ротор; *10* — лопасти ворошителя; *11* — бункер; *13*, *17* — плиты; *14* — колонны; *15*, *16* — пуансоны.

Нижний пуансон машины МТ-3А в положении выталкивания готовой таблетки *1* из матрицы *2* показан на рис. II.9, *а*. Выталкивание происходит вследствие воздействия профильного кулачка *13* на торцовый ролик *8* пуансона. Для смазки ролика, вращающегося вокруг оси *11*, установлена масленка *10* и фетровая прокладка *9*. Матрицы установлены в гнездах среднего пояса *3* ротора, расположенных на окружности диаметром 490 *мм*, и крепятся снизу специальными пластинами. Боковой ролик *7* предназначен для перемещений

пуансона по вертикали на холостом ходу под действием наружных кольцевых кулачков. Кулачок *12* предназначен для поддержания и предохранения пуансонов от поломок в случае разрушения кулачка *13* или его крепления. Малый боковой ролик *6* расположен в вертикальном пазу ротора и не позволяет пуансону поворачиваться вокруг своей оси в процессе эксплуатации.

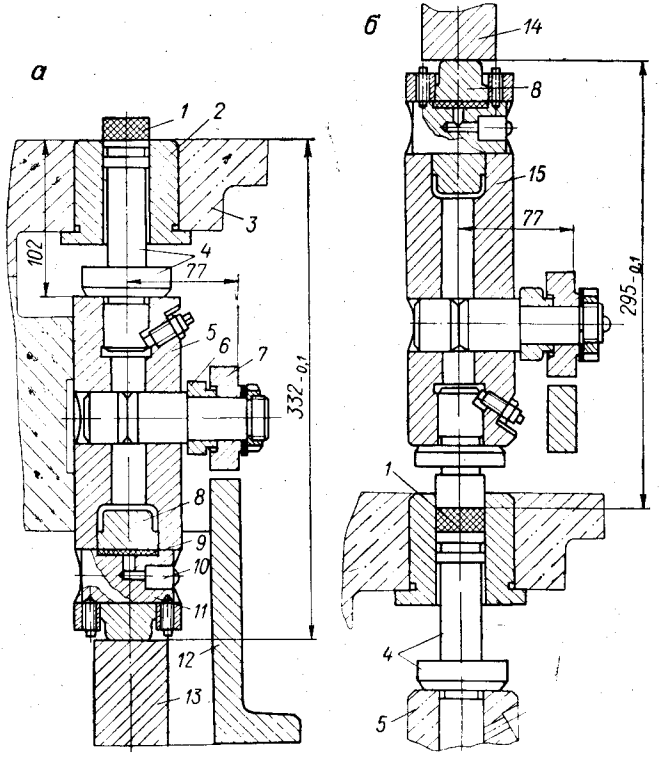


Рис. II.9. Пуансоны ротационных таблеточных машин I класса в положениях выталкивания (*а*) и формования таблеток (*б*):

1 — таблетка; *2* — матрица; *3* — средний пояс ротора; *4* — формующая часть пуансона; *5* — корпус нижнего пуансона; *6*, *7* — боковые ролики; *8* — торцовый ролик; *9* — прокладка; *10* — масленка; *11* — ось; *12*—*14* — кулачки; *15* — корпус верхнего пуансона.

Верхний и нижний пуансоны в положении сжатия (формования) материала в таблетку показаны на рис. II.9, *б*. Сжатие происходит вследствие воздействия кулачка *14* на торцовый ролик *8* верхнего пуансона *15* и аналогичного кулачка — на торцовый ролик нижнего пуансона *5*.

Универсальные ротационные машины I класса для одно- и двухкратного таблетирования выпускают в ГДР (см. табл. II.3). Общий вид одной из таких машин — типа К-VIII показан на рис. II.10, *а*.

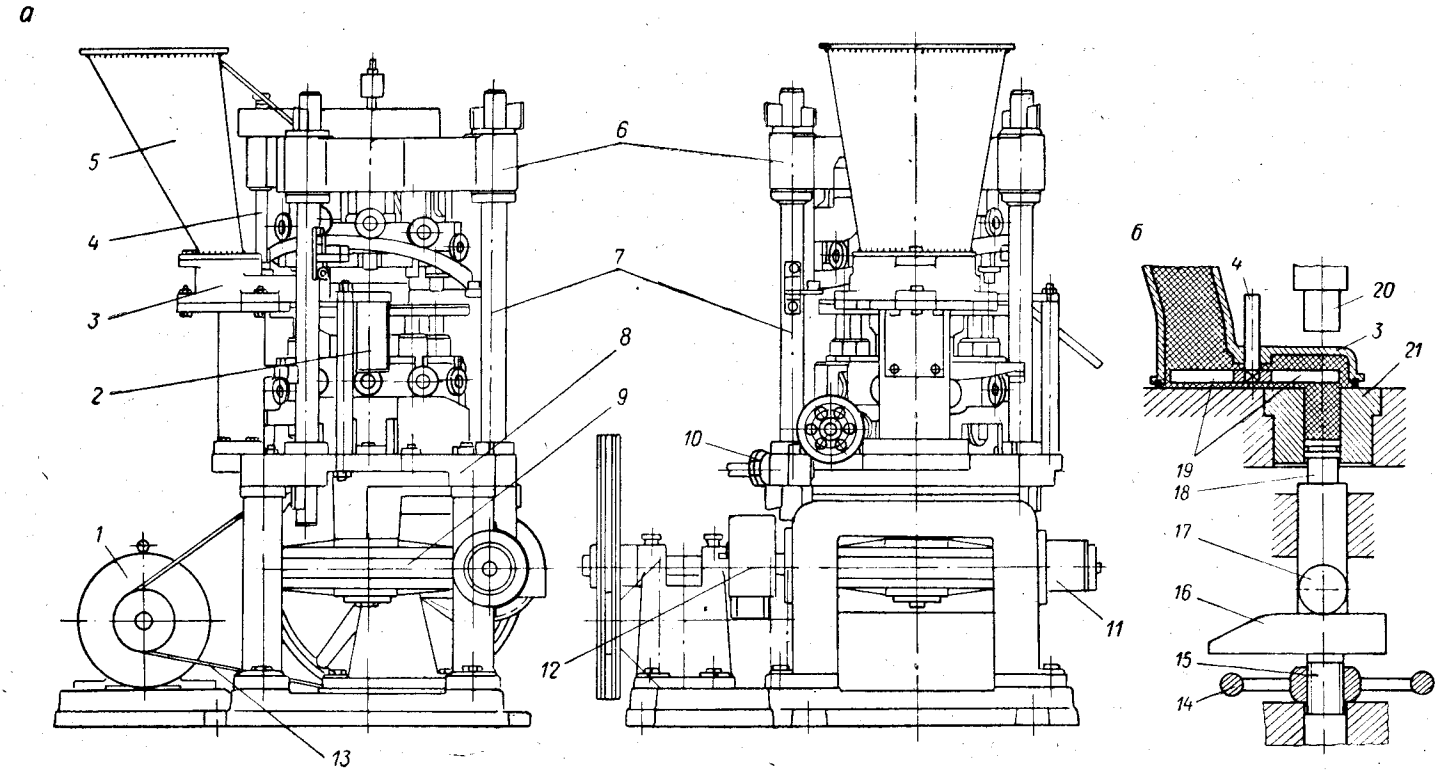


Рис. II.10. Ротационная таблеточная машина I класса:

а — общий вид; *б* — дозирующее устройство;
1 — электродвигатель; *2* — лоток; *3* — бункерный питатель; *4* — вал ворошителя; *5* — бункер; *6*, *8* — плиты; *7* — колонны; *9* — червячное колесо; *10* — регуляторы; *11* — червяк; *12* — цилиндрический редуктор; *13* — клиноременная передача; *14* — штурвал; *15* — резьбовой хвостовик; *16* — дозирующий кулачок; *17* — ролик пуансона; *18* — нижний пуансон; *19* — лопасти; *20* — верхний пуансон; *21* — матрица.

Крутящий момент передается от электродвигателя *1* на вал ротора через клиноременную передачу *13*, цилиндрический редуктор *12*, червяк *11* и червячное колесо *9*. Между верхней *6* и нижней *8* плитами расположен ротор с комплектом пуансонов и матриц, а также вспомогательные и силовые копиры, кулачки и клинья.

Усилие таблетирования регулируется двумя клиновыми регуляторами *10*. Порошкообразный материал, засыпаемый в бункер *5*, загружается вращающимися лопостями ворошителя, расположенного в питателе *3*. Вал *4* ворошителя кинематически связан с валом

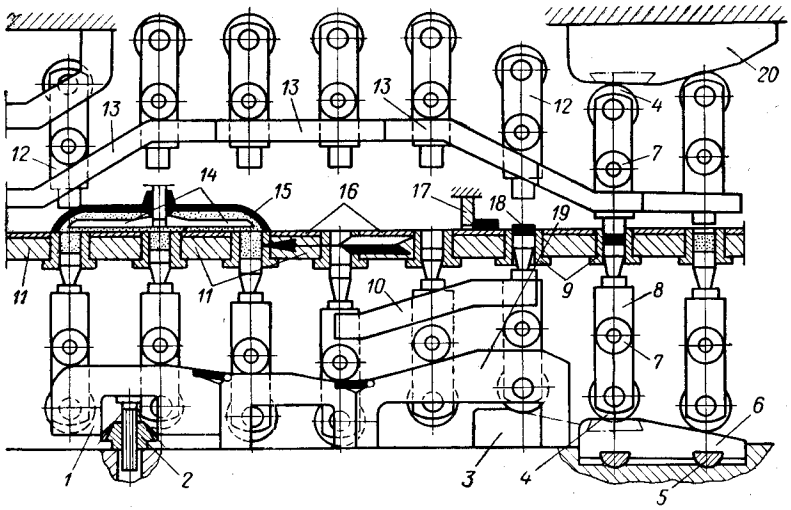


Рис. II.11. Развернутая схема работы ротационных машин I класса:

1 — дозировочный кулачок; *2*— регулятор; *3*— выталкивающий клин; *4*— торцовые ролики; *5* — клиновой регулятор; *6*, *20* — клинья давления; *7* — боковой ролик; *8*, *12* — пуансоны; *9* — матрицы; *10* — промежуточный кулачок; *11* — ротор; *13* — вспомогательные кулачки; *14* — лопасти; *15* — ворошитель; *16* — секторы; *17* — упор; *18* — таблетки; *19* — предохранительный кулачок.

ротора. Вследствие вращения вала *4* лопасти *19*, сидящие на этом валу, подают порошкообразный материал из бункерного питателя к гнездам матриц *21*. Во время загрузки материала верхние пуансоны *20* находятся на безопасной высоте над питателями.

Регулировка положения пуансона *18* (и, следовательно, дозы таблетируемого материала) осуществляется с помощью устройства, состоящего из штурвала *14*, резьбового хвостовика *15* и профильного кулачка *16*, по верхней поверхности которого скользит ролик *17* нижнего пуансона (рис. II.10, *б*).

Готовые таблетки по наклонному лотку *2* попадают в приемную тару.

Развернутая схема работы универсальных таблеточных машин типа К-VIII — К-Ха приведена на рис. II.11. Направление вращения ротора *11* показано стрелкой. Нижние *8* и верхние *12* пуансоны вращаются совместно с ротором *11* и в то же время перемещаются по

вертикали параллельно оси ротора. Вращающиеся лопасти *14* ворошителя *15* способствуют равномерной засыпке материала в матрицы *9*. Количество лопастей и скорость их вращения рассчитаны так, что каждая матрица загружается одной лопастью. Глубина загрузочной камеры матрицы регулируется шестеренно-винтовым регулятором *2*, а изменение усилия таблетирования — двумя клиновыми регуляторами *5*.

Дозирование материала происходит при перемещении бокового ролика *7* нижнего пуансона по дозировочному кулачку *1*. После этого нижний пуансон опускается на 2—3 *мм*, вследствие чего предупреждается «выплескивание» материала из матрицы в момент захода в нее верхнего пуансона. В дальнейшем за счет движения торцовых роликов *4* верхнего и нижнего пуансонов по клиньям давления *6* и *20* материал сжимается в таблетку.

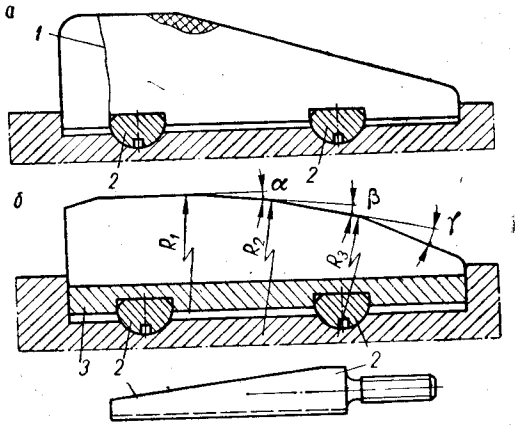


Рис. II.12. Кулачок давления для ротационной машины I класса:

а — нерациональная конструкция; *б* — рекомендуемая конструкция; *1* — линия возможного разрушения кулачка; *2* — клиновые регуляторы; *3* — подушка.

Таблетки *18* выталкиваются нижним пуансоном под действием клина *3*. Верхний пуансон в это время с некоторым опережением поднимается под воздействием вспомогательного кулачка *13* на боковой ролик *7*. Готовые таблетки перемещаются ротором до упора *17*. Упор направляет таблетки по наклонному лотку в приемную тару.

До захода бокового ролика *7* на рабочий профиль дозировочного клина нижний пуансон опускается под действием собственного веса или промежуточного кулачка *10*. Для предохранения кулачков от поломок между ними установлены переходные мостики. Кулачок *19* служит для предохранения машины от аварии при разрушении крепления выталкивающего клина *3*. В этом случае нижние пуансоны не опустятся в «опасную зону», так как их боковые ролики получат опору на кулачке *19*. Для уменьшения прилипания таблетируемого материала к ротору его средняя часть закрыта полированными секторами *16* с хромовым покрытием.

Конструкция нижнего кулачка давления, которая до сих пор применяется на некоторых таблеточных машинах, показана на рис. II.12, *а*. В процессе таблетирования участок на границе наклонного и горизонтального профилей кулачка (заштрихован в верхней части рисунка) быстро изнашивается. В местах расположения

клиновых регуляторов *2* создается значительная концентрация напряжений, что в сочетании с напряжениями, возникающими из-за изгиба кулачка, иногда приводит к поломке клина (например, по линии *1*).

Рациональная конструкция кулачка приведена на рис. II.12, *б*. Наклонный профиль кулачка разделен на три участка, причем углы наклона участков $\alpha < \beta < \gamma$, а радиусы кривизны соответствующих поверхностей связаны между собой соотношением $R_1 > R_2 > R_3$. Вследствие этого нагрузка на кулачок возрастает постепенно и равномерно, а участок перехода наклонного профиля в горизонтальный не подвергается быстрому износу.

Для равномерной опоры кулачка и снижения действующего на него изгибающего момента, а также для устранения концентрации напряжений в пазах кулачка применяют специальную подушку *3* из цементируемой стали, а в левом верхнем углу кулачка удлиняют скос для спуска пуансонов. Профиль верхнего кулачка представляет собой зеркальное отражение профиля нижнего кулачка.

Кулачки давления работают в очень тяжелых условиях, поэтому вопросы об их конфигурации, выборе металла для изготовления, механической и термической обработке приобретают важное значение.

Практика показала, что наиболее высок срок службы у кулачков, изготовленных из стали У10А и ШХ9 (ШХ15) с последующей закалкой до твердости 54—56 по Роквеллу и шлифованием рабочего профиля кулачка мелкозернистым камнем. Перспективным является изготовление кулачков из высокомарганцовистой стали, однако в этом случае возникают трудности при окончательной механической обработке кулачков, особенно при нарезании резьбы.

Формующие детали машины — пуансоны, вставки пуансонов и матрицы — обычно изготавливают из инструментальной стали У8А или легированных сталей ХГ, ХВГ, ШХ15. Однако специальное изучение условий работы этих деталей показало, что их лучше делать из стали 18ХМЮА или 12ХН3А с последующей глубокой цементацией и закалкой. В результате этого достигается высокая поверхностная твердость (62—64 по Роквеллу) при мягкой сердцевине. Износостойкость деталей повышается, а случаи поломок пуансонов или вставок значительно уменьшаются. При термической обработке резьбовые отверстия в верхнем кулачке давления должны быть закрыты во избежание образования напряжений, приводящих к трещинам.

Оформляющие торцы круглых вставок и пуансонов обычно имеют плоскую поверхность, поэтому таблетки получаются строго цилиндрической формы. Такие таблетки неоднородны по прочности (см. рис. II.3). Даже у очень плотной таблетки кромки (особенно в верхней части) легко обламываются, так как наверху матрицы имеется конус для захода верхнего пуансона. Этот конус в процессе работы еще больше углубляется и расширяется.

Нижний пуансон в процессе таблетирования не выходит полностью из матрицы. Вследствие этого матрица мало изнашивается в зоне движения головки нижнего пуансона. Высота подъема пуансона колеблется в зависимости от дозировки прессматериала. Верхний пуансон отходит от таблетки до начала ее выталкивания, поэтому при значительном сцеплении между таблетированным материалом и матрицей в первую очередь разрушаются верхние слои таблетки.

Для упрочнения кромок таблетки на торце пуансонов вытачивают фаску *1* (рис. II.13, *а*) под углом 45°, глубиной 1,5—2,0 *мм* или торцевую поверхность выполняют сферической (рис. II.13, *б*), что, однако, менее эффективно.

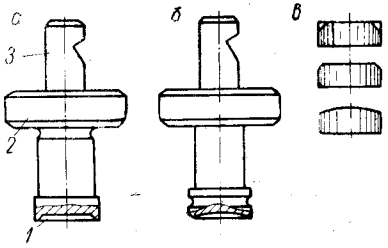


Рис. II.13. Формующие торцы пуансонов:

а — с фаской; *б* — со сферической выточкой; *в* — таблетки, отформованные различными пуансонами;
1 — фаска; *2* — скосы; *3* — хвостовик.

На рис. II.13, *в* показаны (сверху вниз) таблетки, полученные при использовании пуансона с плоскими торцами (с разрушенной верхней кромкой), с внутренней фаской на торце и со сферической поверхностью. В двух последних случаях пресспорошок дополнительно уплотняется по окружности таблетки. В конструкции пуансона, представленной на рис. II.13, *а*, скосы *2* предназначены для облегчения выемки пуансона из корпуса. Если в центральной части корпуса пуансона имеется сквозное отверстие, то необходимость делать скос отпадает. Для уменьшения количества порошка, высыпающегося из матрицы, на цилиндрической части нижних пуансонов (или на вставках пуансонов) оформлена выточка, на которую наматывается пропарафинированная капроновая нить.

В процессе работы машины таблетки могут расслаиваться вследствие износа верхнего клина давления и оформляющей поверхности матриц, а также из-за плохой таблетируемости материала. Для предотвращения этого верхние пуансоны должны заходить в матрицу на глубину 3—4 *мм*. Очень важно, чтобы оформляющие части пуансонов и матриц были обработаны по высокому классу чистоты (▽10—12). После шлифования мелкозернистым камнем поверхности следует полировать и по возможности хромировать.

К недостаткам машин I класса относятся сравнительно низкая производительность из-за невысокой скорости вращения ротора и громоздкость, вызванная значительными размерами пуансонов и необходимостью ориентировать их в определенном положении. Достоинством таких машин является их универсальность и относительно высокая весовая точность выпускаемых таблеток.

Технические характеристики некоторых ротационных таблеточных машин I класса приведены в табл. II.3.

Таблица II.3

Технические характеристики некоторых ротационных таблеточных машин I класса

Параметры	Тип машины					
	К-VI *	К-VIIa *	К-VIII *	К-IX *	К-Xa *	МТ-3А **
Усилие таблетирования, *кн*	15	60	120	150	178	90
Максимальный диаметр таблеток, *мм*	18	20	30	50	80	30
Максимальная глубина заполнения матриц, *мм* . .	40	14	30	80	100	50
Количество комплектов пуансонов и матриц . .	12	25	12	10	10	15
Количество и диаметр гнезд матрицы, *шт.×мм*	1×14 1×18 — —	1×20 2×12 3×6 4×4	1×30 2×22 3×15 —	1×50 — — —	1×80 — — —	1×30 — — —
Кратность таблетирования	1	2	1	1	1	1
Производительность машины, *тыс. шт./ч*	10,8	24—96	6—18	3,6	3,6	6,6—8,87
Мощность электродвигателя, *квт*	0,8	1,85	1,85	3	4	7
Вес машины, *кн*	6,5	17,5	16,7	30	50	38

* Выпускаются в ГДР.
** Выпускаются в СССР.

Ротационные машины II класса имеют простую форму пуансонов (диаметр формующей части почти одинаков с диаметром ходовой части, находящейся в роторе). Движение таких пуансонов по копирам сопровождается, как уже отмечалось, трением скольжения. Машины II класса отличаются компактностью и более высокой скоростью вращения ротора. Они значительно чаще изготовляются для многократного таблетирования. Вследствие этого ротационные машины II класса имеют высокую производительность при небольшом размере таблеток (диаметр таблеток обычно не превышает 40 *мм*).

Ротационная машина II класса для однократного таблетирования (рис. II.14) работает следующим образом. Загруженный в бункер *8* материал захватывается вращающимися лопастями *6* воронителя и засыпается в гнезда матрицы *13*. Глубина заполнения матрицы определяется регулируемым по высоте положением нижнего пуансона *2*. Для регулировки подачи материала в бункере установлена поворотная заслонка *7*. Материал сжимается в таблетку на противоположной (по отношению к загрузке) стороне ротора *14* вследствие сближения пуансонов *2* и *9* под действием роликов *3* и *10*.

Величина усилия таблетирования зависит от регулируемого по высоте положения нижнего ролика *3* и глубины заполнения матрицы материалом. При дальнейшем вращении ротора вокруг полой оси *15* готовая таблетка выталкивается из матрицы нижним пуансоном. Ротор приводится во вращение электродвигателем *1* с регулируемым числом оборотов через клиноременную *12* и коническую *11* передачи. Вращение на вал *5* ворошителя передается от ротора через клиноременную передачу *4*.

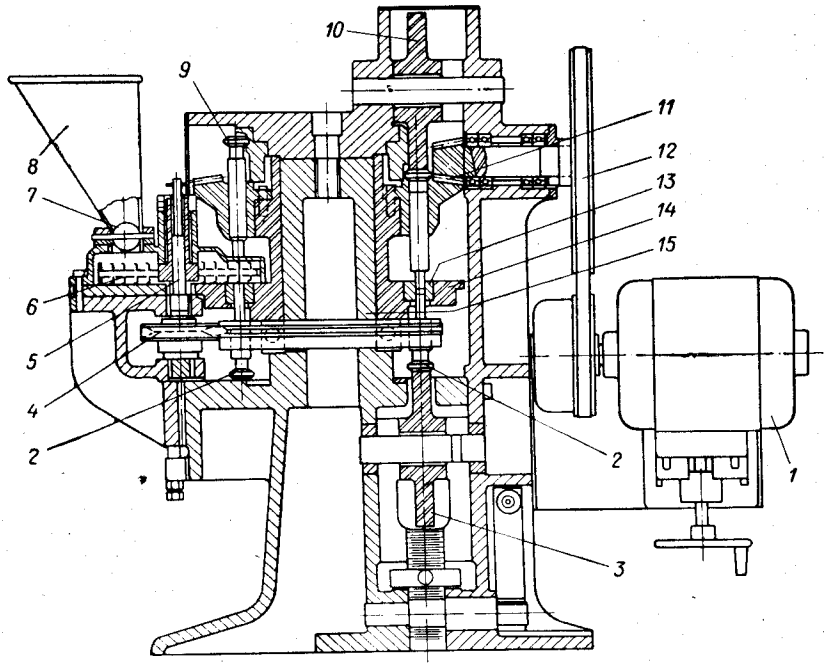


Рис. II.14. Ротационная машина II класса для однократного таблетирования:

1 — электродвигатель; *2* — нижний пуансон; *3* — нижний ролик; *4*, *12* — клиноременные передачи; *5* — вал ворошителя; *6* — лопасти; *7* — заслонка; *8* — бункер; *9* — верхний пуансон; *10* — верхний ролик; *11* — коническая передача; *13* — матрица; *14* — ротор; *15* — полая ось.

Развернутая кинематическая схема машины для двухкратного таблетирования приведена на рис. II.15. Таблетируемый материал поступает из двух вибрационных бункеров *4* в два распределителя *5*. Распределители состоят из изогнутых медных пластин, расположенных последовательно по пути движения ротора и прикрепленных к вертикальной стойке. В некоторых случаях применяют закрытые распределители, плотно прилегающие к столу ротора.

Порошкообразный материал последовательно пересыпается через пластины и равномерно загружается в матрицы. Между последней пластиной и столом ротора установлено фетровое уплотнение. При правильной установке бункеров по высоте и нормальной работе

распределителей материал не должен пересыпаться через последнюю пластину. Окончательная объемная дозировка материала *8*, загружаемого в матрицу *9*, определяется положением нижнего пуансона *10*, скользящего по дозировочному копиру, высоту которого можно регулировать при помощи винтового устройства *14*.

При дальнейшем движении нижние пуансоны *10* опускаются на несколько миллиметров, вследствие чего уменьшается распыление

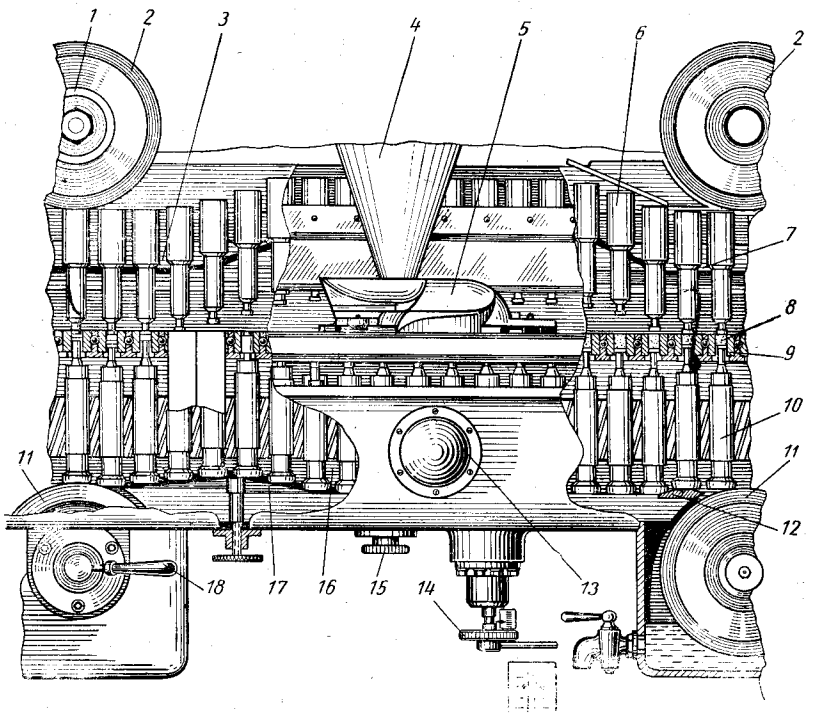


Рис. II.15. Развернутая кинематическая схема машины II класса для двукратного таблетирования:

1 — эксцентриковые втулки; *2* — верхние ролики; *3*, *7*, *12*, *16*, *17* — копиры; *4* — вибрационный бункер; *5* — распределитель; *6* — верхний пуансон; *8* — материал; *9* — матрица; *10* — нижние пуансоны; *11* — нижний ролик; *13* — смотровое стекло; *14* — винтовой регулятор; *15* — устройство для съема пуансонов; *18* — регулятор усилия таблетирования.

материала при опускании верхних пуансонов *6* в матрицы. Под действием копиров *7* и *12* нижние и верхние пуансоны сближаются. Материал окончательно формуется в таблетку пуансонами под действием верхнего *2* и нижнего *11* прессующих роликов, которые в процессе таблетирования поворачиваются вокруг своих осей.

Усилие таблетирования регулируют при помощи эксцентрикового устройства *18* в зависимости от вида таблетируемого материала и глубины засыпки матрицы. Верхние ролики устанавливают на необходимой высоте при помощи эксцентриковых втулок *1*. После

оформления таблеток верхние пуансоны поднимаются, скользя головками по копиру *3*.

Готовые таблетки выталкиваются на стол ротора нижними пуансонами под действием копира *17* и транспортируются ротором к наклонному лотку, по которому направляются в тару. В дальнейшем нижние пуансоны опускаются под действием копира *16*, а верхние пуансоны скользят по горизонтальному копиру верхнего пояса ротора; при этом материал засыпается в матрицы из распределителя *5*. Устройство *15* предназначено для выемки нижних пуансонов

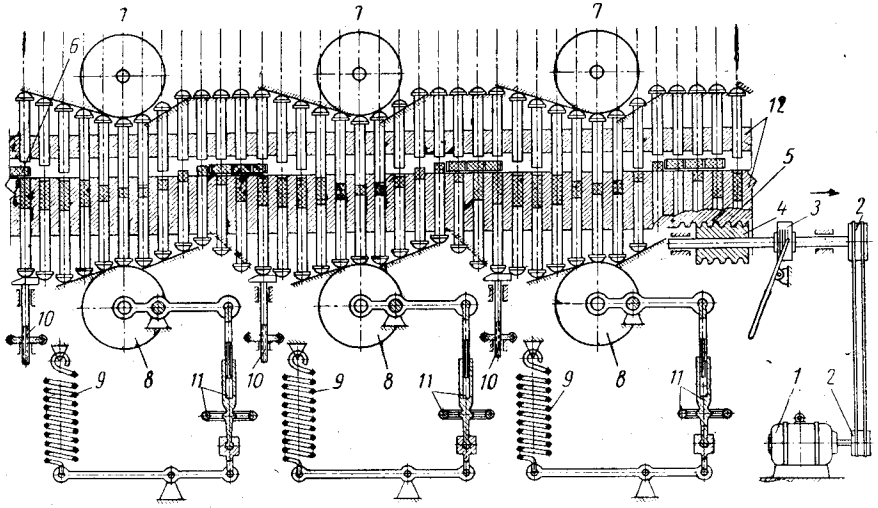


Рис. II.16. Развернутая кинематическая схема машины II класса для трехкратного таблетирования:

1 — электродвигатель; *2* — клиноременная передача; *3* — фрикционная муфта; *4*, *5* — червячная передача; *6* — распределители; *7*, *8* — ролики давления; *9* — компенсаторы; *10* — регуляторы дозировки; *11* — регуляторы усилия таблетирования; *12* — ротор.

из гнезд ротора при ремонте и наладке. Как отмечалось в § 2 данной главы, пуансоны на ротационных машинах II класса являются автономными.

Нижняя часть ротора с зубчатым колесом привода, нижними пуансонами, копирами, роликами и кулачками герметически закрыта в масляной ванне. Для проверки уровня масла предусмотрено смотровое стекло *13*. На машине установлено по два комплекта прессующих роликов, регуляторов дозировки и усилия таблетирования, копиров и распределителей. Вследствие этого полный цикл таблетирования происходит за половину оборота ротора.

Кинематическая схема ротационной таблеточной машины II класса для трехкратного таблетирования показана на рис. II.16. Ротор приводится во вращение электродвигателем *1* через клиноременную передачу *2*, фрикционную муфту *3* и червячную передачу *4*, *5*. Эта машина работает аналогично машине для двухкратного

таблетирования, однако в ней предусмотрены три комплекта распределителей материала *6*, верхних *7* и нижних *8* роликов давления с пружинными компенсаторами *9*, регуляторов дозировки *10* и регуляторов усилия таблетирования *11*. За один оборот ротора полный цикл таблетирования осуществляется трижды. Направление движения ротора *12* показано стрелкой.

Недостатком ротационных машин II класса является относительная нестабильность веса выпускаемых таблеток и сложность таблетирования высокодисперсных (аминопласт, мелалит) и волокнистых материалов.

Технические характеристики некоторых таких машин приведены в табл. II.4.

Таблица II.4

Технические характеристики некоторых ротационных машин II класса

Параметры	Фирма и тип машины				
	«Fette», HPIII (ФРГ)	«Kilian», DP1D (ФРГ)	«Kilian», DPIIS (ФРГ)	«Manesty», RS-21 (Англия)	«Colton», 280-47 (США)
Усилие таблетирования, *кн*	200	120	250	150	200
Максимальный диаметр таблетки, *мм*	40	35	35	35	30
Максимальная глубина заполнения матриц, *мм*	60	38	60	51	30
Количество комплектов пуансонов и матриц	21	27	20	21	47
Позиционность таблетирования	2	2	1	1	4
Производительность машины, *шт./ч*	45 360	20 000—40 000	15 000	9750—19 500	338 000
Мощность привода, *квт*	5	11	7,5	3,7	11,1
Габаритные размеры машины, *см*	90×137××140	90×90××160	83×155××180	173×168××234	115×115××190
Вес машины, *кн*	22	28,5	40	27,5	66,7

Для защиты ротационных таблеточных машин от перегрузок используют фрикционные муфты, механические ограничители и электрические реле максимального тока. Реле максимального тока устанавливают в электрической цепи питания электродвигателя совместно с тепловым реле. Поскольку в момент пуска двигателя через реле максимального тока проходит пусковой ток, превышающий по величине максимально допустимый, кнопки управления удерживаются во включенном состоянии в течение 1—2 *сек*. Благодаря этому в момент включения двигателя катушка реле максимального тока зашунтирована и на нее действует пусковой ток двигателя. Для шунтирования можно установить также и реле времени. В случае перегрузки двигателя в процессе работы машины через него пройдет ток выше допустимого. При этом сработает реле мак-

симального тока, деблокируется магнитный пускатель и обесточится электродвигатель.

Фрикционная муфта не только предохраняет машину от перегрузки, но и позволяет плавно включать ее в работу при постепенно возрастающей нагрузке на электродвигатель. Механический ограничитель деформируется при аварийном положении машины и обеспечивает ее остановку. Обычно его применяют в комплексе с реле максимального тока или с фрикционной муфтой.

§ 5. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ТАБЛЕТОЧНЫЕ МАШИНЫ

Гидравлические машины отличаются простотой конструкции и компактностью при больших усилиях таблетирования, новым более прогрессивным способом дозирования материала, наличием гибкой универсальной регулировки режима таблетирования. На таких машинах можно таблетировать высокодисперсные материалы, а также материалы с волокнистым наполнителем, таблетирование которых на механических машинах крайне затруднено.

В отличие от механических таблеточных машин, гидравлические машины обычно являются горизонтальными, вследствие чего удается осуществить эффективную загрузку материала в матрицу и ограничиться лишь возвратно-поступательным движением небольшого числа подвижных деталей машин. При этом таблетки имеют стабильную и равномерную плотность. На гидравлических машинах можно получать таблетки значительной толщины, требующие большой глубины заполнения матрицы.

Весовая производительность гидравлических машин больше, чем эксцентриковых машин. Многопуансонные гидравлические машины уступают по производительности только ротационным таблеточным машинам для многократного таблетирования. Качество таблеток, получаемых на гидравлических машинах, выше (по стабильности веса и плотности), чем у эксцентриковых и, особенно, ротационных машин, что объясняется более точной дозировкой материала и возможностью регулирования параметров таблетирования (скорости сжатия, выдержки под давлением и т. д.).

Краткая техническая характеристика некоторых гидравлических таблеточных машин, выпускаемых ленинградским заводом «Металлист» и фирмой «Bipel» (Англия), приведена в табл. II.5. Эти машины отличаются высокими техническими показателями.

Общий вид гидравлических таблеточных машин усилием 120, 350 и 700 *кн* показан на рис. II.17. Основанием машин является герметически закрытый масляный бак, на боковой стенке которого установлен электродвигатель с шестеренным (или лопастным) масляным насосом. На передней стенке бака установлен манометр, рукоятки управления и сигнальные лампы. Главный гидравлический цилиндр предназначен для привода подвижного пуансона. Привод матрицы и бункерного питателя осуществляется при помощи двух диагонально расположенных гидравлических цилиндров.

Таблица II.5

Технические характеристики некоторых гидравлических таблеточных машин

Параметры	Завод-изготовитель, фирма и тип (индекс) машины						
	«Bipel» (Англия)					завод «Металлист» (СССР)	
	12	35	35 *	70	150	2705	2703
Усилие таблетирования, *кн*	120	355	350	710	1520	320	630
Максимальный диаметр таблетки, *мм*	44	76	20	114	165—230	75	110
Глубина заполнения матрицы, *мм*	51	52	52	82	190	50	80
Производительность машины, *шт/ч*	2100	1260	25 000	720	250—350	1200	700
Габаритные размеры машины, *см*	137×107××160	137×107××183	137×107××183	137×107××206	275×190××160	130×110××180	160×120××180
Вес машины, *кн*	9,8	15,7	15,7	17,7	59	—	—

*Машина в многопуансонном исполнении.

В масляном баке установлен гидравлический мультипликатор, повышающий давление нагнетаемого насосом масла от 1,4 до 28 $Мн/м^2$. Благодаря применению мультипликатора уменьшены размеры машины и использован только один насос низкого давления, который имеет высокие эксплуатационные качества.

Таблетируемый материал загружают в бункер. Отсюда он поступает в питатель и матрицу. Дозировку материала осуществляют при помощи винтового регулятора. Подвижные детали машины закрыты защитной решеткой. Машины экономичны по расходу электроэнергии. Это объясняется высоким к. п. д. гидравлического привода и совмещением операций по времени. Управление

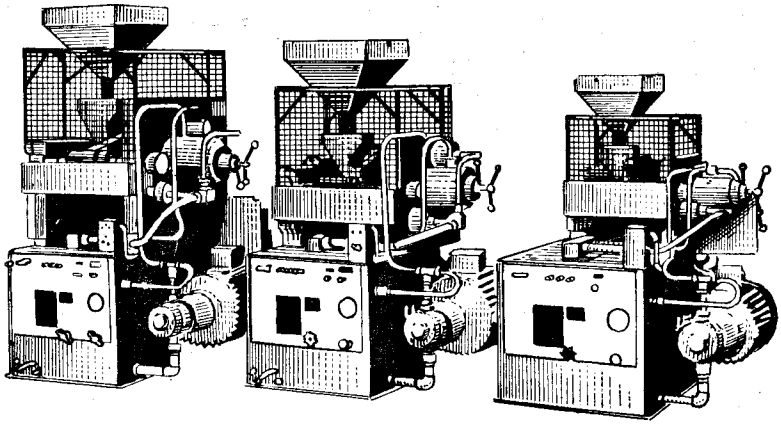


Рис. II.17. Общий вид гидравлических таблеточных машин.

машиной полностью автоматизировано при помощи пневмоуправляемых гидравлических клапанов.

Пооперационная схема работы горизонтальной гидравлической таблеточной машины показана на рис. II.18. В исходной позиции *I* формующие торцы неподвижного *1* и подвижного *5* пуансонов расположены в нижней части бункерного питателя *3*, в котором находится таблетируемый материал *2*. Зазор между торцами пуансонов соответствует весу таблеток и изменяется при помощи винтового регулятора *10*. Затем находившаяся в бункерном питателе между пуансонами порция материала попадает в матрицу *4* вследствие перемещения питателя *3* и матрицы в среднее положение (позиция *II*). Бункерный питатель приводится в движение дифференциальным плунжером *14*, расположенным в гидравлическом цилиндре *13*.

В дальнейшем пуансон *5* под действием дифференциального плунжера *6*, расположенного в гидравлическом цилиндре *7*, движется влево (позиция *III*), сжимая в таблетку находящийся в матрице материал. При этом матрица находится в свободном состоянии и

может быть несколько смещена по отношению к пуансону *1*. Вследствие этого, несмотря на неподвижность одного из пуансонов, достигается эффект двухстороннего сжатия. Дифференциальный плунжер уплотняется манжетами *9* и *12*. Подвод и отвод масла осуществляется через каналы *8* гидравлического цилиндра. Для фиксации установленного винтовым регулятором *10* веса таблеток предусмотрено стопорящее устройство *11*.

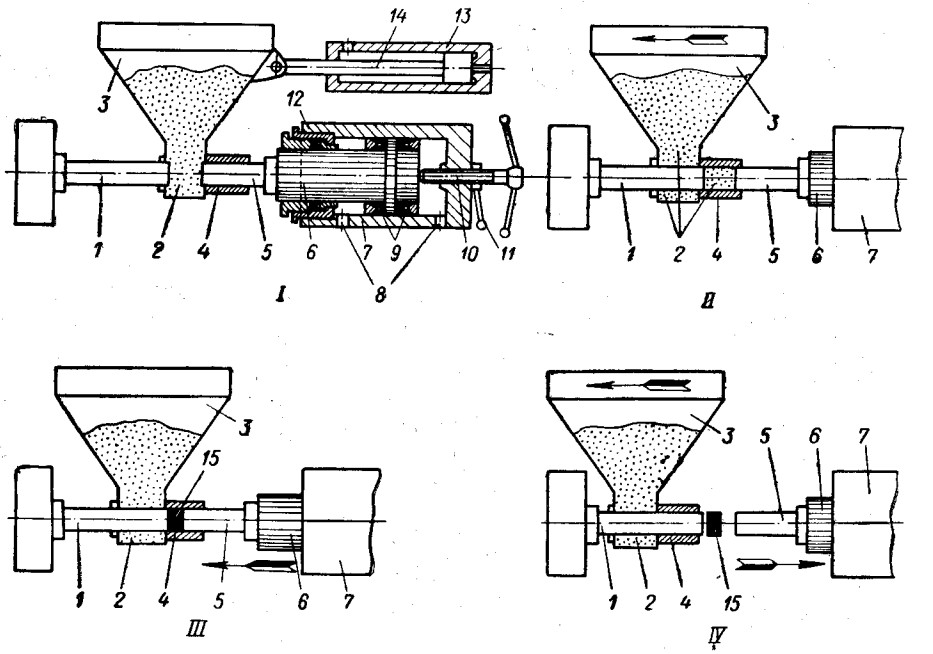


Рис. II.18. Схема работы горизонтальной гидравлической машины:

1 — неподвижный пуансон; *2* — материал; *3* — питатель; *4* — матрица; *5* — подвижный пуансон; *6* — плунжер; *7*, *13* — гидравлические цилиндры; *8* — каналы; *9*, *12* — манжеты; *10* — винтовой регулятор; *11* — стопорящее устройство; *14* — плунжер; *15* — таблетка; *I—IV* — позиции.

В позиции *IV* бункерный питатель и матрица перемещаются в крайнее левое, а пуансон *5* — в крайнее правое положение и таблетка *15* падает под действием собственного веса в приемный лоток. Если сцепление таблетируемого материала и пуансона значительно, то таблетки могут сбрасываться струей сжатого воздуха или механическим сбрасывателем. После удаления таблетки бункерный питатель и матрица перемещаются в исходное положение и цикл таблетирования повторяется.

На гидравлической таблеточной машине предусмотрена гибкая и эффективная регулировка усилия таблетирования, веса таблеток, скорости загрузки материала в матрицу, сжатия материала в таблетку и выдержки таблеток под давлением.

Машина позволяет подвергать таблетку повторному формованию после снятия первоначальной нагрузки. За счет уменьшения скорости сжатия материала удельное давление таблетирования может быть значительно ниже, чем на эксцентриковых и, особенно, на ротационных таблеточных машинах. Таблетки, полученные на гидравлических машинах, имеют стабильный вес (колебание

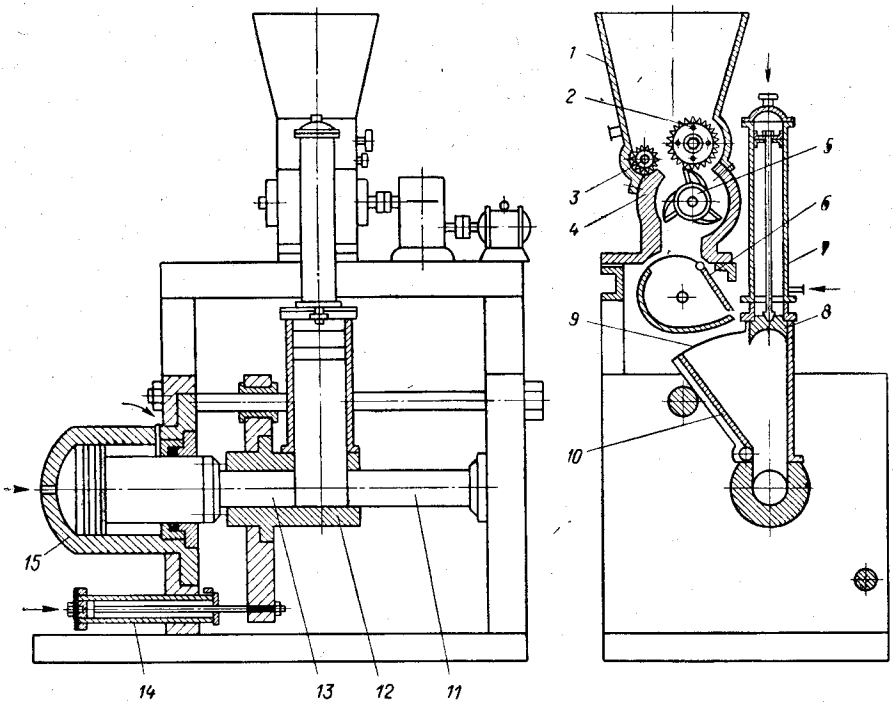


Рис. II.19. Машина для таблетирования волокнистых материалов:

1 — бункер; *2*, *3* — валки; *4*, *5* — ножи; *6* — дозатор; *7*, *14*, *15* — гидравлические цилиндры; *8* — поршень; *9* — камера; *10* — крышка; *11*, *13* — пуансоны; *12* — матрица.

веса таблеток для высокодисперсных материалов — аминопластов — не превышает 2%, а при таблетировании порошкообразного фенопласта — еще меньше).

Горизонтальные гидравлические машины целесообразно применять во всех специализированных производствах по переработке пластмасс и в первую очередь — для изготовления крупных таблеток из высокодисперсных материалов и материалов с волокнистым наполнителем.

Гидравлическая машина для таблетирования волокнистых материалов показана на рис. II.19. Она оснащена устройствами для рубки и предварительного уплотнения материала.

Загружаемый в бункер *1* материал захватывается валками *2* и *3* и подается между вращающимся *5* и неподвижным *4* ножами.

Степень измельчения волокнистого материала и скорость его подачи в весовой дозатор *6* зависят от скорости вращения валков *2*, *3* и ножа *5*.

Порция материала заданного веса загружается из дозатора *6* в камеру *9*, после чего крышка *10* поворачивается по часовой стрелке в вертикальное положение и предварительно уплотняет материал. Затем под действием поршня *8*, соединенного со штоком пневматического или гидравлического цилиндра *7*, материал повторно уплотняется и располагается в матрице *12* между торцами пуансонов *11* и *13*.

В результате последующего перемещения вправо матрицы *12* под действием гидравлического цилиндра *14* порция материала отсекается и сдвигается в закрытую рабочую часть матрицы. Окончательное формование таблетки осуществляется пуансоном *13* при нагнетании жидкости в цилиндр *15*.

* * *

Для обеспечения техники безопасности и санитарных норм механические и гидравлические таблеточные машины обычно оснащаются ограждениями подвижных деталей в опасных зонах, электромеханической блокировкой (которая обеспечивает остановку машины при открывании опасной зоны) и местными отсосами вытяжной вентиляции. Электродвигатель и станина машины заземляются.

ЛИТЕРАТУРА

В. К. Завгородний, Механизация и автоматизация переработки пластических масс, Изд. «Машиностроение», 1970.

Э. Э. Кольман-Иванов, К. А. Салазкин, Таблеточные машины, Изд. «Машиностроение», 1966.

«Машины для переработки полимерных материалов», сб. статей под ред. К. А. Салазкина, Изд. «Машиностроение», 1964.

«Пластмассы в машиностроении», сб. статей под ред. В. К. Завгороднего, Машгиз, 1959.

Глава III

АППАРАТЫ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА И СУШКИ

§ 1. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАГРЕВА ПЛАСТМАСС

Благодаря специфике свойств и особенностям технологии переработки, предварительному нагреву могут подвергаться термореактивные материалы (прессматериалы — порошки и волокниты), а сушке — как термореактивные материалы, так и термопласты.

Предварительный нагрев прессматериала чаще всего в таблетированном виде) производится перед загрузкой его в прессформу с целью интенсификации процесса прессования преимущественно в генераторах токов высокой частоты или в контактных нагревателях.

Электрические термостаты применяются редко из-за продолжительного нагрева и неравномерного распределения температуры в материале. При этом внутренние слои таблеток подвергаются незначительному нагреву, а наружные слои перегреваются и даже частично отверждаются. Происходящая одновременно потеря текучести отражается на качестве прессуемых изделий, вызывает повышенный износ прессформы.

Нагрев материала токами высокой частоты (ТВЧ) уменьшает длительность смыкания прессформы и выдержку в прессформе под давлением в 2—3 раза, удельное давление понижается приблизительно на 50%, срок службы прессформы значительно увеличивается. В результате этого повышается производительность труда при улучшении качества и снижении себестоимости изделий. Материал нагревается быстро, равномерно и одновременно по всему объему.

Рассмотрим кратко поведение прессматериала в поле ТВЧ. Известно, что полупроводники и диэлектрики, к которым относится данный тип пластмасс, нагреваются в электрическом поле высокой частоты вследствие поляризации элементарных зарядов нагреваемого материала. Небольшое количество имеющихся в диэлектрике свободных зарядов приводит к возникновению тока проводимости. При этом поле смещается с той же частотой, но с некоторым запаздыванием из-за преодоления сил внутреннего молекулярного трения,

препятствующих смещению зарядов, на что затрачивается определенная энергия, выделяемая в материале (диэлектрике или полупроводнике) в виде тепла.

Количество выделенного тепла пропорционально частоте электрического поля. При низких частотах электрического поля в диэлектриках выделяется незначительное количество тепла. При высоких частотах (>10 *Мгц*), получаемых обычно от ламповых генераторов, диэлектрические потери можно использовать для промышленного нагрева пластмасс.

Для расчета мощности, выделяемой в единице объема диэлектрика, полную плотность тока можно представить в виде двух составляющих, т. е. активной j_a, совпадающей по фазе с напряженностью электрического поля $\dot{E}$, и реактивной j_p, опережающей ее на угол 90°:

$$\left.\begin{aligned} j_a &= \omega\varepsilon_0\varepsilon''\dot{E} \\ j_p &= \omega\varepsilon_0\varepsilon'\dot{E} \end{aligned}\right\} \qquad \text{(III.1)}$$

где ω — круговая частота; ε_0 — диэлектрическая постоянная; ε' — вещественная диэлектрическая проницаемость, характеризующая плотность заряда на пластинах конденсатора; ε'' — мнимая составляющая диэлектрической проницаемости, или коэффициент потерь.

Отношение j_p/j_a называется добротностью материала:

$$Q = \frac{j_p}{j_a} = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon''} \qquad \text{(III.2)}$$

Обратная величина добротности материала представляет собой тангенс угла диэлектрических потерь:

$$\frac{1}{Q} = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} = \operatorname{tg}\delta \qquad \text{(III.3)}$$

Длительность диэлектрического нагрева зависит от свойств материала: ε' и $\operatorname{tg}\delta$. Произведение этих величин называют коэффициентом (или фактором) потерь, характеризующим потери энергии в материале при определенной частоте. Таким образом, коэффициент (или фактор) потерь вычисляется по формуле:

$$\varepsilon'' = \varepsilon' \operatorname{tg}\delta \qquad \text{(III.4)}$$

Активная мощность, выделяющаяся в единице объема материала в виде тепла, равна:

$$P_0 = j_a E = \omega\varepsilon_0\varepsilon'' E^2 \qquad \text{(III.5)}$$

Для удобства расчетов формулу (III.5) записывают в виде:

$$P_0 = 0{,}55\varepsilon' \operatorname{tg}\delta f E^2 \qquad \text{(III.6)}$$

где f — частота электрического поля, *Мгц*; E — напряженность поля, *кв/см*. Величина P_0 в этом случае выражается в ваттах на кубический сантиметр ($вт/см^3$).

Удельная мощность электрического поля p (в *вт/м*^{3}), теоретически необходимая для нагрева материала, равна:

$$p = \frac{\rho c \Delta T}{\eta_т \Delta \tau} \qquad \text{(III.7)}$$

где ρ — плотность материала, *кг/м*^{3}; c — удельная теплоемкость материала, *дж/(кг·град)*; $\Delta T/\Delta\tau$ — приращение температуры за промежуток времени $\Delta\tau$, *град/сек*; $\eta_т$ — термический к. п. д. процесса нагрева, учитывающий потери тепла в окружающую среду.

Приведенные формулы показывают, что процесс теплообразования в электрическом поле высокой частоты определяется параметрами электрического поля и диэлектрическими свойствами полимера и не зависит от его объема и теплопроводности.

Минимальную частоту $f_{мин}$, при которой можно создать требуемую интенсивность нагрева, не превышая допустимой напряженности электрического поля $E_{доп}$ для данного материала, определяют в результате совместного решения уравнений (III.6) и (III.7):

$$f_{мин} = \frac{1}{0{,}55} \cdot \frac{\rho c \Delta T}{\eta_т \varepsilon \operatorname{tg} \delta \Delta\tau E^2_{доп}} \qquad \text{(III.8)}$$

Из формулы (III.8) следует, что увеличение частоты колебаний позволяет уменьшить напряженность поля в материале при той же интенсивности нагрева.

Верхний предел допустимого изменения частоты ограничен линейными размерами рабочего конденсатора. Во избежание неравномерности нагрева материала линейные размеры рабочего конденсатора определяют из зависимости:

$$f_{макс} = \frac{3 \cdot 10^7}{l \sqrt{\varepsilon}} \qquad \text{(III.9)}$$

где $f_{макс}$ — максимальная частота, *гц*; l — наибольший размер рабочего конденсатора, *м*.

Для нагрева единицы объема материала от температуры T_1 до T_2 за время τ необходимо затратить мощность P (в *вт*):

$$P = c\rho \frac{T_2 - T_1}{\tau \eta_т} \qquad \text{(III.10)}$$

где c — удельная теплоемкость материала, *дж/(кг·град)*; ρ — плотность материала, *кг/м*^{3}; T_1, T_2 — начальная и конечная температура материала соответственно, °С; τ — продолжительность нагрева, *сек*; $\eta_т$ — термический к. п. д. процесса нагрева, учитывающий потери тепла в окружающую среду.

Решая совместно уравнения (III.6) и (III.10), можно определить продолжительность нагрева материала τ (в *сек*) от температуры T_1 до T_2 в поле ТВЧ:

$$\tau = \frac{c\rho (T_2 - T_1)}{0{,}55 \eta_т \varepsilon \operatorname{tg} \delta f E^2} \qquad \text{(III.11)}$$

Интенсивность диэлектрического нагрева повышается с увеличением частоты колебаний и напряженности поля. Однако из-за возможности диэлектрического пробоя материала напряженность электрического поля в материале не должна превышать 200—250 *кв/м*. При этом напряжение на пластинах конденсатора обычно не превышает 8000 *в*.

Поскольку величина допустимой напряженности (т. е. отношение напряжения на конденсаторе к расстоянию между его пластинами) уменьшается с увеличением температуры материала, при необходимости более интенсивного нагрева практически можно повышать только частоту электрического поля. Однако и при этом возникают некоторые ограничения из-за уменьшения «добротности» колебательного контура при повышенных частотах (вследствие повышения в нем диэлектрических потерь). В стандартных ламповых генераторах ТВЧ для нагрева пластмасс обычно применяют частоту 20—40 *Мгц*.

Рациональное проведение предварительного нагрева особенно важно в случае применения на производстве циклов ускоренного прессования. Сущность их заключается в кратковременном нагреве таблеток материала до повышенной температуры (145—150° С для фенопластов и 135—140° С для аминопластов) и последующем прессовании в прессформе также при более высокой, чем обычно, температуре (соответственно 200—205 и 160—165° С вместо прежних значений 175—185 и 140—150° С). Повышенная температура прессформы обеспечивает сокращение продолжительности отверждения изделий. Предельные температуры прессформы (205—215° С для фенопластов и 180—185° С для аминопластов и мелалита) определяются началом прилипания прессуемого материала к оформляющей поверхности прессформы.

Зависимость продолжительности отверждения изделий от температуры предварительного нагрева материала показана на рис. III.1. Кривые *1—3* характеризуют возможность уменьшения продолжительности отверждения в зависимости от температуры нагрева для изделий толщиной соответственно 3; 5 и 8 *мм* из фенопластов. При повышении температуры нагрева от 110 до 140° С время отверждения указанных изделий сокращается соответственно в 1,66; 1,88 и 2,1 раза.

Зависимости максимально допустимой продолжительности предварительного нагрева материала и смыкания прессформы от температуры нагрева показаны на рис. III.2. До температуры 80—90° С материал можно нагревать $\sim$ 2 *мин*, а до 110° С —в течение 1 *мин* (кривая *1*). При температуре 140° С время нагрева не должно превышать 20 *сек*. При повышении температуры нагрева его продолжительность во избежание преждевременного отверждения материала должна резко сокращаться.

Кривая *2* характеризует зависимость предельно допустимой продолжительности смыкания прессформы от температуры предварительного нагрева материала. При температуре 80° С время смыка-

ния формы практически не ограничено. При повышении температуры нагрева до 100° С смыкание не должно проходить дольше 12 *сек*, а при повышении температуры до 120 и 140° С время смыкания формы должно быть соответственно не более 4 и 2 *сек*.

Для внедрения ускоренных циклов прессования необходимы: мощные генераторы с повышенной частотой колебаний для быстрого нагрева материала до высокой температуры, обеспечивающие возможность ускоренной перегрузки нагретого материала в прессформу; быстроходные прессы, позволяющие за короткое время достигать необходимого усилия прессования; нагреватели, терморегуляторы,

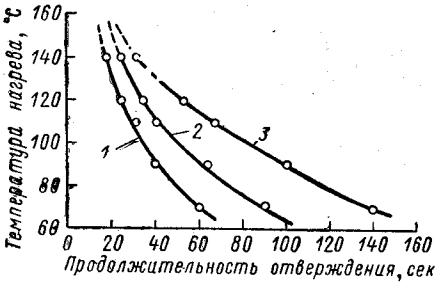


Рис. III.1. Зависимость продолжительности отверждения изделий различной толщины от температуры предварительного нагрева материала.

Кривая	1	2	3
Толщина изделий, *мм*	3	5	8

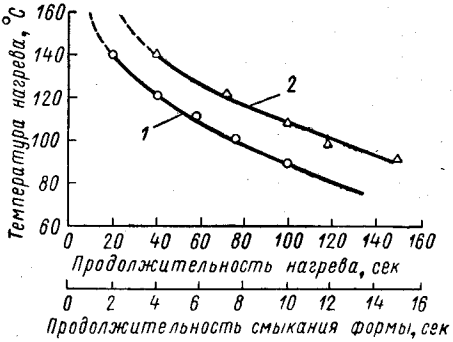


Рис. III.2. Зависимость допустимой продолжительности нагрева материала (кривая *1*) и смыкания формы (кривая *2*) от температуры предварительного нагрева материала.

торцовая и бортовая теплоизоляция, обеспечивающие стабильную повышенную температуру и равномерное температурное поле прессформы.

Потребляемую мощность генератора N (в *квт*), необходимую для повышения температуры материала (фенопласта) с заданной скоростью, рекомендуется рассчитывать по эмпирической зависимости:

$$N = 5{,}81 \cdot 10^{-2} (v - 32) G \qquad \text{(III.12)}$$

где v — скорость нагрева, *град/мин*; G — масса одной порции материала, *кг*.

Строгая синхронизация работы гидравлического пресса и генератора ТВЧ достигается включением последнего в работу через определенное время после нажатия на кнопку управления прессом. Генератор автоматически выключается после нагрева материала до заданной температуры в момент, обеспечивающий быструю перегрузку нагретого материала в прессформу. При этом должна быть исключена возможность произвольного сокращения длительности нагрева материала в генераторе прессовщиком.

Для значительного сокращения продолжительности нагрева материала при одновременном повышении температуры нагрева увеличивают частоту колебаний (с 20—40 до 80—160 *Мгц*) и колебательную мощность генератора (с 1—5 до 20—30 *квт*). Для различных материалов приведенные на рис. III.1 и III.2 данные могут изменяться, однако характер зависимостей не меняется. В табл. III.1 приведены сведения о нагревательной способности генераторов ТВЧ в зависимости от колебательной мощности, температуры и продолжительности нагрева.

Таблица III.1

Зависимость нагревательной способности генераторов ТВЧ от колебательной мощности, температуры и продолжительности нагрева

Колебательная мощность генератора, *квт*	Масса материала (в *кг*) при нагреве			Колебательная мощность генератора, *квт*	Масса материала (в *кг*) при нагреве		
	до 95° С за 60 *сек*	до 120° С за 30 *сек*	до 150° С за 10 *сек*		до 95° С за 60 *сек*	до 120° С за 30 *сек*	до 150° С за 10 *сек*
1	0,4	0,09	0,02	9	3,3	0,8	0,21
	0,8	0,18	0,04	12	5,0	1,0	0,33
2,5	1,0	0,22	0,07	18	6,6	1,6	0,42
	2,0	0,45	0,12	28	10,0	2,5	0,68
6	2,4	0,54	0,14				

При предварительном нагреве таблетированного фенопласта в генераторе мощностью 5 *квт* при частоте 40 *Мгц* получены следующие результаты. При прессовании основания штепсельной розетки толщиной 5 *мм* и весом 0,36 *н* из фенопласта время отверждения изделия (при предварительном нагреве материала до 144° С за 7 *сек*) составляло соответственно 23; 21; 19; 18 и 17 *сек* при температуре прессформы 200; 210; 220; 225 и 230° С. Продолжительность смыкания прессформы в этом случае была равна 2,5 *сек*.

Прессование при ускоренных циклах позволяет снизить длительность отверждения определенной группы изделий в 2—3 раза по сравнению с обычным прессованием (т. е. при нагреве материала до 100—120° С в течение 30—60 *сек* и температуре прессформы 175—185° С).

§ 2. ГЕНЕРАТОРЫ ТОКОВ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

В настоящее время для предварительного нагрева пластмасс в отечественной промышленности применяют стандартные ламповые генераторы ТВЧ с колебательной мощностью 1—10 *квт* (табл. III.2). В генераторах нагревают главным образом таблетированный материал. Нагреваемые таблетки устанавливают на нижний электрод, который обычно является заземленной пластиной конденсатора в высокочастотном колебательном контуре. Зазор между

Таблица III.2

Технические характеристики отечественных генераторов ТВЧ

Технические данные	Тип генератора				
	ЛГД-1	ЛГЕ-3Б	ЛГД-10А	ЛД-1-2	ЛД-3-6
Максимальная мощность, потребляемая от сети, *квт*	2,4	5	17,5	3,6	15
Колебательная мощность, *квт*	1	2	8	1,6	6,3
Частота колебаний, *Мгц*	25–30	25–30	20–25	40,68 (±1%)	40,68 (±1%)
Напряжение питающей сети, *в* . . .	220	220/380	220/380	220/380	220/380
Размеры рабочего конденсатора, *см*	20×20	27,5×20	—	300 *	—
Тип генераторной лампы	ГУ-80	ГУ-5А	ГУ-89А	ГУ-56	ГУ-10А
Количество ламп . .	2	1	1	1	1
Тип выпрямительных ламп	—	ГТ-1-0,5/1,5	ТР1-6/15	ТР1-6/15	ТР1-6/15
Количество ламп . .	—	6	6	3	7
Габаритные размеры генератора, *см* . .	—	88×88×167	121×86×197	68×54×55	—

* Выражено в квадратных сантиметрах.

электродами регулируется, вследствие чего изменяется напряженность электрического поля в зоне нагрева.

Генераторы оснащены верхней крышкой, автоматически открывающейся по окончании нагрева материала. На передней панели генератора установлено реле времени с бесступенчатой регулировкой времени выдержки.

Для ускоренных циклов прессования используют генераторы повышенной частоты и мощности. Отечественный генератор типа ЛД-1-6 с колебательной мощностью 6 *квт* и частотой 40 *Мгц* применяется для комплектации автоматической роторной линии прессования. Генератор выполнен в виде трех блоков с выносными электродами. В генераторе одновременно нагревается 10—12 таблеток из фенопластов массой по 0,03—0,04 *кг*. Каждые 12 *сек* генератор автоматически выдает нагретую до 120° С таблетку. Температура нагрева может быть повышена, однако в условиях прессования на автоматической роторной линии в этом нет необходимости.

Отечественная промышленность выпускает также генераторы с колебательной мощностью 4 и 10 *квт* и частотой ~ 40 и 80 *Мгц*. С помощью генератора мощностью 10 *квт* при частоте 40 *Мгц* можно нагревать за 12—15 *сек* 0,25—0,4 *кг* таблетированного материала до 145—150° С.

Еще более эффективны генераторы с частотой 80—160 *Мгц* и повышенной колебательной мощностью. Они также оснащены автоматически открывающимися крышками и обеспечивают свободный доступ к нагреваемому материалу. Крышка автоматически

Таблица III.3

Технические характеристики зарубежных генераторов для

Параметры	«Radio Heaters» (Англия)			
	H.6/C	H.15	H.30	H.120
Колебательная мощность, *квт*	1	2,5	5	10/12
Частота колебаний, *Мгц*	40	40	40	70/80
Размер электродов, *см*	14×18	25×25	30×30	41×41 или 51×51
Вес материала (в *н*), нагреваемого до температуры:				
110° С за 1 *мин*	2	5	9,5	25
150° С за 15 *сек*	0,3	0,75	1,4	3,4
Максимальный вес материала, *н*	5	15	32	75
Напряжение питания, *в*	200/250	200/250	360/440	360/440
Частота питания, *гц*	50/60	50/60	50/60	50/60
Количество фаз	1	1	3	3
Габаритные размеры генератора, *см*	35×35×53	47×74×67	47×74×67	71×79×157
Вес генератора, *кн*	0,8	1,1	1,4	4,5

открывается в тот момент, когда достигнута необходимая температура материала, а пресс подготовлен к очередному циклу прессования.

Генераторы ТВЧ оснащаются электромеханической блокировкой и заземляются. Колебательный контур генератора тщательно экранируется для предохранения обслуживающего персонала от облучения токами высокой частоты.

Представляют интерес зарубежные генераторы повышенной частоты и мощности, предназначенные для ускоренного и обычного предварительного нагрева таблетированных термореактивных материалов (табл. III.3).

Генератор типа H.30 (рис. III.3) с колебательной мощностью 5 *квт* оснащен вентиляционной системой для удаления летучих веществ, выделяющихся при нагревании из материала. Генератор оборудован также специальным электродвигателем, установленным в верхней его части, для автоподстройки, т. е. автоматической регулировки расстояния между электродами в процессе нагрева.

Необходимость автоматической регулировки расстояния между электродами объясняется тем, что в конце нагрева реактопластов нагрузка на генератор резко увеличивается. Для того чтобы оптимально настроенный в начале генератор не перегружался в конце нагрева, зазор между электродами автоматически увеличивается до величины, эквивалентной оптимальной нагрузке. Генератор обеспечивает нагрев 2 *кг* материала до температуры 95° С за 1 *мин*; 0,45 *кг* до 120° С за 30 *сек* и 0,14 *кг* до 150° С за 15 *сек*.

Большой интерес представляют автоматизированные генераторы ТВЧ, предназначенные для размещения в прессавтоматах, а также

ускоренного нагрева материала

Фирма, страна и тип генератора	«Centrotecnika» (Италия)					
	HF1500	DER40	DER50	DER60	DER80	DER100
	1,5 40 25×15	2,5 80 17×17	4 80 30×18	6 80 35×35	12 80 50×40	25 80 60×60
	3,9 0,45 9 220 50 1 45×65×62	5,9 0,75 15 220 50 1 53×71×122	9,8 1,25 25 380 50 3 58×81×135	14,7 1,8 40 380 50 3 58×81×135	29,4 3,3 80 380 50 3 85×115× ×140	59 6,5 180 380 50 3 110×135× ×160
	0,65	1,3	1,5	1,9	48	9

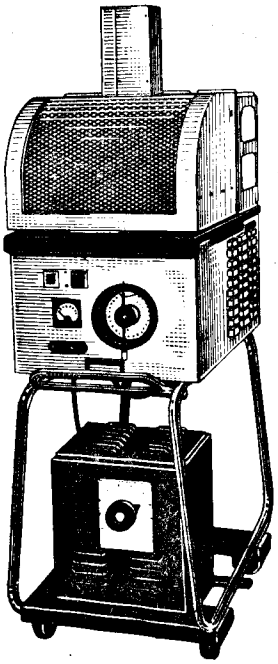


Рис. III.3. Генератор для ускоренного нагрева таблетированного материала.

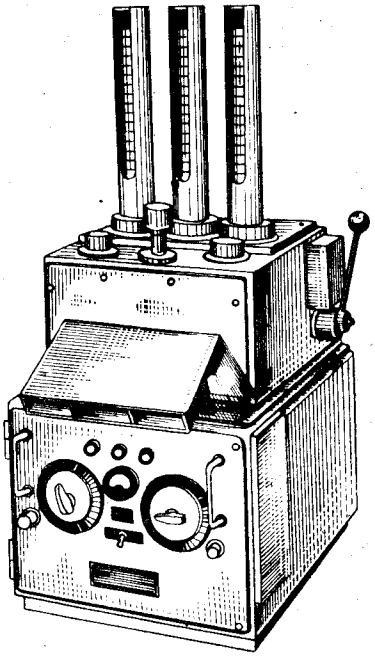


Рис. III.4. Автоматизированный генератор ТВЧ с кассетным питателем.

позволяющие синхронизировать работу генератора и автоматизированного или автоматического пресса. Автоматизированный генератор ТВЧ показан на рис. III.4. Генератор оснащен кассетным питателем для цилиндрических таблеток. После поворота рукоятки таблетки из кассет перегружаются на нижний электрод, а ранее нагретые таблетки сталкиваются по трем ручьям желоба.

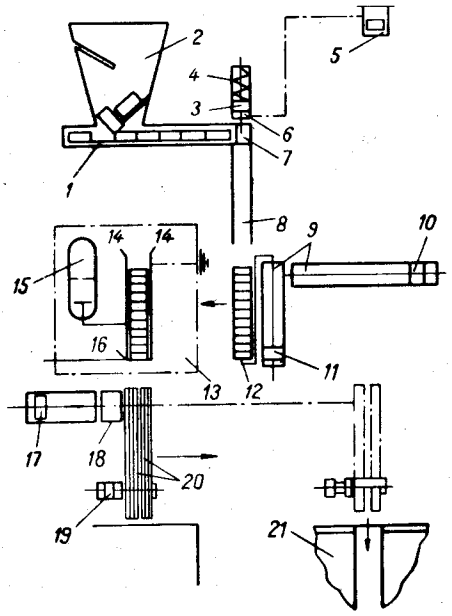


Рис. III.5. Схема автоматической установки для нагрева таблеток:

1 — вращающийся стол; *2* — бункер; *3*, *10*, *11*, *17*, *19* — поршни; *4* — пружина; *5* — реле времени; *6* — дозировочное устройство; *7* — шибер; *8* — трубчатый питатель; *9* — пневматические цилиндры; *12*, *16* — площадки; *13* — генератор ТВЧ; *14* — электроды колебательного контура; *15* — генераторная лампа; *18* — транспортирующее устройство; *20* — полуцилиндры; *21* — пресс-форма.

Включение и выключение генератора производится автоматически, при помощи двух реле времени. Управление генератором может быть полностью автоматизировано. Для этой цели устанавливают электроуправляемый пневматический клапан или электромагнит для переключения рукоятки. При автоматическом цикле прессования управление генератором должно быть сблокировано и синхронизировано с электрической схемой управления прессом.

Схема автоматической установки для предварительного нагрева таблетированных термореактивных материалов токами высокой частоты показана на рис. III.5. Установка предназначена для размещения в прессавтомате и состоит из устройств для дозирования таблеток (*6*), их нагрева (*13*) и транспортировки (*9* и *18*).

Засыпанные в бункер *2* таблетки попадают на круглый вращающийся стол *1* и затем поштучно перегружаются через трубчатый питатель *8* на площадку *12*. Поштучная дозировка таблеток осуществляется перемещающимся вертикально шибером *7*, приводимым в движение соединенным с пружиной *4* поршнем *3*. Вертикальное перемещение площадки *12* осуществляется под действием поршня *11*, работающего синхронно с дозировочным устройством (при каждом ходе шибера *7* площадка опускается на расстояние, равное высоте таблетки).

Как только площадка заполнится комплектом предназначенных для нагрева таблеток, поршень *10* горизонтального транспортирующего устройства перемещает площадку с таблетками в нагревательную камеру генератора ТВЧ *13* и таблетки с площадки *12* пере-

гружаются на площадку *16*. Поршни *10* и *11* установлены в пневматических цилиндрах *9*.

Таблетки нагревают в электромагнитном поле высокой частоты между электродами *14* колебательного контура, соединенного с генераторной лампой *15*. На время, необходимое для горизонтального перемещения таблеток в генератор ТВЧ, реле времени *5* отключает дозировочное устройство *6*. После нагрева таблеток площадка *16* перемещается влево и таблетки попадают в пространство между двумя полуцилиндрами *20*, которые затем сближаются под действием поршня *19* пневматического цилиндра.

Поршень *17* транспортирующего устройства *18* перемещает полуцилиндры вместе с таблетками таким образом, что они устанавливаются над прессформой *21* пресса. После разъема полуцилиндров нагретые таблетки поступают в прессформу.

§ 3. ИНДУКЦИОННЫЕ КОНТАКТНЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ

Диэлектрический нагрев таблетированного прессматериала, как правило, не может быть заменен контактным нагревом вследствие малой теплопроводности реактопластов и неравномерного характера нагрева. Однако в отдельных случаях, например, при нагреве таблеток диаметром $\leqslant 30$ *мм* до относительно невысокой температуры ($\leqslant 110°$ С) достигается удовлетворительное качество материала при экономии электроэнергии.

Устройство для контактного нагрева таблетированного прессматериала (рис. III.6, *а*) состоит из двух стальных плит *5*, соединенных при помощи шарнира *2*. В плитах оформлены полукруглые или прямоугольные каналы *6* для укладки нагреваемых таблеток на ребро или плашмя (в зависимости от размеров и конфигурации). Плиты нагреваются при помощи индукторов *3*, состоящих из катушек медного провода со стеклянной изоляцией, расположенных по периметру плит. Мощность индукторов регулируется в пределах 150—500 *вт* при помощи переключателя *1*. Температура нижней плиты 100—110, верхней плиты 110—120° С. Плиты покрыты торцовой и бортовой теплоизоляцией *4*. Для питания индукторов используется ток промышленной частоты напряжением 220 *в*. Промышленный к. п. д. контактного метода нагрева таблетированных реактопластов достигает 50—70% при наличии надежной теплоизоляции.

Обычно рабочие каналы в плитах делают с таким расчетом, чтобы в них можно было поместить таблетированный материал в количестве, превышающем в 4—6 раз вес одной запрессовки. Поэтому длительность операции нагрева одновременно прессуемой порции материала увеличивается соответственно в 4—6 раз. Поскольку размер каналов соответствует диаметру таблеток, практически удается избежать воздушного зазора между нагревательной плитой и таблетками и повысить, таким образом, коэффициент теплопередачи.

Аналогичное устройство для контактного нагрева без разъемных плит показано на рис. III.6, *б*. Таблетированный материал *8* укладывают вручную на специальные желоба *9*, после чего таблетки перемещают в нагревательные цилиндры, расположенные в плитах *7*, при помощи ручных поршеньков *10*. Одновременно с загрузкой в цилиндры определенного количества материала из них поршеньками

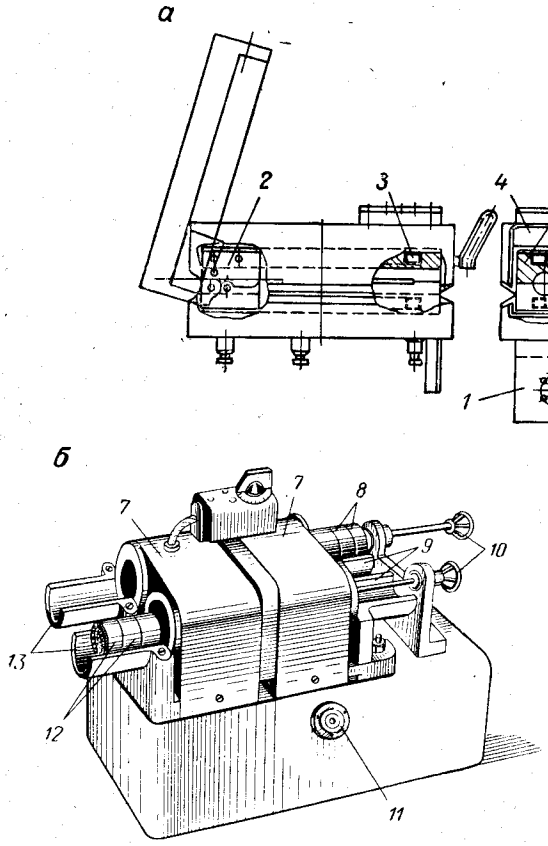


Рис. III.6. Индукционные устройства для контактного нагрева таблеток:

а — с разъемными плитами; *б* — с неразъемными плитами; *1* — переключатель; *2* — шарнир; *3* — индуктор; *4* — теплоизоляция; *5* — плиты; *6* — каналы для таблеток; *7* — нагревательные плиты; *8* — таблетки; *9*, *13* — желоба; *10* — поршеньки; *11* — сигнальная лампа; *12* — нагретые таблетки.

выталкивается на желоба *13* эквивалентное количество нагретых таблеток *12*. О включении индукционного нагрева судят по загоранию сигнальной лампы *11*.

Устройство с индукционным нагревом мощностью 0,5 *квт* позволяет нагревать в течение 12 *мин* до 1 *кг* таблеток диаметром 30 *мм* до температуры ~100° С. Устройство оснащено терморегулятором, обеспечивающим автоматическое регулирование температуры в пределах ± 0,5° С. Устройства для контактного нагрева просты в изготовлении и обслуживании, нечувствительны к колебаниям напряжения питающей сети, устойчивы в работе и имеют сравнительно небольшие габаритные размеры.

Продолжительность нагрева прессматериала в контактном нагревателе рассчитывают, исходя из уравнения теплопроводности для нестационарного теплового потока:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) \qquad \text{(III.13)}$$

где a — коэффициент температуропроводности, $м^2/сек$.

При граничных условиях $x = 0$ и $x = 2\delta$ имеем $T = T_{ср}$, а при $\tau = 0$ и $\tau = \infty$ получим соответственно $T = T_1$ и $T = T_{ср}$. В этом случае уравнение теплопроводности принимает вид:

$$\frac{T_{ср} - T}{T_{ср} - T_1} = \frac{2}{\pi}\sum_{k=1}^{\infty}[1-(-1)^k]\frac{1}{k}\exp\left[-k^2\left(\frac{\pi}{2}\right)^2\frac{a\tau}{\delta^2}\sin\frac{kTx}{2\delta}\right] \qquad \text{(III.14)}$$

Это уравнение может быть изображено графически в виде взаимно зависимых четырех критериев:

$\theta = \dfrac{T_{ср} - T}{T_{ср} - T_1}$ — отношения температурных разностей;

$\text{Fo} = \dfrac{a\tau}{\delta^2}$ — критерия Фурье (гомохронности);

$\dfrac{1}{\text{Bi}} = \dfrac{\lambda}{\alpha\delta}$ — критерия Био (отношения тепловых сопротивлений);

$n = \dfrac{r}{\delta/2}$ — отношения расстояний.

Здесь $T_{ср}$ — температура плиты, °С; T — температура нагрева определенной точки таблетки; °С; T_1 — начальная температура таблетки, °С; α — коэффициент теплоотдачи от плиты к таблетке, $вт/(м^2 \cdot град)$; τ — продолжительность нагрева, $сек$; δ — толщина или диаметр таблетки, $м$; λ — коэффициент теплопроводности таблетированного материала, $вт/(м \cdot град)$; r — расстояние до центра таблетки, $м$.

В центре таблетки $r = 0$, следовательно, критерий n также равен нулю. Критерий Био (1/Bi) является очень малой величиной и для пластмасс практически можно принять $1/\text{Bi} = 0$.

В указанном случае между критерием Фурье и отношением температурных разностей имеется следующее соотношение:

Fo	0,38	0,50	0,55	0,595	0,605	0,62	0,70
θ	0,20	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03

Продолжительность нагрева таблетки τ (в $сек$) от T_1 до T при температуре плит $T_{ср}$ определяют по формуле:

$$\tau = \frac{\text{Fo}\delta^2}{a} \qquad \text{(III.15)}$$

где $a = \lambda/cp$. Для таблеток из фенопласта $\lambda = 43 \cdot 10^3$ $вт/(м \cdot град)$, c — теплоемкость материала, равная 1750 $дж/(кг \cdot град)$, ρ — плотность таблетки, равная 1050 $кг/м^3$.

Критерий Fo определяют из зависимости (III.15) по вычисленному отношению температурных разностей.

Графики скоростей нагрева таблеток диаметром 30 $мм$ и весом 1 $н$ из фенопласта в генераторе токов высокой частоты с колебательной мощностью 1,3 $квт$ при частоте 20 $Мгц$, в контактном нагревателе и в термостате даны на рис. III.7. Температура верхней и нижней плит контактного нагревателя мощностью 0,3 $квт$ составляла

120—130 и 95—105° С, температура внутри термостата была равна 180° С. При определении зависимостей температуру замеряли в центре таблеток. Приведенные графики позволяют еще раз убедиться в преимуществах метода нагрева токами высокой частоты.

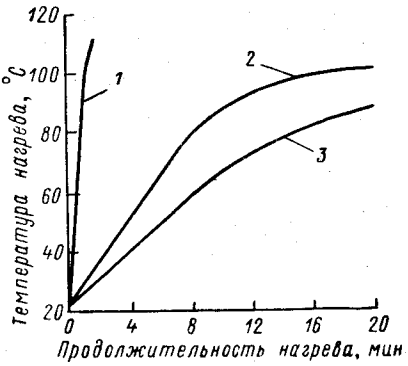


Рис. III.7. Графики скоростей нагрева таблетированного материала в генераторе ТВЧ (кривая *1*), контактном нагревателе (кривая *2*) и термостате (кривая *3*).

§ 4. УСТРОЙСТВА ДЛЯ СУШКИ И ПОДОГРЕВА ПЛАСТМАСС

При переработке термореактивных и термопластичных материалов с повышенной влажностью снижается качество формуемых изделий, уменьшается производительность процесса. В тех случаях, когда влажность материала превысит определенный предел, вообще не удается получить изделия удовлетворительного качества. Для предварительной сушки применяют вакуумные сушилки и специальные бункеры, которые устанавливают на литьевых, экструзионных, выдувных и других машинах. Материал в процессе сушки нагревается, что также положительно влияет на последующий процесс переработки, так как уменьшается продолжительность пластикации и формования изделий.

При проведении экспериментальных исследований в лабораторных условиях, а также на предприятиях, участках и в цехах небольшой мощности вместо сложных, дорогих и энергоемких генераторов ТВЧ для предварительного нагрева материала перед формованием применяют термостаты. В этом случае нагреваемый материал частично подсушивается. Температура нагрева термореактивных материалов в термостатах обычно не превышает 70—80° С.

Нагреваемый материал загружают на противни, которые устанавливают на полки термостата. Нагревание материала происходит за счет теплоотдачи от нагретого воздуха, находящегося в термостате. При таком нагреве наружные слои материала нагреваются до более высокой температуры, чем внутренние слои. Материал считается нагретым в том случае, когда его внутренняя часть достигнет заданной температуры. При этом наружные слои материала под действием высокой температуры могут частично отверждаться,

переходя в неплавкое и нерастворимое состояние. Текучесть такого материала уменьшается, что затрудняет его формование в изделие.

Вакуумные сушилки работают при давлении в сушильной камере, намного меньшем атмосферного. При сушке под вакуумом значительно снижаются потери тепла с отработанным сушильным агентом, легко улавливаются выделяющиеся из материала летучие вещества, уменьшаются потери материала. Обычно вызываемое применением вакуума усложнение конструкции сушилки вполне оправдывается технологическими и экономическими преимуществами.

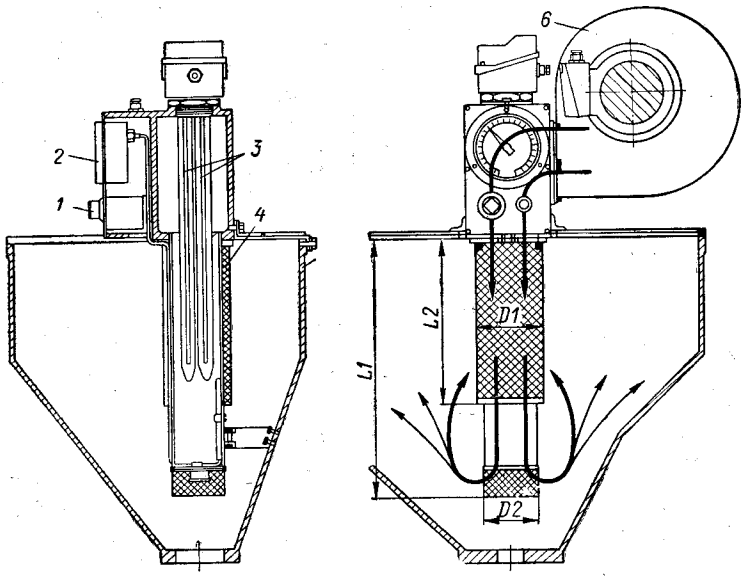


Рис. III.8. Бункер с устройством для подсушки и подогрева термопластов:

1 — регулятор температуры; *2* — термометр; *3* — нагреватели; *4* — сетчатый цилиндр; *5* — бункер; *6* — вентилятор.

Для подогрева и подсушки гранулированных или порошкообразных термопластов (полиамидов, полиформальдегида и т. д.) на литьевых, экструзионных и выдувных машинах применяются специальные бункеры, оснащенные нагревательной системой (рис. III.8). Такая система состоит из вентилятора *6*, трубчатых электрических нагревателей *3* воздуха, контактного манометрического термометра *2*, регулятора температуры *1* и сетчатого цилиндра *4*. Цилиндр установлен на крышке бункера *5* и дополнительно прикреплен к его боковой стенке.

Нагнетаемый вентилятором воздух нагревается в сетчатом цилиндре электрическими трубчатыми нагревателями и, поступая через ячейки сетчатого цилиндра, проходит через массу материала, засыпанного в бункер. При этом материал не только нагревается,

но и подсушивается, так как с воздухом удаляются пары воды. Направление воздушных потоков показано стрелками. Материал с влажностью 1—3,5% может быть высушен до содержания влаги 0,2%. Увлажненный воздух выходит через загрузочное отверстие бункера.

Характеристика нагревательных бункеров трех типоразмеров приведена в табл. III.4.

Таблица III.4

Характеристика нагревательных бункеров

Технологические и геометрические параметры	Тип бункера		
	1,5	2	3
Мощность нагревателей, *квт*	1,5	2	3
Производительность, *кг/ч*	10—15	20—25	30—35
Размеры сетчатого цилиндра, *мм*:			
D_1	102	102	102
D_2	82	82	82
L_1	400	40	540
L_2	260	260	400

Нагревательные бункеры устанавливаются в зависимости от производительности литьевых, экструзионных или выдувных машин. При этом производительность машины может несколько превышать производительность бункера.

ЛИТЕРАТУРА

В. А. Веселов, Оборудование для переработки пластических масс в изделия, Машгиз, 1961.

В. К. Завгородний, Пластмассы и производство изделий из них, ВИНИТИ АН СССР, 1967.

Е. Б. Тростянская, Г. В. Комаров, В. А. Шишкин, Сварка пластмасс, Изд. «Машиностроение», 1967.

А. А. Фогель, Промышленное применение токов высокой частоты, Изд. «Машиностроение», 1965.

Глава IV

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПРЕССЫ

§ 1. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ПРЕССОВАНИЯ РЕАКТОПЛАСТОВ

В процессе прессования реактопласты нагреваются и переходят в твердое необратимое состояние. Это превращение происходит в формующем инструменте — прессформе *. Основными способами получения изделий из реактопластов являются компрессионное (прямое, открытое) и трансферное (литьевое) прессование.

Схемы формования изделий из реактопластов приведены на рис. IV.1. При компрессионном прессовании (рис. IV.1, *а*) в гнезда матрицы *3* раскрытой прессформы загружается предварительно нагретый или ненагретый, таблетированный или порошкообразный материал *2*. Под действием усилия главного цилиндра пресса пуансон *1* смыкается с матрицей, а материал пластицируется за счет теплоотдачи от нагретой оформляющей поверхности прессформы, заполняет оформляющую полость и отверждается. После разъема прессформы отпрессованные изделия выталкиваются из гнезд матрицы устройством *4*.

Обычно в случае компрессионного прессования применяют таблетированный материал, предварительно нагретый токами высокой частоты. Эффективность процесса повышается при заполнении гнезд матрицы пластицированным материалом, который выдавливается под небольшим давлением вращающимся или перемещающимся в осевом направлении червяком *7* (рис. IV.1, *б*). Материал подается в пластикатор вибропитателем (на рисунке не показан) и накапливается в передней части обогреваемого цилиндра, при этом червяк отходит назад на величину, соответствующую требуемому объему дозируемой массы. Вибропитатель отключается, и вращающийся червяк пластицирует материал в течение необходимого времени. Выход материала из цилиндра пластикатора закрыт шибером *5*, который имеет привод от автономного гидравлического или пневматического цилиндра *6*.

---

* Отдельные особенности прессформ рассматриваются в последующих параграфах. Более подробные сведения о прессформах можно найти в специальной технической литературе.

При использовании многогнездных прессформ пластикатор может перемещаться в горизонтальной плоскости в одном или двух взаимно перпендикулярных направлениях. Одновременно с загрузкой пластицированного материала в формующие гнезда из прессформы удаляются ранее отпрессованные изделия.

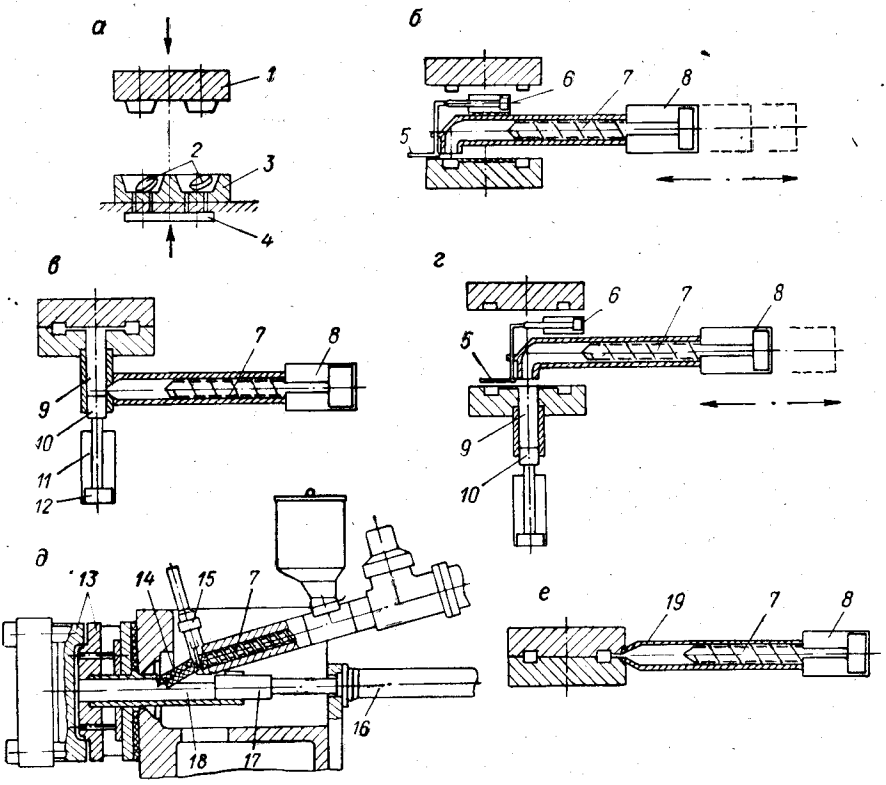


Рис. IV.1. Схемы формования изделий из реактопластов компрессионным способом без предварительной пластикации (*а*) и с пластикацией материала (*б*), трансферным способом на вертикальных прессах с предварительной пластикацией в червячных устройствах (*в* и *г*), трансферным способом на горизонтальной машине (*д*), способом литья под давлением (*е*):

1 — пуансон; *2* — материал; *3* — матрица; *4* — выталкивающее устройство; *5* — шибер; *6* — цилиндр привода шибера; *7* — червяк; *8*, *11*, *16* — гидравлические цилиндры; *9*, *18* — обогреваемые трансферные цилиндры; *10*, *17* — поршни; *12* — плунжер; *13* — форма; *14* — порция пластицированного материала; *15* — отрезное устройство; *19* — пластикационный цилиндр.

При трансферном прессовании предварительно нагретый материал обычно загружают (механизированным способом или вручную) в обогреваемый трансферный цилиндр. Более эффективным является процесс, предусматривающий выдавливание пластицированного материала в трансферный цилиндр *9* (рис. IV.1, *в*) червяком *7*, перемещающимся в осевом направлении под действием гидравлического

цилиндра *8*. Из цилиндра *9* материал впрыскивается в полость замкнутой прессформы поршнем *10*, перемещающимся под действием плунжера *12*, установленного в гидравлическом цилиндре *11*.

Пластицированный материал может загружаться сверху в открытую полость трансферного цилиндра *9* (рис. IV.1, *г*). В этом случае на цилиндре червячного пластикатора также устанавливают шиберное устройство *5* с приводом для герметизации цилиндра во время пластикации материала. Пластикация новой порции материала осуществляется вращающимся червяком *7* пластикатора во время отверждения изделий в форме.

Для трансферного прессования может быть использована горизонтальная поршневая литьевая машина (рис. IV.1, *д*). В этом случае порция *14* пластицированного и выдавленного червяком *7* материала отрезается устройством *15* и попадает в обогреваемый трансферный цилиндр *18*. Из цилиндра *18* материал подается в форму *13* поршнем *17* под действием гидравлического цилиндра *16*.

При переработке же реактопластов методом литья под давлением пластицированный материал впрыскивается поршнем или червяком *7* (рис. IV.1, *е*) непосредственно из обогреваемого пластикационного цилиндра *19* в формующую полость замкнутой формы.

Рассмотрим основные технологические особенности перечисленных способов прессования.

Для всех способов большое влияние на процесс прессования оказывает температура загружаемого в прессформу материала и равномерность его нагрева. При предварительном нагреве материала до высокой температуры или его пластикации в обогреваемом червячном цилиндре из размягченного материала удаляются летучие вещества, что сокращает выдержку под давлением и облегчает формование качественных изделий.

Компрессионное прессование может осуществляться в различных вариантах. Для каждого из них на рис. IV.2 показано распределение давления материала в прессформе.

После загрузки прессформы материалом (участок *I*) начинается смыкание прессформы (участок *II*). Затем после соприкосновения пуансона с материалом до окончания замыкания прессформы (участок *III*) происходит сжатие и дополнительный нагрев материала. Для растекания предварительно ненагретого материала (кривая *1*) по полости прессформы необходимы длительное время и повышенное давление прессования (точка *A*), после чего давление материала снижается. Начало отверждения материала соответствует точке *B*. В точке *C* прессформа полностью замыкается. Отверждение материала (участок *IV*) заканчивается в точке *D*, затем прессформа размыкается и давление в ней резко снижается. На участке *V* прессформа раскрыта для выталкивания, съема отпрессованных изделий и очистки. Продолжительность всего процесса прессования на рис. IV.2 равна участку *VI*.

В случае прессования изделий из материала, предварительно нагретого в поле токов высокой частоты (кривая *2*), при смыкании

прессформы происходит сжатие и незначительный нагрев материала, который переходит в вязкотекучее состояние значительно раньше и при меньшем давлении, чем ненагретый предварительно материал. При этом давление прессования увеличивается на участке *III-2*

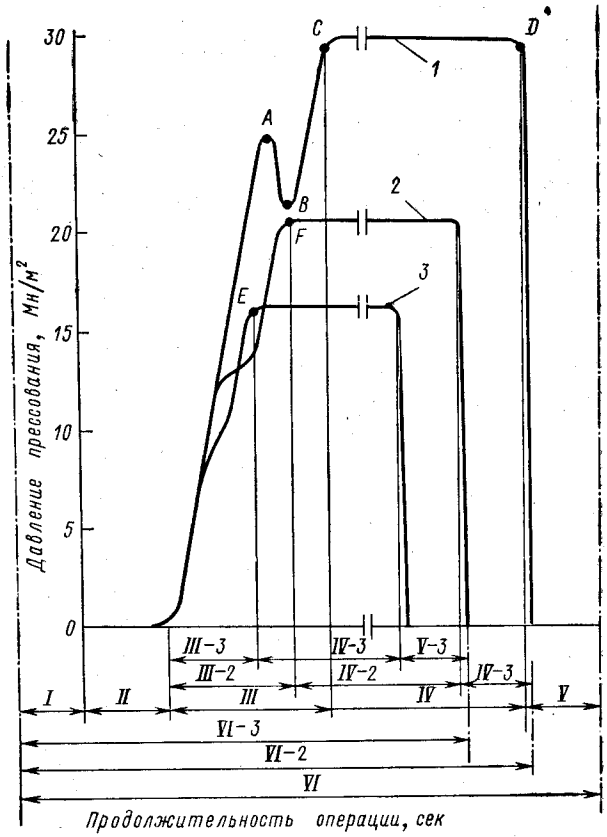


Рис. IV.2. Распределение давления материала в прессформе при компрессионном прессовании:

1 — ненагретый материал; *2* — материал, нагретый токами высокой частоты; *3* — пластицированный материал.

до момента полного замыкания прессформы (точка *F*). Продолжительность отверждения (участок *IV-2*) и всего цикла прессования (участок *VI-2*) сокращается.

Процесс прессования изделий из материала, предварительно подготовленного в червячном пластикаторе (кривая *3*), еще более эффективен, поскольку в прессформу загружается пластицированный материал, уже находящийся в вязкотекучем состоянии. Для формования такого материала требуется значительно меньшее давление (точка *E*) и время (участок *VI-3*).

Широкое распространение компрессионного способа прессования объясняется его простотой. Для этого вида переработки пластических масс применяются более простые и дешевые прессформы и оборудование, чем для трансферного прессования. При компрессионном способе облегчается двухэтажное прессование изделий с неглубокой полостью, а также изделий простой конфигурации и без арматуры.

Недостатки компрессионного прессования — появление облоя (грата) по линии разъема прессформы, необходимость повышенных усилий прессования, трудность или невозможность формования некоторых изделий с точными размерами, сложной конфигурации, а также изделий с арматурой.

Наименее изученной в процессе компрессионного прессования, но существенно влияющей на его проведение является операция подпрессовки, при которой во время последовательных разъемов и смыканий прессформы удаляются летучие вещества, образующиеся в прессформе.

При первом смыкании прессформы (под высоким давлением) остается небольшой зазор. В это время материал равномерно распределяется по полости прессформы. Все последующие подпрессовки (под низким давлением) обычно не приводят к полному смыканию прессформы, ее посадке на опорные планки. Сохраняющийся небольшой зазор создает благоприятные условия для удаления летучих веществ из материала.

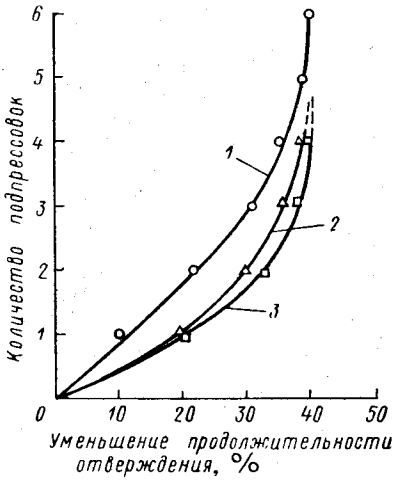


Рис. IV.3. Зависимость продолжительности отверждения прессуемых изделий от количества подпрессовок:
1 — «до смыкания»; *2* — «после смыкания» без паузы; *3* — «после смыкания» с паузой.

Существуют различные режимы подпрессовок. Например, при прессовании изделий из фенопластов с высокой текучестью применяются в основном подпрессовки «до смыкания» или без паузы, которые начинаются соответственно за несколько миллиметров до смыкания или сразу после полного смыкания прессформы.

Кривые на рис. IV. 3 показывают уменьшение времени отверждения массы в зависимости от количества подпрессовок при общей их продолжительности 1—7 *сек*. Подпрессовки «после смыкания» более эффективны, чем подпрессовки «до смыкания», особенно при небольшом их количестве (1—2 шт.). Однако при увеличении количества подпрессовок «до смыкания» их эффективность постепенно достигает максимальной эффективности подпрессовок «после смыкания». Необходимо отметить, что в некоторых случаях не удается

осуществить более 3—4 подпрессовок «после смыкания» из-за нарушения монолитности прессуемого изделия.

Режим подпрессовки с выдержкой прессформы в раскрытом состоянии оказался на 50—75% менее эффективным, чем подпрессовки без выдержки, при одинаковой общей продолжительности подпрессовок (4—6 *сек*). Это объясняется тем, что летучие вещества в первом случае удаляются «пассивно», в основном только с поверхности материала. Во втором случае материал, находящийся в прессформе в вязкотекучем состоянии, интенсивно перемешивается и разделяется по различным поверхностям при каждом разъеме прессформы.

При прессовании отдельных изделий сложной конфигурации целесообразно использовать универсальные подпрессовки, которые сочетают обе разновидности подпрессовок «до смыкания» и «после смыкания» с возможностью автономного регулирования их высоты, количества и паузы между ними.

Анализ табл. IV.1 подтверждает высокую эффективность подпрессовок. Из таблицы также следует, что более 4—5 подпрессовок (особенно в режиме «после смыкания») делать нецелесообразно, так как при этом прессматериал теряет текучесть и частично отверждается.

Таблица IV.1

Зависимость продолжительности отверждения от вида, количества и состава подпрессовок

Вид подпрессовок	Уменьшение продолжительности отверждения (в %) при количестве подпрессовок									
	1	2	3	4	5	6	1+1*	2+1*	3+1*	4+1*
Однотипные подпрессовки:										
«до смыкания»	10	20—25	32	35	37—38	40	—	—	—	—
«после смыкания» без паузы	18	30	35	30	—	—	—	—	—	—
«после смыкания» с паузой	20	35	37—38	40	—	—	—	—	—	—
Универсальные подпрессовки	—	—	—	—	—	—	35	40—41	42—43	44

* Первая цифра относится к подпрессовкам «до смыкания», вторая — к подпрессовкам «после смыкания».

Трансферное прессование, несмотря на некоторое усложнение процесса формования, оборудования и технологической оснастки, эффективнее компрессионного прессования, особенно при формовании изделий сложной конфигурации, склонных к деформации, изделий повышенной точности и прочности, а также изделий с глубокими отверстиями и арматурой. Поскольку при трансферном прессовании пластицированный материал впрыскивается в замкнутую прессформу, по линии разъема формы отсутствует облой (грат).

При переработке реактопластов методом трансферного прессования одновременно проходят два процесса: 1) пластикация материала, т. е. переход из твердого в вязкотекучее состояние в результате нагрева, и 2) отверждение материала под действием последующего нагрева. Вначале преобладает первый процесс, и материал размягчается. В этот период уменьшается величина давления, необходимого для заполнения прессформы из трансферного цилиндра. При последующем повышении температуры скорость отверждения материала возрастает и достигает скорости его размягчения. В этот момент необходимое давление впрыска минимально. Дальнейшее увеличение температуры вызывает преобладание процесса отверждения, и для заполнения прессформы требуется повышенное давление.

Для уменьшения времени отверждения при трансферном прессовании необходимо повышать температуру предварительного нагрева. Минимальное время отверждения (17 *сек*) достигнуто при температуре нагрева ~152° С для фенопластов. Для применения максимально высоких температур нагрева необходимо использовать повышенное давление, чтобы обеспечить быстрое и полное заполнение прессформы. При повышении давления впрыска на 7,0 $Мн/м^2$ температура фенопласта при прохождении через литниковые каналы прессформы повышается примерно на 3,3 *град*, что можно использовать для улучшения условий формования.

Зависимость давления впрыска от температуры нагрева материала при изменении скорости нагрева и времени переноса нагретых таблеток из генератора в прессформу (до момента ее полного замыкания) дана на рис. IV.4. Повышение продолжительности нагрева с 15 до 60 *сек* (кривые *1* и *2*) вызывает незначительное понижение максимально возможной температуры нагрева материала (точки *A* и *B*), обеспечивающей качественное заполнение прессформы.

Возрастание продолжительности впрыска от 1,5 до 6 *сек* вызывает значительное понижение максимальной температуры нагрева (кривые *2* и *3*, точки *B* и *C*). Увеличение времени переноса нагретых таблеток с 5 до 15 *сек* обусловливает дальнейшее понижение максимальной температуры (кривые *3* и *4*, точки *C* и *D*).

Таким образом, для достижения максимальной скорости отверждения необходимо применять высокие значения давления впрыска и температуры нагрева материала. Точка *A′* с указанными на рис. IV.5 технологическими параметрами соответствует «идеальному» рабочему процессу.

Однако в связи с тем, что всегда имеются колебания температуры нагретых таблеток, материал необходимо нагревать до менее высоких средних температур (точка *B′*). При этом для формования качественных изделий могут быть использованы и те порции материала, которые несколько перегреты. Учитывая возможные колебания температуры у нижнего предела ее диапазона, необходимо повысить продолжительность отверждения до ~27 *сек*. Это обеспечит прессование изделий из таблеток, нагретых до температуры ниже средней. Указанная продолжительность отверждения соответствует точке *C′*,

т. е. температуре нагрева 141° С, которая на 11 *град* ниже «идеальной» температуры нагрева материала (152° С). Таким образом, колебания температуры нагрева таблетированного материала в интервале ±5,5 *град* увеличивает время отверждения на 10 *сек* или 59% по

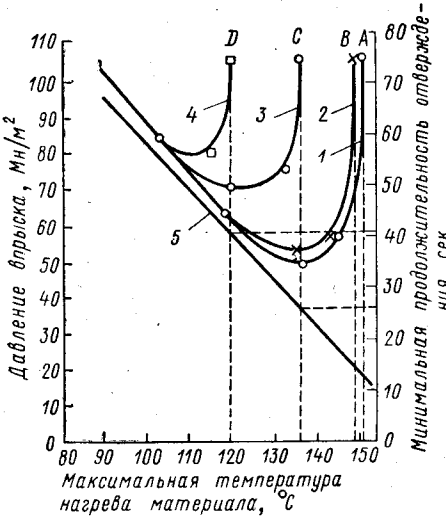


Рис. IV.4. Зависимость давления впрыска и минимальной продолжительности отверждения от температуры нагрева материала при трансферном прессовании:

1, *2* — при увеличении продолжительности предварительного нагрева с 15 до 60 *сек*; *3*, *4* — при увеличении времени переноса нагретых таблеток в прессформу с 5 до 15 *сек*; *5* — вспомогательная линия для определения минимальной продолжительности отверждения.

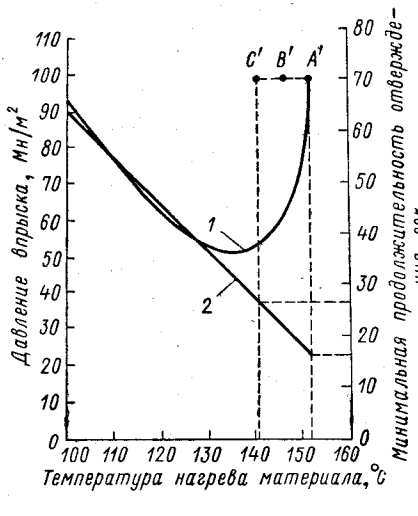


Рис. IV.5. Определение оптимальной продолжительности отверждения при заданных температуре нагрева и давлении впрыска:

1 — зависимость минимального давления впрыска от температуры материала; *2* — зависимость минимальной выдержки от температуры материала при оптимальном давлении впрыска.

Точка	Продолжительность, *сек*		
	нагрева	впрыска	переноса таблеток
A	15	1,5	5,0
B	60	1,5	5,0
C	60	6,0	5,0
D	60	6,0	15,0

сравнению с длительностью при идеальных условиях формования (17 *сек*).

Ускорение процесса отверждения и значительное улучшение физико-механических свойств отформованных изделий на основе мочевино-формальдегидных смол достигается также путем введения оптимальных количеств структурообразователей (TiO_2, Al_2O_3).

Цикл прессования в общем виде состоит из отдельных этапов. Циклограмма работы пресса с автоматизированным управлением представлена на рис. IV.6. В этом случае автоматически выполняются операции загрузки прессформы материалом, предварительного смыкания пресса под низким давлением (участок *1*), переклю-

чение смыкания прессформы с низкого на высокое давление (*2*), замедления движения подвижной плиты пресса (*3*), окончательного замыкания прессформы под высоким давлением (*4*), подпрессовок до смыкания (*5*), паузы между подпрессовками (*6*), подпрессовок после смыкания (*7*), выдержки прессформы под высоким давлением (*8*), разъема прессформы (*9*), а также выталкивания изделий, съема отпрессованных изделий, опускания выталкивателя и очистки прессформы (участки *10—13*).

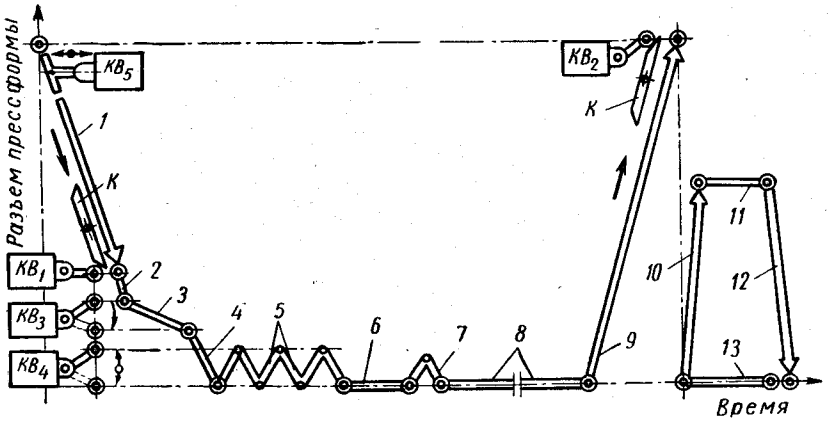


Рис. IV.6. Циклограмма работы гидравлического пресса:

1 — предварительное смыкание пресса под низким давлением; *2* — переключение смыкания пресса с низкого на высокое давление; *3* — замедленное смыкание прессформы; *4* — окончательное замыкание прессформы под высоким давлением; *5* — подпрессовки до смыкания; *6* — пауза между подпрессовками; *7* — подпрессовки после смыкания; *8* — выдержка под давлением; *9* — разъем прессформы; *10* — подъем выталкивателя; *11* — выдержка выталкивателя в верхнем положении; *12* — опускание выталкивателя; *13* — очистка прессформы сжатым воздухом; *К* — кулачок; $КВ_1$ — $КВ_5$ — конечные и путевые выключатели.

При опускании подвижной плиты пресса установленный на ней кулачок *К* последовательно переключает конечные и путевые выключатели $КВ_1$, $КВ_3$, $КВ_4$. При подъеме подвижной плиты в исходное верхнее положение кулачок переключает конечный выключатель $КВ_2$, что обеспечивает остановку плиты.

Конечный выключатель $КВ_5$ предназначен для предотвращения опускания подвижной плиты при поднятом выталкивателе.

Общая продолжительность цикла прессования t (в *мин*) обычно равна сумме длительностей выполнения отдельных операций технологического процесса:

$$t = \tau_о + \tau_{под} + \tau_{выд} + \tau_п + \tau_{выт} + \tau_{с.\,и} + \tau_{оп} + \tau_{об} + \tau_з \qquad (IV.1)$$

где τ_0, $\tau_п$ — продолжительность опускания и подъема подвижной плиты соответственно; $\tau_{под}$ — продолжительность подпрессовок (включая паузу между ними); $\tau_{выд}$ — продолжительность выдержки под давлением для отверждения изделий; $\tau_{выт}$, $\tau_{оп}$ — продолжительность подъема и опускания выталкивателя соответственно; $\tau_{с.\,и}$ — продолжительность съема отпрессованных и вытолкнутых

изделий с прессформы; $\tau_{об}$, $\tau_з$ — продолжительность обслуживания (очистки и т. п.) и загрузки прессформы соответственно.

Формула (IV.1) относится к работе на полуавтоматических прессах.

На автоматических прессах, где все операции выполняются без вмешательства прессовщика, выполнение некоторых операций может быть совмещено по времени. К таким операциям относятся, например, выталкивание и съем изделий, очистка прессформы и ее загрузка материалом, которые могут быть совмещены частично или полностью с операцией подъема подвижной плиты в исходное верхнее положение и между собой. Опускание выталкивателя может быть совмещено с частичным опусканием подвижной плиты перед замыканием прессформы. Поэтому для автоматического прессования можно записать:

$$t = \tau_о + \tau_{под} + \tau_{выд} + \tau_п + (1-x)(\tau_{выт} + \tau_{с.\,и} + \tau_{об} + \tau_з) \qquad (IV.2)$$

где $x = 0 \div 1$ — коэффициент совмещения.

Поскольку для каждой операции коэффициент совмещения может быть различным, уравнение (IV.2) удобнее представить в следующем виде:

$$t = \sum \tau + \sum_{i=0}^{x} (1-x_i)\,\tau_x \qquad (IV.3)$$

где $\Sigma\tau$ — суммарная продолжительность операций без совмещения, *мин*; τ_x — продолжительность совмещаемой операции, *мин*.

§ 2. КЛАССИФИКАЦИЯ И ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПРЕССОВ

Прессы, применяемые для изготовления изделий из пластмасс, разделяются следующим образом:

1) по технологическим признакам — прессы для компрессионного и трансферного прессования;

2) по степени автоматизации — прессы с ручным, полуавтоматическим и автоматическим управлением;

3) по типу привода — прессы с групповым и индивидуальным приводом;

4) по конструкции (колонные, рамные) и расположению (вертикальные, горизонтальные) станины;

5) по расположению главных (рабочих) цилиндров — прессы с верхним или нижним цилиндром, вертикальные и угловые, с двумя рабочими цилиндрами;

6) по количеству плит — одноэтажные, двухэтажные и многоэтажные прессы;

7) по количеству позиций формования и кинематической связи между формующим инструментом и оборудованием — однопозиционные, многопозиционные, роторные прессы.

Основной параметр пресса — величина усилия прессования. Важными показателями являются усилие выталкивателя (или

трансферного цилиндра), размеры плит пресса, скорость движения подвижной плиты и выталкивателя, максимальное расстояние между плитами, степень автоматизации, возможность регулирования усилия пресса, наличие автоматизированных подпрессовок, аппаратуры для контроля и автоматического регулирования температуры прессформы.

Для компрессионного и трансферного прессования изделий из реактопластов применяются преимущественно полуавтоматические гидравлические вертикальные прессы четырехколонной или рамной конструкции с групповым или индивидуальным приводом.

Прессы с групповым приводом дешевле прессов с индивидуальным приводом, проще в эксплуатации и ремонте. К недостаткам прессов с групповым приводом относятся: пониженное эффективное усилие пресса (из-за больших потерь напора жидкости в разветвленных гидрокоммуникациях цеха и увеличенных потерь на трение в манжетах и других уплотняющих устройствах прессов); невозможность (или сложность и неэффективность) автономного регулирования усилия прессования на прессе.

Прессы с индивидуальным приводом являются автономными агрегатами, для пуска которых в работу необходимо только подключение электропитания, охлаждающей воды для гидропривода и сжатого воздуха для очистки прессформы. Эти прессы отличаются минимальными потерями усилия прессования и возможностью его регулирования в широких пределах; они экономичны по расходу электроэнергии, поскольку давление масла в гидросистеме пресса не превышает сопротивления движению плунжеров и других подвижных деталей. Работоспособность таких прессов зависит главным образом от эксплуатационной надежности масляных насосов и распределительной гидравлической аппаратуры. Ремонт прессов трудоемок и сложен, поэтому обычно применяют узловой метод ремонта, при котором меняют не вышедшие из строя детали, а заранее собранные и отрегулированные узлы (например, масляный насос, дистрибутор и т. д.).

Рассмотрение и анализ конструкций гидравлических прессов начинается с наиболее распространенных прессов с групповым гидравлическим приводом.

§ 3. ПРЕССЫ С ГРУППОВЫМ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ

Конструкция и расчет технологических параметров прессов

Прессы рамной и колонной конструкции работают от группового или индивидуального приводов. Рамные прессы имеют более жесткую станину и технологичнее в изготовлении. Прессы колонной конструкции удобнее в эксплуатации, здесь легче осуществляется доступ к прессформе. Кроме того, они дают возможность увеличить разъем пресса за счет удлинения колонн и возвратных

(ретурных) плунжеров. Однако станина колонных прессов имеет меньшую жесткость, а при эксплуатации прессов возможно частичное отвинчивание гаек колонн. Колонны являются не только несущими элементами станины, но и служат в качестве направляющих для подвижной плиты пресса. Поэтому при капитальном ремонте прессов колонны обычно протачивают или заменяют.

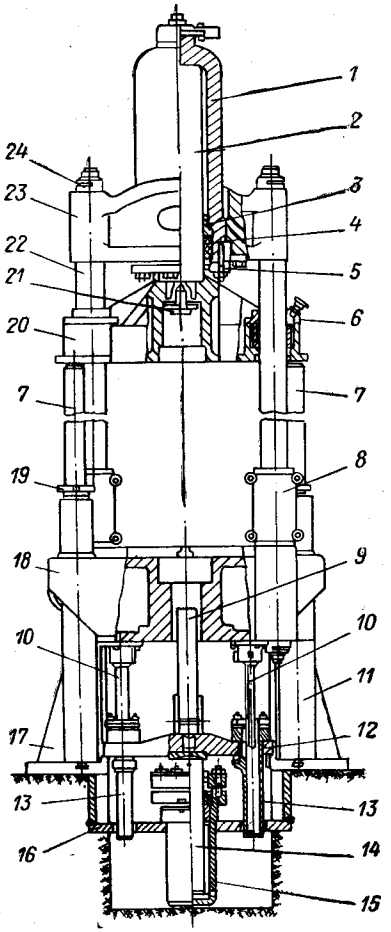


Рис. IV.7. Четырехколонный гидравлический пресс для группового привода:

1 — главный цилиндр; *2* — главный плунжер; *3* — направляющая втулка; *4* — манжета; *5* — фланец; *6* — подшипник скольжения; *7* — возвратные плунжеры; *8* — ограничитель; *9* — шток выталкивателя; *10* — возвратные плунжеры выталкивателя; *11* — возвратный цилиндр; *12* — траверса; *13* — возвратные цилиндры выталкивателя; *14* — выталкивающий плунжер; *15* — выталкивающий цилиндр; *16* — перекладина; *17* — опорная стойка; *18* — нижняя плита; *19* — грундбукса; *20* — подвижная плита; *21* — центровой болт; *22* — колонна; *23* — верхняя плита; *24* — гайка.

Гидравлические прессы, предназначенные для группового привода от общей насосно-аккумуляторной станции, в большинстве случаев оборудованы возвратными (ретурными) цилиндрами, при помощи которых осуществляется подъем подвижной плиты и главного плунжера. В главном цилиндре пресса смонтирован плунжер одностороннего действия. Поскольку при групповом приводе прессов рабочей жидкостью обычно является вода или эмульсия, в качестве уплотнений применяют кожаные или поливинилхлоридные манжеты, набивку и манжеты из прорезиненного бельтингового жгута, а также пеньковую сальниковую набивку и резиновые манжеты.

Выталкивающий цилиндр оснащен дифференциальным плунжером двухстороннего действия или плунжером одностороннего действия. В последнем случае выталкивающая система пресса дополнительно оборудована двумя возвратными цилиндрами. Прессы с выталкивателем одностороннего действия обычно имеют большое нижнее усилие и поэтому могут применяться для трансферного прессования.

Общий вид четырехколонного пресса усилием 1000 *кн* представлен на рис. IV.7. Пресс состоит из двух неподвижных плит *18* и *23*, стянутых четырьмя колоннами *22*. В верхней плите *23* установлен главный цилиндр *1*, а в боковых диагональных

приливах нижней плиты *18* размещены возвратные цилиндры *11*. Выталкивающий цилиндр *15* расположен в приямке пресса и укреплен на перекладине *16*, а возвратные цилиндры выталкивателя закреплены на траверсе *12*. Шток *9* выталкивателя соединен с траверсой, установленной на выталкивающем плунжере *14*, а плунжеры *10* возвратных цилиндров выталкивателя закреплены на нижней торцевой части плиты.

Плунжеры *7* возвратных цилиндров соединены с диагональными приливами подвижной плиты *20*, которая центровым болтом *21* скреплена с главным плунжером *2*. В каждом гидравлическом цилиндре кроме плунжера расположены направляющая втулка *3*, манжеты *4* и сальник, зажимаемые фланцем *5* или резьбовой грундбуксой *19*. В гнездах подвижной плиты установлены подшипники скольжения *6* с масленкой. Для предотвращения произвольного отвинчивания гаек *24* на колоннах используют мелкую метрическую, прямоугольную или трапецеидальную резьбу и применяют разрезные гайки со стопорными болтами. На колоннах установлены разъемные ограничители *8* хода подвижной плиты вниз. Пресс опирается нижней плитой на стойки *17*, закрепленные анкерными болтами на фундаменте.

Эксплуатация прессов связана с проведением ряда технологических и конструктивных расчетов.

Номинальное усилие $P_н$ (в *н*) пресса определяют по зависимости:

$$P_н = p_н \frac{\pi D^2}{4} \qquad \text{(IV.4)}$$

где $p_н$ — номинальное (расчетное) давление рабочей жидкости, *н/м*^{2}; D — диаметр главного плунжера пресса, *м*.

Эффективное усилие P (в *н*) пресса с верхним расположением главного цилиндра находят по формуле:

$$P = p \frac{\pi D^2}{4} + G - \sum T - R \qquad \text{(IV.5)}$$

где p — рабочее давление жидкости, *н/м*^{2}; G — вес подвижных деталей пресса (главного плунжера, подвижной плиты и пуансона прессформы), *н*; ΣT — потери на трение в уплотнениях главного и возвратных (ретурных) цилиндров, *н*; R — потери усилия пресса вследствие противодавления возвратных (ретурных) цилиндров, *н*.

Усилие подъема $P_п$ (в *н*) подвижной плиты пресса рассчитывают следующим образом:

$$P_п = p \frac{\pi d^2 n_ц}{4} - \sum T - R_1 - G \qquad \text{(IV.6)}$$

где $n_ц$ — количество возвратных (ретурных) цилиндров; d — диаметр возвратного плунжера, *м*; R_1 — потери усилия возвратных (ретурных) цилиндров вследствие противодавления главного цилиндра, *н*.

Если пресс оснащен главным цилиндром с дифференциальным плунжером и не имеет ретурных цилиндров, усилие подъема $P_п$ (в $н$) определяют по формуле:

$$P_п = p\frac{\pi (D^2 - D_0^2)}{4} - \sum T_1 - R_1 - G \qquad (IV.7)$$

где D_0 — диаметр штока главного плунжера, $м$; ΣT_1 — суммарные потери на трение в уплотнениях главного цилиндра, $н$.

Усилие подъема выталкивателя $P_{п.\ в}$ (в $н$) при наличии дифференциального плунжера равно:

$$P_{п.\ в} = p\frac{\pi D_в^2}{4} - \sum T_в - R_{в.\ ш} \qquad (IV.8)$$

где $D_в$ — диаметр рабочей части выталкивающего плунжера, $м$; $\Sigma T_в$ — суммарные потери на трение в уплотнениях выталкивающего цилиндра, $н$; $R_{в.\ ш}$ — потери усилия выталкивателя вследствие противодавления в штоковой полости выталкивателя, $н$.

Усилие опускания выталкивателя $P_{о.\ в}$ (в $н$) находят по зависимости:

$$P_{о.\ в} = p\frac{\pi (D_в^2 - d_0^2)}{4} - \sum T_в - R_{в.\ р} \qquad (IV.9)$$

где d_0 — диаметр штоковой части выталкивателя, $м$; $R_{в.\ р}$ — потери усилия опускания выталкивателя вследствие противодавления в рабочей полости выталкивателя, $н$.

Если применяются уплотнения из елочных кожаных манжет, то потери на трение T (в $н$) составляют:

$$T = \pi Dhpf \qquad (IV.10)$$

где h — высота соприкосновения манжет с плунжером, $м$; f — коэффициент трения материала манжет и плунжера (0,006—0,008 для кожи и 0,01—0,02 для резины).

Если уплотнения состоят из U-образных манжет из пластифицированного поливинилхлорида, то

$$T = \pi Dhf\,(q + p)^{0,6} \qquad (IV.11)$$

где f — коэффициент трения, равный 0,35—0,45; q — контактное давление от предварительного натяга манжет (принимается равным 1—2 $Мн/м^2$).

Усилие противодавления R (в $н$) в возвратных цилиндрах (или штоковой полости главного цилиндра) находят по формуле:

$$R = p\frac{\pi d^2 n_{пл}}{4} + T \qquad (IV.12)$$

где d — диаметр возвратного плунжера, $м$; $n_{пл}$ — количество ретурных плунжеров; T — потери на трение в уплотнениях ретурных цилиндров, $н$.

Потери на трение T (в $кн$) в набивочных уплотнениях будут равны:

$$T = \pi dkh_y \qquad (IV.13)$$

где d — диаметр плунжера, *м*; $h_у$ — высота уплотнения, *м*; k — усилие при трении на единицу трущейся поверхности набивки. Величина k зависит от затяжки сальника и при давлении рабочей жидкости до 6,5 *Мн/м²* составляет 40—130 *кн/м²*.

При ускоренных циклах прессования скорость опускания главного плунжера пресса должна составлять 180—230 *мм/сек*. Однако в большинстве случаев прессы с групповым гидравлическим приводом имеют скорость главного плунжера 40—70 *мм/сек*.

Прессы для переработки пластмасс имеют строго фиксированный центр приложения усилия главного плунжера, совпадающего с геометрической осью пресса, поэтому колонны пресса подвержены только растягивающим усилиям.

Расчетное усилие $P_к$ (в *н*) для колонн определяют по формуле:

$$P_к = K_к \frac{P_н}{n_к} \qquad \text{(IV.14)}$$

где $P_н$ — номинальное усилие пресса, *н*; $K_к = 1{,}15 \div 1{,}25$ — коэффициент, учитывающий предварительную затяжку гаек колонн (меньшие значения $K_к$ следует брать для тихоходных прессов большого усилия, а бо́льшие значения $K_к$ — для быстроходных прессов небольшого усилия); $n_к$ — количество колонн.

Расчетным сечением колонны является сечение по резьбе. Материал колонны — сталь марки Ст. 5, для которой рекомендуется допускаемое напряжение принимать равным 100 *Мн/м²*.

Внутренний диаметр резьбы колонны $d_{рез}$ (в *м*) равен:

$$d_{рез} = \sqrt{\frac{4P_к}{\pi [\sigma_р]}} \qquad \text{(IV.15)}$$

В случае гидравлических прессов усилием 320—2000 *кн* на колоннах рекомендуется нарезать вторую метрическую резьбу и устанавливать гайки, обеспечивающие равномерное распределение нагрузки между отдельными витками резьбы.

Резьба колонн и гаек проверяется на срез и смятие по формулам:

$$\tau_с = \frac{P_к}{\pi d_{рез} H} \qquad \text{(IV.16)}$$

$$\sigma_{см} = \frac{P_к}{\frac{\pi}{4}(d_0^2 - d_{рез}^2)z} \qquad \text{(IV.17)}$$

где H — высота гайки, *м*; d_0 — наружный диаметр резьбы, *м*; z — число витков гайки.

На изгиб резьбу колонн и гаек проверять нецелесообразно. Приведенные формулы справедливы при одинаковом материале колонн и гаек.

Толстостенные гидравлические цилиндры, эксплуатируемые при температурах $<400°$ С, обычно рассчитывают по IV теории прочности. Эквивалентное напряжение у внутренней поверхности цилиндра определяется следующим образом:

$$\sigma'_э = p \frac{1{,}73R_ц^2}{R_ц^2 - r_ц^2} \qquad \text{(IV.18)}$$

а у наружной поверхности

$$\sigma''_э = p\frac{1{,}73r_ц^2}{R_ц^2 - r_ц^2} \qquad (IV.19)$$

где p — гидростатическое давление, *н/м²*; $R_ц$ — наружный диаметр цилиндра, *м*; $r_ц$ — внутренний диаметр цилиндра, *м*.

При проектировании новых цилиндров для определения их размеров пользуются формулой Баха:

$$R_ц = r_ц\sqrt{\frac{[\sigma_р]_{II} + 0{,}4p}{[\sigma_р]_{II} - 1{,}3p}} \qquad (IV.20)$$

где $[\sigma_р]_{II}$ — наибольшее допускаемое напряжение растяжения в стенке цилиндра, *н/м²*.

Наибольшее напряжение у внутренней стенки цилиндра по формуле Баха равно:

$$\sigma'_э = p\frac{0{,}4r_ц^2 + 1{,}3R_ц^2}{R_ц^2 - r_ц^2} \qquad (IV.21)$$

Наиболее нагруженными частями пресса являются станина (рама), подвижная плита (ползун), нижняя плита (стол), главный и выталкивающий цилиндры и их детали.

Привод

Для группового гидравлического привода прессов обычно используются насосно-аккумуляторные станции.

В насосно-аккумуляторных станциях применяют грузовые, пружинные и газонаполненные (пневматические поршневые и пневматические беспоршневые) аккумуляторы. Грузовые аккумуляторы обеспечивают минимальное колебание давления рабочей жидкости ($\pm 1{,}5 \div \div 3\%$ от номинального), однако имеют большие габариты при малом объеме активной жидкости, требуют массивных фундаментов и специальных закрытых помещений. При работе грузовых аккумуляторов возможны гидравлические удары и сотрясения фундамента и здания. Пружинные аккумуляторы применяют только при ограниченной потребности в активной жидкости. И работа сопровождается значительными колебаниями давления жидкости.

Наиболее эффективными являются станции с пневматическими беспоршневыми аккумуляторами (рис. IV.8). В закрытом помещении обычно устанавливают гидравлические насосы *1*, пневмогидравлические аккумуляторы низкого *3* и высокого *4* давления, компрессоры *2* и *6*, фильтр *10* для очистки рабочей жидкости и обратный клапан *9*. Пневматические ресиверы *5* можно располагать вне помещения. Гидравлические системы прессов *7* отделены от магистралей высокого *8* и низкого *11* давлений запорными кранами (на рисунке не показаны). Пневматические аккумуляторы имеют большой объем

активной жидкости (до 50% полного объема аккумулятора) и обеспечивают небольшие колебания давления жидкости (до 10%) при наличии пневматических ресиверов большой емкости.

Методика расчета количества жидкости высокого давления, необходимого для группового привода гидравлических прессов цеха, разработана В. К. Завгородним. Для расчета следует предварительно классифицировать прессы по группам. Например, прессы с групповым приводом применительно к условиям специализированного

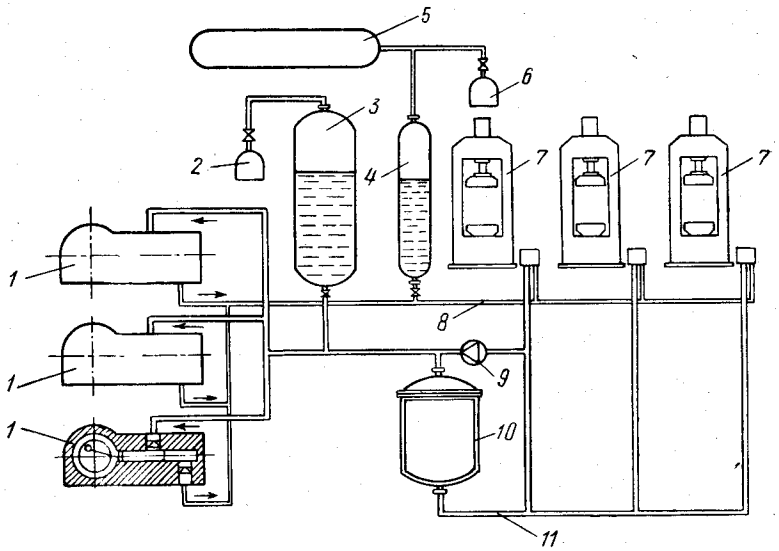


Рис. IV.8. Схема подключения гидравлического пресса к насосно-аккумуляторной станции с пневматическими аккумуляторами:

1 — насосы; *2*, *6* — компрессоры; *3* — аккумулятор низкого давления; *4* — аккумулятор высокого давления; *5* — пневматические ресиверы; *7* — прессы; *8* — магистраль высокого давления; *9* — обратный клапан; *10* — фильтр; *11* — магистраль низкого давления.

производства прессованных изделий могут быть распределены на три группы: 1) крупнотоннажные прессы, работающие с использованием жидкости низкого давления; 2) малотоннажные прессы; 3) прессы опытного цеха и лаборатории. Для прессов первой группы используется жидкость высокого и низкого давлений (20 и 0,8 $Мн/м^2$), а для прессов второй и третьей групп — только жидкость высокого давления (20 $Мн/м^2$). Для каждой группы прессов рассчитываются следующие шесть параметров.

1. Условные усредненные номинальные усилия, которые, например, для указанных трех групп соответственно составляют 900; 250 и 480 *кн*.

2. Диаметры и приведенные усредненные площади поперечного сечения главного, выталкивающего и возвратных (ретурных) плунжеров.

3. Величины разъема пресса, хода главного плунжера под низким и высоким давлением, хода выталкивателя, разъема прессформы при подпрессовках, которые, например, для данных п. 1 составили соответственно: для первой группы — 215; 175; 40; 100 и 20 *мм*; для второй группы — 200; 0; 200; 100 и 20 *мм*; для третьей группы — 225; 0; 225; 100 и 20 *мм*.

4. Средняя длительность цикла прессования (в данном примере 2; 2 и 4 *мин*).

5. Среднее количество подпрессовок и коэффициент прессов, работающих с подпрессовками (2 и 0,7).

6. Коэффициент использования оборудования и коэффициент прессов, работающих с выталкивателем (0,85 и 0,7).

Общее количество жидкости высокого давления Q (в *л/мин*), необходимое для привода гидравлических прессов цеха, определяют из зависимости:

$$Q=\sum_{i=1}^{n_1} Q_{i1}+\sum_{i=1}^{n_2} Q_{i2}+\sum_{i=1}^{n_3} Q_{i3} \qquad \text{(IV.22)}$$

Здесь

$$\left.\begin{aligned} Q_{i1}&=\frac{\pi D^2 H_{\text{пл}} N K_{\text{и. о}} k_{\text{пл}}}{4000t}\\ Q_{i2}&=\frac{\pi d^2_{\text{выт}} h_{\text{выт}} N K_{\text{и. о}} m_{\text{выт}}}{4000t}\\ Q_{i3}&=\frac{\pi D^2 h_{\text{под}} n_{\text{под}} N K_{\text{и. о}} m_{\text{под}}}{4000t} \end{aligned}\right\} \qquad \text{(IV.23)}$$

где Q_{i1} — количество жидкости, необходимое для смыкания и размыкания группы прессов с определенным усредненным усилием, *л/мин*; Q_{i2} — количество жидкости, необходимое для подъема выталкивателя у группы прессов усредненного усилия, *л/мин*; Q_{i3} — количество жидкости, необходимое для разъема и смыкания прессформы при подпрессовках у группы прессов усредненного усилия, *л/мин*; D — диаметр главного (или возвратного, ретурного) плунжера, *см*; $H_{\text{пл}}$ — величина хода плунжера под действием жидкости высокого давления, *см*; N — количество прессов усредненного усилия; $K_{\text{и. о}}$ — коэффициент использования оборудования; $k_{\text{пл}}$ — количество плунжеров на одном прессе; t — средняя длительность одного цикла прессования, *мин*; $d_{\text{выт}}$ — диаметр выталкивающего плунжера со стороны рабочей полости цилиндра, *см*; $h_{\text{выт}}$ — средняя величина хода выталкивателя, *см*; $m_{\text{выт}}$ — коэффициент прессов, работающих с выталкивателем; $h_{\text{под}}$ — средняя высота подпрессовок, *см*; $n_{\text{под}}$ — среднее количество подпрессовок; $m_{\text{под}}$ — коэффициент прессов, работающих с подпрессовками; n_1, n_2, n_3 — количество прессов в каждой группе.

Рабочую емкость аккумулятора V (в *л*) рассчитывают по формуле:

$$V=\lambda\left(\frac{g_1 n_1}{m_1}+\frac{g_2 n_2}{m_2}+\frac{g_3 n_3}{m_3}+\ldots+\frac{g_i n_i}{m_i}\right)-\frac{Q_{\text{нас}}\tau_{\text{макс}}}{60} \qquad \text{(IV.24)}$$

где λ — коэффициент одновременности работы прессов; g_1, g_2, g_3, ..., g_i — расход жидкости главным цилиндром пресса за один цикл прессования, *л*; n_1, n_2, n_3, ..., n_i — количество прессов в группе; m_1, m_2, m_3, ..., m_i — количество прессов, обслуживаемых одним прессовщиком; $Q_{нас}$ — производительность насосов, *л/мин*; $\tau_{макс}$ — продолжительность операции с максимальным расходом жидкости, *сек*.

При определении емкости аккумулятора с заданным падением давления расширение и сжатие газа принимается изотермическим. Однако в данном случае в расчетах возможна погрешность, поскольку не все выделяющееся при сжатии газа тепло рассеивается, а потери тепла во время расширения газа нельзя полностью компенсировать за счет теплопередачи через стенки аккумулятора.

Поэтому изменение объема $V_г$ и давления $p_г$ газа в аккумуляторе происходит по кривой $p_г V_г^n = \text{const}$, где показатель степени n находится между значениями $n = 1$ (изотермический процесс) и $n = 1{,}4$ (адиабатический процесс). В тех случаях, когда аккумулятор при работе очень быстро заполняется и опорожняется, значение $n = 1{,}3$. При этом объем газа $V_г$ (в *л*) под давлением в аккумуляторе при максимальном уровне жидкости рекомендуется рассчитывать по формуле:

$$V_г = \frac{V_a}{\sqrt[1{,}3]{p_{г.\,1}/p_{г.\,2}} - 1} \qquad \text{(IV.25)}$$

где V_a — активный объем рабочей жидкости, *л*; $p_{г.\,1}$, $p_{г.\,2}$ — абсолютные давления газа соответственно при максимальном и минимальном уровне жидкости в аккумуляторе.

Во избежание произвольного повышения (или понижения) давления аккумуляторы устанавливают в закрытом помещении и защищают от прямых солнечных лучей.

Устройства для управления прессом

На специализированных заводах управление прессами с групповым приводом осуществляется при помощи специальной установки, состоящей из гидравлического электроуправляемого дистрибутора (распределителя) и электрического пульта для автоматизированного управления прессом, а также систем контроля и автоматического регулирования температуры прессформы. Для управления обогревом прессформы используются индивидуальные терморегуляторы или же обе части прессформы подключаются к общей электронной станции автоматического регулирования и сигнализации (типа МАРС-200 или МАРС-300).

Степень автоматизации управления работой пресса (особенно полуавтоматического) определяется количеством автоматизированных операций, входящих в технологический процесс прессования.

Установка для управления прессами рассчитана на наличие насосно-аккумуляторной станции с рабочей жидкостью двух давлений

(0,8 и 20 *Мн/м*^{2}), однако ею можно пользоваться и при питании прессов жидкостью одного давления (20 *Мн/м*^{2}). Такой установкой оснащаются гидравлические прессы усилием до 2000 *кн*, используемые для переработки пластических масс в изделия методом компрессионного прессования. Для управления гидравлическими прессами, усилие которых превышает 2000 *кн*, устанавливают электроуправляемые гидравлические клапаны с увеличенным диаметром проходного сечения (>20 *мм*). При помощи этой установки могут быть автоматизированы все операции прессования за исключением загрузки материала в пресс-форму.

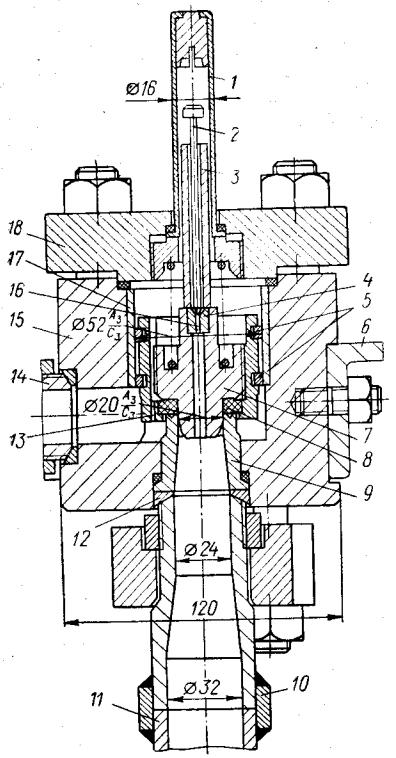


Рис. IV.9. Модернизированный соленоидоуправляемый гидравлический клапан с увеличенными проходными каналами:

1 — трубка; *2* — игольчатый клапан; *3* — сердечник; *4*, *9* — седла; *5* — поршневые кольца; *6* — крепежная рама; *7* — поршневой клапан; *8*, *12* — прокладки; *10* — муфта; *11*, *14* — трубопроводы; *13* — боковой канал; *15* — корпус клапана; *16* — центральный канал; *17* — стакан; *18* — фланцевая крышка

Дистрибутор обеспечивает распределение рабочей жидкости (эмульсии или воды) между гидравлическими цилиндрами пресса. Основными распределительными элементами дистрибутора являются гидравлические соленоидоуправляемые клапаны, которые поочередно соединяют определенные цилиндры пресса с магистралями высокого и низкого давления (или со сливной магистралью).

Модернизированный соленоидоуправляемый клапан (рис. IV.9) состоит из диамагнитной трубки *1*, на которую надевается соленоидная катушка, игольчатого клапана *2*, сердечника *3*, фланцевой или резьбовой крышки *18*. В цилиндрической расточке стального корпуса *15* запрессован стакан *17*, в котором расположен поршневой клапан *7* с уплотнительными кольцами *5*. Хвостовик клапана *7* входит в седло *9*, к которому прижимается запрессованная в поршневом клапане текстолитовая прокладка *8*.

Скошенные концы трубопроводов герметически уплотняются при помощи алюминиевых конических прокладок *12*, которые деформируются при затяжке фланцевых резьбовых соединений. Во избежание попадания частиц окалины и металла в магистраль пресса и произвольного уменьшения проходного сечения трубопровода трубы должны свариваться внахлестку при помощи цилиндрических

муфт *10* большего диаметра. Трубопровод *11* соединяется с определенным цилиндром пресса или магистралью низкого давления (сливной магистралью), а трубопровод *14* — соответственно с магистралью высокого давления или с определенным цилиндром пресса.

После подачи напряжения в соленоидную катушку сердечник *3* поднимается, увлекая вверх игольчатый клапан *2*. При этом центральный канал *16* в седле *4* открывается. Полость над поршневым клапаном постоянно связана через боковой канал *13* и входное отверстие клапана с трубопроводом *14*. Диаметр канала *13* в 1,5 раза меньше диаметра канала *16*. В результате движения жидкости через каналы *13* и *16* создается разность давлений в полости над поршневым клапаном *7* и в полости седла *9*.

За счет разности давлений поршневой клапан *7* поднимается, открывая проходное отверстие в седле *9* и соединяя полости трубопроводов *11* и *14*. В результате определенный цилиндр пресса соединяется с магистралью высокого или низкого давления (в зависимости от потребности в опускании или подъеме плунжера цилиндра).

После выключения тока сердечник и игольчатый клапан опускаются вниз и канал в седле *4* закрывается; давление в полости над поршневым клапаном повысится до номинального и клапан под давлением жидкости закроет отверстие в седле *9*.

Хвостовик поршневого клапана *7* имеет форму ступенчатого усеченного конуса, что обеспечивает постепенное открытие и закрытие проходного отверстия в седле *9* и значительно уменьшает гидравлический удар.

Соленоидоуправляемый клапан называется клапаном высокого или низкого давления в зависимости от того, с магистралью высокого или низкого давления соединяет клапан обслуживаемый им цилиндр пресса. В первом случае диаметр проходного канала в седле *9* составляет 10—12 *мм*, во втором — 20—24 *мм*. Корпус соленоидоуправляемого клапана крепится к монтажной стойке при помощи кронштейна или фигурной планки *6*.

Общая схема гидравлического дистрибутора представлена на рис. IV.10. Он состоит из соленоидоуправляемых клапанов *1*, *3—6*, комбинированного клапана *2*, гидравлического реле давления *8*, крана низкого давления *11*, запорного вентиля высокого давления *9*, крестовины *12* с предохранительным клапаном *13*. На трубки клапанов *1—6* надеты соленоидные катушки C_1—C_6, к которым подведено питание от электрического пульта управления прессом. При повышении давления в выталкивающем цилиндре шток гидравлического реле давления *8* поднимается и переключает конечный выключатель *7*. Комбинированный клапан состоит из соленоидоуправляемого клапана *А* с большим проходным сечением и обратного клапана *Б*, компактно смонтированных в одном корпусе.

Соленоидоуправляемые клапаны *1* и *5* оснащены дроссельными вентилями *10*, при помощи которых регулируется скорость опускания главного плунжера *18* и подвижной плиты *17*, а также скорость подъема выталкивателя пресса. Клапаны *1* и *2* предназначены для

управления рабочим цилиндром *19*, клапаны *3* и *4* — возвратными (ретурными) цилиндрами *16*, а клапаны *5* и *6* — рабочей (нижней) полостью выталкивающего цилиндра *14*. Штоковая полость *15* выталкивающего цилиндра неуправляема и непосредственно соединена с гидравлической магистралью высокого давления (20 *Мн/м*^{2}).

Главный, выталкивающий и возвратные (ретурные) цилиндры пресса соединяются с магистралью низкого давления (0,8 *Мн/м*^{2})

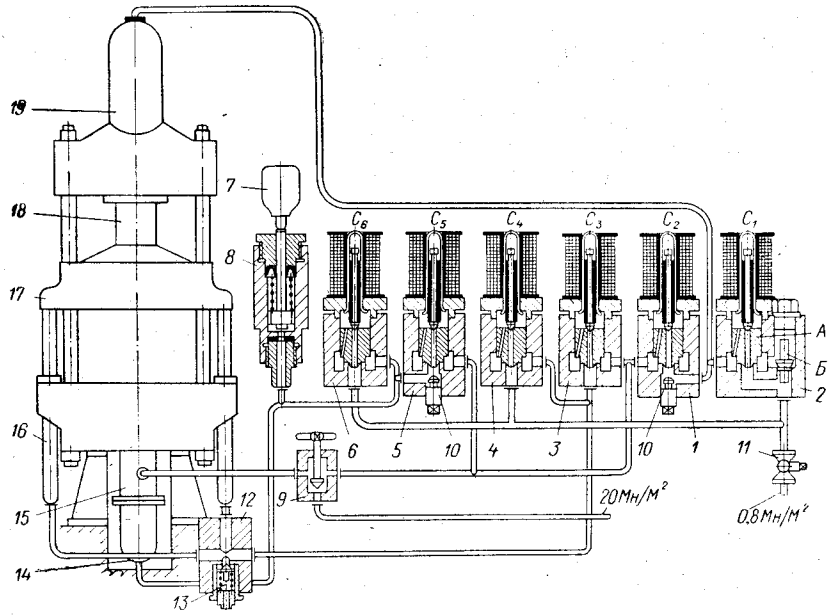


Рис. IV.10. Гидравлическая схема полуавтоматического пресса, оснащенного электроуправляемым гидравлическим дистрибутором:

1—6 — соленоидоуправляемые гидравлические клапаны; *7* — конечный выключатель; *8* — реле давления; *9* — запорный вентиль высокого давления; *10* — дроссельные вентили; *11* — кран низкого давления; *12* — крестовина; *13* — предохранительный клапан; *14* — выталкивающий цилиндр; *15* — штоковая полость выталкивающего цилиндра; *16* — ретурный цилиндр; *17* — подвижная плита; *18* — главный плунжер; *19* — главный цилиндр; *А* — соленоидоуправляемый клапан; *Б* — обратный клапан; C_1 — C_6 — соленоидные катушки.

через клапаны *2*, *6* и *4*, а с магистралью высокого давления — через клапаны *1*, *5* и *3*. Последовательность открытия и закрытия гидравлических клапанов в процессе прессования показана в табл. IV.2.

Замедленное смыкание прессформы осуществляется следующим образом. При открытии клапана *3* ретурные цилиндры *16* соединяются с гидромагистралью высокого давления. Вследствие этого в главном цилиндре *19* давление жидкости превысит 0,8 *Мн/м*^{2}. Поскольку верхняя полость обратного клапана соединена коммуникацией с главным цилиндром, клапан *Б* плотно закрыт и жидкость поступает в главный цилиндр только через проходное отверстие в клапане *1*, прикрытое снизу дроссельным приспособлением *10*.

Таблица IV.2

Последовательность открытия и закрытия гидравлических клапанов распределителя системы автоматизированного управления прессом

Знак × показывает, что клапан открыт, а шток гидравлического реле давления поднят.

Операции	Гидравлические клапаны и реле давления							
	1	*2*		*3*	*4*	*5*	*6*	*8*
		А	*Б*					
Опускание рабочего плунжера на холостом ходу под низким давлением			×		×		×	
Замедленное смыкание прессформы	×			×			×	
Окончательное смыкание прессформы под высоким давлением	×				×		×	
Разъем прессформы при подпрессовках		×		×			×	
Смыкание прессформы при подпрессовках			×		×		×	
Выдержка прессформы под давлением	×				×		×	
Разъем прессформы и подъем рабочего плунжера пресса		×		×			×	
Подъем выталкивателя						×		×
Опускание выталкивателя							×	

Таким образом, замедленное смыкание прессформы начинается в момент открытия клапанов *1* и *3* при условии, если проходное отверстие в клапане *1* уменьшено.

Клапан *13* отрегулирован на давление жидкости, превышающее рабочее на 1,5—2 *Мн/м²*, и предохраняет подвижную и нижнюю плиты, а также возвратные (ретурные) цилиндры пресса от поломок в том случае, когда в главном цилиндре находится жидкость высокого давления, а выход жидкости из ретурных цилиндров закрыт из-за закупорки коммуникации или неисправности клапанов *3* и *4*.

При помощи гидравлического реле *8* и конечного выключателя *7* подвижная плита пресса блокируется до тех пор, пока выталкиватель не опустится в крайнее нижнее положение. Шток гидравлического реле с некоторым опережением дублирует движение плунжера выталкивателя и поднимается только тогда, когда в нижней полости цилиндра выталкивателя давление жидкости достигает величины, необходимой для подъема плунжера. Блокировка подвижной плиты пресса при помощи гидравлического реле способствует предохранению прессформы от поломок.

Электрический пульт предназначен для управления гидропрессом на двух режимах работы — автоматизированном и наладочном, причем прессование производится только на автоматизированном режиме, а наладочным режимом пользуются при перестановке прессформы, а также при ремонте и наладке пресса. Пульт позволяет работать на автоматизированном режиме с подпрессовками и без подпрессовок, с замедленным и обычным смыканием прессформы, при автоматическом и кнопочном управлении выталкивателем.

При помощи пульта автоматически выполняются следующие операции прессования: предварительное смыкание пресса под низким давлением; замедленное смыкание прессформы; окончательное смыкание прессформы под высоким давлением; подпрессовки «до смыкания» под низким давлением; пауза (т. е. предварительная выдержка прессформы в сомкнутом состоянии под высоким давлением); подпрессовки «после смыкания» под низким давлением (а при необходимости — комбинированные подпрессовки); выдержка под давлением и разъем пресса на необходимую высоту; подъем выталкивателя; включение сжатого воздуха для сталкивания отпрессованных изделий и очистки прессформы; опускание выталкивателя. Пульт имеет устройство, сигнализирующее об окончании выдержки под давлением, а также о неисправной работе соленоидоуправляемых гидравлических клапанов.

Подпрессовки как «до смыкания», так и «после смыкания» прессформы выполняются за счет жидкости низкого давления (0,8 *Мн/м*^{2}). Вследствие этого экономится 25—30% всей электроэнергии, расходуемой на гидравлический привод прессов.

Электрический пульт обеспечивает возможность аварийного подъема подвижной плиты пресса из любого положения, кроме исходного верхнего (после нажатия на кнопку управления). Однако возможность пользования аварийным разъемом пресса для произвольного уменьшения выдержки под давлением исключена.

В пульте смонтировано устройство, устраняющее опасность произвольного опускания подвижной плиты пресса из-за утечки жидкости через клапаны дистрибутора. При утечке жидкости через закрытые клапаны *1*, *Б* или *4* (см. рис. IV.10) подвижная плита пресса может опуститься на 10—20 *мм*. При этом переключится конечный выключатель $КВ_2$ (см. рис. IV.6), вследствие чего получат питание соленоиды клапанов *2* и *3*, после открытия которых подвижная плита поднимется в исходное положение.

Благодаря применению установки для управления прессами автоматизировано большинство операций прессования, что позволило значительно увеличить производительность труда прессовщика, снизить трудоемкость обслуживания пресса и обеспечить безопасность работы. Установка дает возможность прессовщику обслуживать два — три пресса вместо одного — двух без снижения количества прессуемых на каждом прессе изделий.

В установке для управления прессами имеется устройство, которое не позволяет произвольно изменять или нарушать

режим прессования, что способствует улучшению качества прессуемых изделий. Автоматическое управление подпрессовками значительно расширяет технологические возможности процесса прессования пластических масс. При помощи такой установки можно подобрать и осуществить оптимальный режим подпрессовок для каждого конкретного прессизделия.

Кроме соленоидоуправляемых клапанов для управления прессами с групповым приводом применяются также шпиндельные,

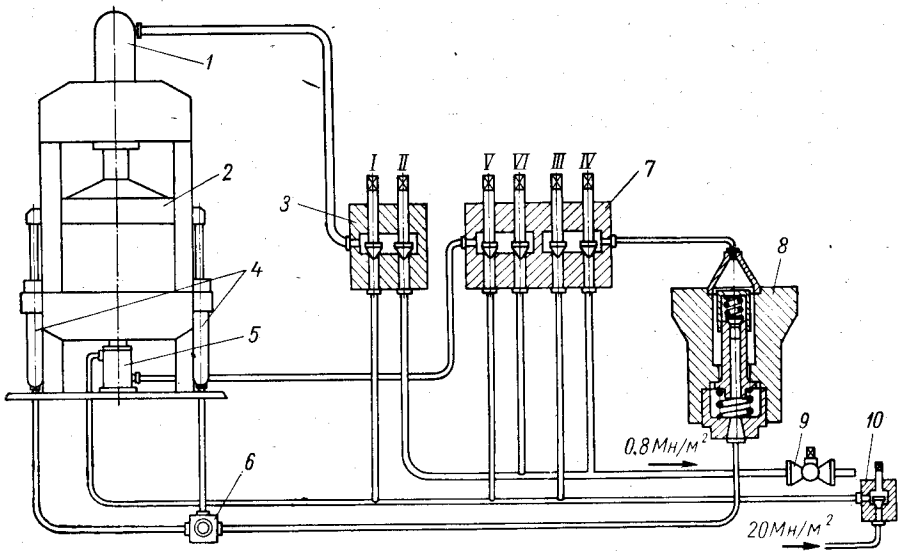


Рис. IV.11. Гидравлическая схема пресса, оснащенного шпиндельным дистрибутором:

1 — главный цилиндр пресса; *2* — подвижная плита; *3* — двухшпиндельный дистрибутор; *4* — ретурные цилиндры; *5* — выталкивающий цилиндр; *6* — предохранительный клапан; *7* — четырехшпиндельный дистрибутор; *8* — обратный комбинированный клапан; *9*, *10* — запорные краны; *I—VI* — шпиндели.

рычажно-клапанные и другие дистрибуторы. Такие дистрибуторы обеспечивают ручное или механизированное управление прессом и в настоящее время применяются в пластмассовых цехах неспециализированных заводов.

Гидравлическая схема пресса, оснащенного шестишпиндельным дистрибутором, представлена на рис. IV.11. Для управления главным цилиндром *1* предназначен двухшпиндельный дистрибутор *3*, а для управления возвратными (ретурными) и выталкивающим цилиндрами *4* и *5* — четырехшпиндельный дистрибутор *7*. Для предохранения ретурных цилиндров *4* от разрушения в том случае, когда главный цилиндр пресса соединен с магистралью высокого давления, а выход жидкости из ретурных цилиндров закрыт, предусмотрен ввинченный в тройник предохранительный клапан *6*.

Обратный комбинированный клапан *8* исключает возможность произвольного опускания подвижной плиты *2* пресса при утечке жидкости через седла шпинделей. Клапан *8* пропускает жидкость от дистрибутора *7* к ретурным цилиндрам с небольшим противодавлением, однако в обратном направлении жидкость проходит, преодолевая значительно большее противодавление, на которое отрегулирована верхняя пружина клапана. Давления, создаваемого в ретурных цилиндрах за счет веса главного и ретурных плунжеров, а также подвижной плиты, недостаточно для преодоления усилия этой пружины.

Шпиндели *I—VI* работают так же, как и соленоидоуправляемые клапаны, поочередно соединяя главный, возвратные (ретурные) или выталкивающий цилиндры с гидромагистралью высокого или низкого давления. Для отключения дистрибутора и пресса от магистралей низкого и высокого давления насосно-аккумуляторной станции при ремонте пресса, дистрибутора или внутренних коммуникаций установлены запорные краны *9* и *10*.

Выпускаемые отечественными заводами гидравлические прессы (табл. IV.3), предназначенные для группового привода, оснащены

Таблица IV.3

Технические характеристики отечественных гидравлических прессов для пластмасс с групповым приводом

Параметры	Тип пресса			
	Д2324	Д2328	Д2330	Д2332
Усилие, *кн*:				
прессования	250	630	1000	1600
возвратного хода	60	160	250	400
подъема выталкивателя	50	100	125	200
опускания выталкивателя	19	28	35	55
Ход, *см*:				
подвижной плиты пресса	25	32	40	50
выталкивателя	12,5	16	20	25
Скорость подвижной плиты, *мм/сек*:				
на холостом ходу	100	100	70	70
на рабочем ходу	2,5	2,5	2	2
при подъеме	100	100	70	70
Скорость выталкивателя, *мм/сек*:				
при подъеме	44	57	80	60
при опускании	44	108	100	60
Давление жидкости, *Мн/м²*	0,8 и 20	0,8 и 20	0,8 и 20	0,8 и 20
Давление жидкости от мультипликатора, *Мн/м²*	—	32	32	32
Величина разъема пресса, *см*	50	63	71	80
Размеры стола, *см*	40×40	50×50	63×63	80×80
Габаритные размеры пресса, *м*	0,84× ×1,4× ×2,32	1×1,1× ×2,6	1,21× ×1,2× ×2,63	1,4× ×1,4× ×3
Вес пресса, *кн*	5,2	15	22	37

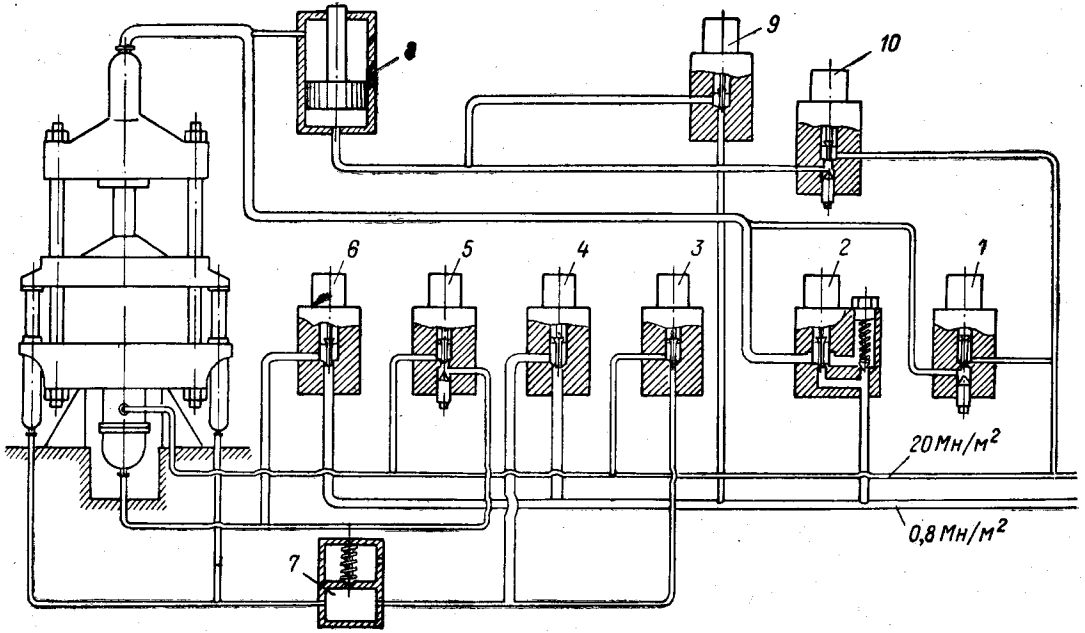


Рис. IV.12. Гидравлическая схема пресса с групповым приводом, оснащенного мультипликаторами:

1—6 — основные соленоидоуправляемые клапаны; *7* — предохранительный клапан; *8* — гидравлический мультипликатор давления; *9, 10* — дополнительные соленоидоуправляемые клапаны.

мультипликаторами, обеспечивающими повышение давления питания, создаваемого насосно-аккумуляторной станцией, с 20 *Мн/м*^{2} до 32 *Мн/м*^{2}.

Принципиальная гидравлическая схема полуавтоматического управления прессом с применением мультипликатора приведена на рис. IV.12. Кроме соленоидоуправляемых гидравлических клапанов *1—6* и предохранительного клапана *7* в схеме использованы мультипликатор *8* и дополнительные соленоидоуправляемые клапаны *9* и *10*.

После замыкания прессформы и выполнения подпрессовок выключается клапан *1* и включается соленоидоуправляемый клапан *10*, обеспечивающий подачу жидкости в рабочую полость мультипликатора *8*. В результате в штоковой полости мультипликатора и главном цилиндре пресса создается давление жидкости 32 *Мн/м*^{2}. Во время разъема пресса открывается соленоидоуправляемый клапан *9*, вследствие чего рабочая (нижняя) полость мультипликатора соединяется с магистралью низкого давления (0,8 *Мн/м*^{2}) и плунжер мультипликатора опускается в исходное положение.

§ 4. ПРЕССЫ С ИНДИВИДУАЛЬНЫМ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ ПРИВОДОМ

Конструкция прессов

Оснащение гидравлических прессов эффективным и экономичным индивидуальным гидравлическим приводом стало возможно после создания быстроходных малогабаритных и надежных в длительной эксплуатации насосов высокого и низкого давления. В настоящее время прессы с индивидуальным приводом получили широкое распространение. Пресс *2* (рис. IV.13) с индивидуальным приводом является автономным агрегатом. Индивидуальный гидропривод состоит из масляных насосов высокого *6* и низкого *9* давления, циркуляционных клапанов высокого *7* и низкого *8* давления, резервуара *10* для масла и распределителей *4* и *5*, соединенных с главным *3* и выталкивающим *1* цилиндрами пресса.

Прессы с индивидуальным приводом имеют рамную (рис. IV.13), либо колонную конструкцию с верхним или нижним расположением главного (прессующего) цилиндра. Такие прессы применяются главным образом для компрессионного прессования. Индивидуальный привод могут иметь также прессы для трансферного прессования, у которых смыкание прессформы осуществляется под действием верхнего гидравлического цилиндра, а впрыск материала в прессформу — под действием нижнего цилиндра.

Показанный на рис. IV.14 полуавтоматический пресс с индивидуальным приводом состоит из сварной рамы *11*, главного *9* и выталкивающего *2* цилиндров с дифференциальными плунжерами *8* и *1*, нижнего стола *4*, подвижной плиты *7* и направляющих призм *5*. Сзади (или сбоку) пресса установлен гидропривод. Электроаппаратура управления прессом и обогревом прессформы смонтирована

в нижних нишах стоек пресса и герметически закрыта крышками *13*. В верхней нише левой стойки пресса расположены регулируемые по высоте кулачки и три конечных выключателя *6*. Остальные конечные выключатели смонтированы в нижней части рамы пресса и сблокированы с выталкивателем.

На передней панели стоек пресса установлены пульт управления *14*, арматура местного освещения, манометр *10* с дроссельным вентилем и один терморегулятор *3*. Второй терморегулятор *12*,

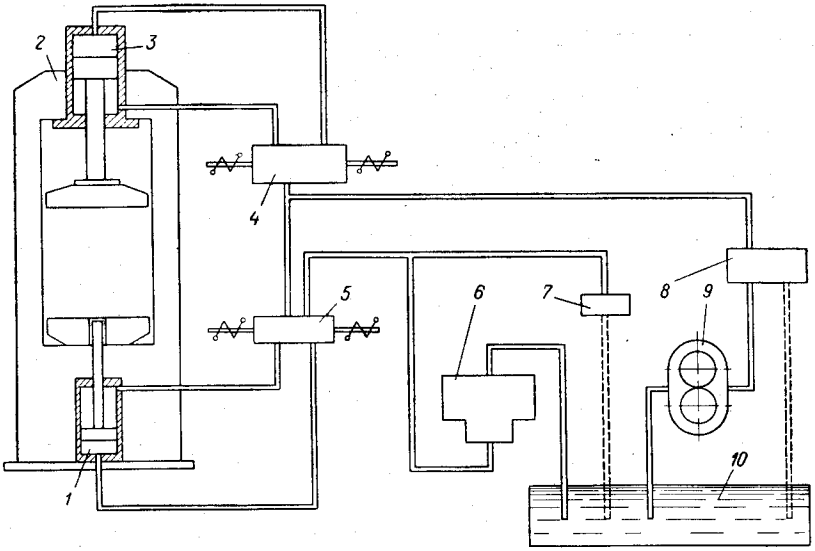


Рис. IV.13. Принципиальная гидравлическая схема пресса с индивидуальным приводом:

1 — выталкивающий цилиндр; *2* — пресс; *3* — главный цилиндр; *4*, *5* — распределители; *6* — насос высокого давления; *7* — циркуляционный клапан высокого давления; *8* — циркуляционный клапан низкого давления; *9* — насос низкого давления; *10* — резервуар.

регулирующий температуру пуансона прессформы, во избежание излишних перегибов капиллярной трубки смонтирован на подвижной плите пресса. Для уменьшения нагрева плит пресса установлены теплоизоляционные прокладки из асбоцемента.

В качестве неподвижных уплотнений плунжера на отечественных прессах обычно используются манжеты, а в качестве подвижных уплотнений — поршневые кольца или манжеты. Поршневые кольца сложнее в изготовлении и часто не обеспечивают герметичного уплотнения. По мере эксплуатации утечка жидкости через поршневые кольца увеличивается. Надежная замена поршневых колец большого диаметра в производственных условиях затруднительна.

Для изготовления манжет используют маслостойкую резину или термопластичные материалы. Манжеты обеспечивают герметичное уплотнение подвижных и неподвижных деталей. При правильном

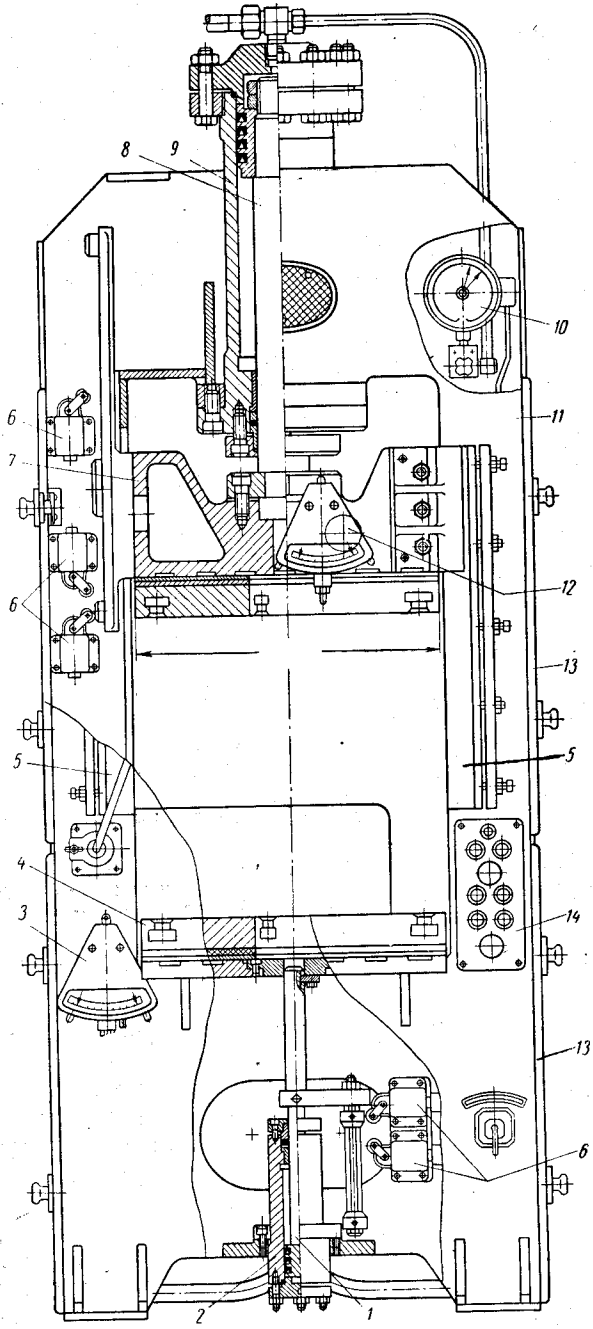


Рис. IV.14. Гидравлический рамный пресс с индивидуальным приводом:

1 — выталкивающий плунжер; *2* — выталкивающий цилиндр; *3*, *12* — терморегуляторы; *4* — стол пресса; *5* — направляющие призмы; *6* — конечные выключатели; *7* — подвижная плита; *8* — главный плунжер; *9* — главный цилиндр; *10* — манометр; *11* — рама; *13* — крышки; *14* — пульт управления.

выборе материала манжет, их размеров и конфигурации, отсутствии задиров на поверхности плунжера и цилиндра, а также при условии охлаждения рабочей жидкости и применении высококачественной теплоизоляции прессформ срок службы манжет составляет 1—2 года и более. В случае применения манжет вместо поршневых колец уменьшаются потери на трение при холостых ходах под низким давлением.

Технологические и конструктивные расчеты прессов проводятся аналогично расчетам, приведенным на стр. 99—102. Дополнительно по приближенной формуле находят потери на трение T (в $н$) в поршневых кольцах:

$$T = \pi b_{п.к} d_ц f (n_{п\ к} p_{п\ к} + P') \qquad (IV.26)$$

где $b_{п.к}$ — ширина поршневого кольца, $м$; $d_ц$ — диаметр цилиндра, $м$; f — коэффициент трения (для чугунных поршневых колец по чугунной втулке $f = 0{,}07 \div 0{,}12$); $n_{п.к}$ — количество поршневых колец; $p_{п.к}$ — удельное давление кольца на стенки цилиндра (обычно $60 \cdot 10^3$—$90 \cdot 10^3$ $н/м^2$); P' — уплотняющее давление, $н/м^2$.

Аппаратура для привода

Индивидуальный гидравлический привод (рис. IV.15, *а*) состоит из фланцевого электродвигателя *4*, муфты сцепления *3*, лопастного, поршневого, ротационного или поршневого эксцентрикового насоса *2* высокого давления, шестеренного насоса *1* низкого давления (насосы *1* и *2* спарены), масляного бака *5* и гидравлической аппаратуры управления: гидропанели *9*, циркуляционного клапана промежуточного давления *12* и предохранительного клапана *8*. Гидроаппаратура управления смонтирована на монтажной плите *7* масляного бака и закрыта кожухом *11*.

В гидропанели размещены запорный, поддерживающий, обратные и золотниковые клапаны. Управление золотниковыми клапанами осуществляется электромагнитами *10* через гидравлические пилоты (вспомогательные золотники). Общий вид пресса с укомплектованным агрегатом для индивидуального гидравлического привода представлен на рис. IV.15, *б*.

Ранее на прессах с индивидуальным приводом применялась гидроаппаратура на давление до 6,5—7 $Мн/м^2$. Повышение давления тормозилось не только отсутствием соответствующих насосов, но и трудностями, связанными с созданием необходимой электроуправляемой гидроаппаратуры. В дальнейшем с разработкой радиально-поршневых, скальчатых, эксцентриковых (поршневых), винтовых и лопастных малогабаритных насосов рабочее давление было доведено до 20 $Мн/м^2$. В настоящее время для привода гидравлических прессов применяется гидроаппаратура на давление масла 30—32 $Мн/м^2$, а в некоторых случаях — до 40 $Мн/м^2$.

Общий вид сдвоенного насоса, состоящего из шестеренного *I* и эксцентрикового поршенькового *II* насосов, представлен на

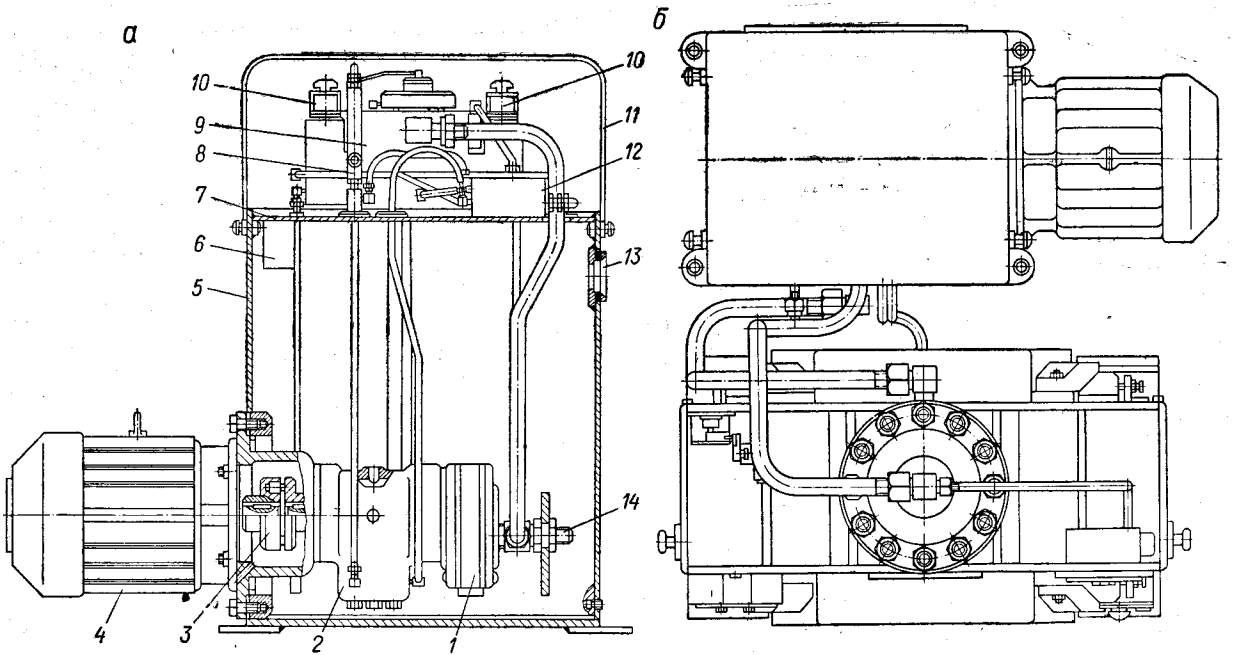


Рис. IV.15. Агрегат для индивидуального гидравлического привода пресса.

а — общий вид агрегата; *б* — вид пресса с агрегатом в плане;
1 — насос низкого давления; *2* — насос высокого давления; *3* — муфта сцепления; *4* — электродвигатель; *5* — бак; *6* — фильтр; *7* — монтажная плита; *8* — предохранительный клапан; *9* — гидропанель; *10* — электромагниты; *11* — кожух; *12* — циркуляционный клапан промежуточного давления; *13* — смотровое стекло; *14* — всасывающий патрубок.

рис. IV.16. Привод насосов осуществляется одним фланцевым двигателем, устанавливаемым на фланце *1*, через эксцентриковый вал *2* и соосный ему вал *7*. Эксцентриковый вал установлен в роликовых подшипниках *5*, а вал шестеренного насоса — в шарикоподшипниках *6*. На эксцентриковых шейках вала *2* установлены три игольчатых подшипника *3*, наружные обоймы которых перемещают вниз поршни *12* и их седла *13*, вытесняя каждый раз определенный объем масла через нагнетательные шариковые клапаны *8*.

Поршни возвращаются в исходное верхнее положение под действием пружин *11*, при этом новая порция масла заполняет объем подпоршневой камеры. Сдвоенный насос находится в масляной ванне бака, поэтому масло для питания насоса свободно заливается в отверстие *4*. Нагнетательные линии от трех поршней эксцентрикового насоса разделены: один из поршней нагнетает масло через канал *10*, а два других — через канал *9*.

При известной производительности гидравлических насосов ориентировочную скорость движения главного и выталкивающего плунжеров v (в *м/сек*) определяют по упрощенной зависимости:

$$v = \frac{4Q_{\text{нас}}}{\pi D^2} \qquad \text{(IV.27}$$

где $Q_{\text{нас}}$ — производительность насоса, *м³/сек*; D — диаметр плунжера, *м*.

Приводную мощность насоса $N_{\text{нас}}$ (в *квт*) рассчитывают по формуле:

$$N_{\text{нас}} = \frac{p' Q'_{\text{нас}} \rho}{6 \cdot 10^4 \eta_{\text{м}}} \qquad \text{(IV.28)}$$

где p' — теоретическое или индикаторное давление нагнетаемой жидкости, *Мн/м²*; ρ — плотность жидкости, *кг/м³*; $Q'_{\text{нас}}$ — теоретическая производительность насоса, *л/мин*; $\eta_{\text{м}}$ — механический к. п. д. насоса.

Производительность поршневого насоса $Q_{\text{п}}$ (в *л/мин*) будет равна:

$$Q_{\text{п}} = \frac{\pi d_{\text{п}}^2 x_{\text{п}} s_{\text{п}} n_{\text{в}} \eta_{\text{об}}}{4 \cdot 10^6} \qquad \text{(IV.29)}$$

где $d_{\text{п}}$ — диаметр поршней, *мм*; $x_{\text{п}}$ — количество поршней; $s_{\text{п}}$ — длина хода поршней, *мм*; $n_{\text{в}}$ — число оборотов вала, *об/мин*; $\eta_{\text{об}}$ — объемный к. п. д.

Производительность шестеренного насоса $Q_{\text{ш}}$ (в *л/мин*) определяют по уравнению:

$$Q_{\text{ш}} = \frac{2 l_{\text{зац}} b_{\text{ш}} n_{\text{ш}}}{10^6 m_{\text{ш}} \cos \alpha} \left(m_{\text{ш}}^2 z_{\text{ш}} + m_{\text{ш}} - \frac{l_{\text{зац}}^2}{12} \right) \qquad \text{(IV.30)}$$

где $l_{\text{зац}}$ — длина рабочего участка линии зацепления, *мм*; $b_{\text{ш}}$ — ширина шестерни, *мм*; $n_{\text{ш}}$ — число оборотов шестерен, *об/мин*; $m_{\text{ш}}$ — модуль шестерни, *мм*; α — угол зацепления; $z_{\text{ш}}$ — число зубьев ведущей шестерни.

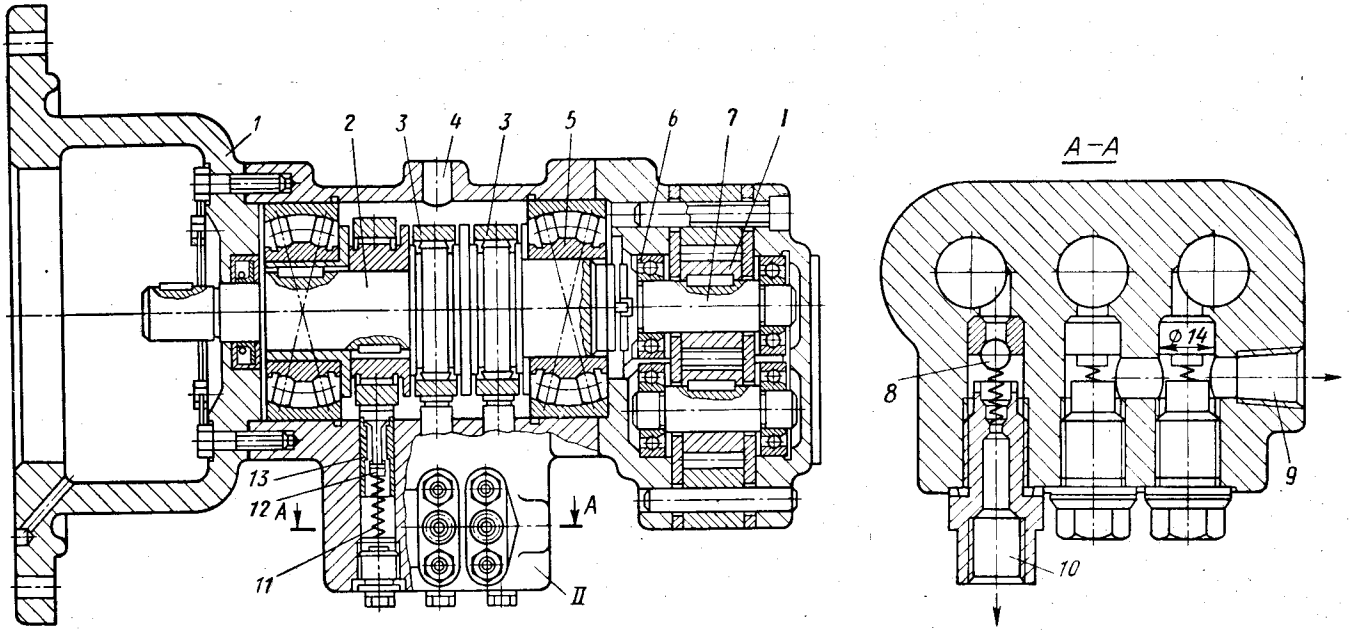


Рис. IV.16. Сдвоенный шестеренно-поршеньковый масляный насос для индивидуального привода пресса:

1 — фланец; *2*, *7* — валы; *3* — игольчатые подшипники; *4* — отверстие для масла; *5* — роликовый подшипник; *6* — шарикоподшипник; *8* — нагнетательный клапан; *9*, *10* — каналы; *11* — пружина; *12* — поршень; *13* — седло; *I* — шестеренный насос; *II* — эксцентриковый поршеньковый насос.

Количество жидкости $Q_л$ (в *л/мин*), нагнетаемое за 1 *мин* разгруженным лопастным насосом двухстороннего действия, находят по формуле:

$$Q_л = \frac{2b_р n_р}{10^6}(R_{о.1} - R_{о.2})\left[\pi(R_{о.1} - R_{о.2}) - \frac{\delta_л x_л}{\cos\alpha}\right] \qquad (IV.31)$$

где $b_р$ — ширина ротора, *мм*; $n_р$ — число оборотов ротора, *об/мин*; $R_{о.1}$, $R_{о.2}$ — большой и малый радиусы направляющего отверстия в статоре соответственно, *мм*; $\delta_л$ — толщина лопастей, *мм*; $x_л$ — число лопастей; $\alpha = 13°$ — угол наклона лопастей в роторе.

При расчете необходимой производительности насосов учитывают утечки жидкости через неплотности в гидроаппаратуре, а также сжимаемость жидкости и расширение трубопроводов под действием давления жидкости.

Общее количество жидкости $Q_щ$ (в *л/мин*), протекающей через концентрическую щель при ламинарном режиме потока, будет равно:

$$Q_щ = \frac{\pi \Delta p \gamma^3 d_щ \cdot 10^5}{12\nu l_щ \rho} \qquad (IV.32)$$

где Δp — перепад давления в щели (по отношению к атмосферному давлению), *н/м²*; γ — половина диаметрального зазора, *м*; $d_щ$ — внутренний диаметр щели золотника, плунжера или поршня, *м*; ν — кинематический коэффициент вязкости жидкости, *м²/сек*; $l_щ$ — длина щели вдоль оси, *м*; ρ — плотность жидкости, *кг/м³*.

Уменьшение объема жидкости в системе ΔQ при сжатии можно найти следующим образом:

$$\Delta Q = \beta p Q' \qquad (IV.33)$$

где $\beta = 64 \cdot 10^{-6}$ — объемный коэффициент сжатия; p — давление жидкости; Q' — объем масла в системе.

Средняя величина объемного коэффициента сжатия применяемых при 50° С масел соответствует объемному модулю упругости 1570 *Мн/м²*.

Относительное увеличение площади поперечного сечения $\Delta S/S$ тонкостенных труб определяется по уравнению:

$$\frac{\Delta S}{S} = \left(\frac{p d_{тр}}{E\delta_{тр}}\right)^2 \qquad (IV.34)$$

где ΔS — увеличение площади поперечного сечения трубы; S — площадь поперечного сечения трубы; p — давление в трубе, *н/м²*; $d_{тр}$ — внутренний диаметр трубы, *м*; E — модуль упругости материала стенок трубы, *н/м²*; $\delta_{тр}$ — толщина стенок трубы, *м*.

Для толстостенных труб и цилиндров увеличение их сечения является функцией напряжения в материале труб и цилиндров и рассчитывается по специальным формулам.

Скорость действия гидромеханизмов ограничивается гидравлическими ударами, значительно превышающими расчетные давления в системе. Гидравлический удар возникает при резком изменении давления в системе в результате мгновенного изменения скорости

потока жидкости, вызванного быстрым закрытием или открытием проходного отверстия для жидкости. Повышение давления $\Delta p_{г.\,у}$ (в $н/м^2$) в трубопроводе большой длины, соединенном с емкостью, при прямом гидравлическом ударе равно:

$$\Delta p_{г.\,у} = a\,\Delta v \rho' \qquad \text{(IV.35)}$$

где a — скорость распространения ударной волны звука в жидкости, $м/сек$; Δv — уменьшение скорости потока, $м/сек$; ρ' — плотность масла, $кг/м^3$.

Прямой гидравлический удар образуется в трубопроводе при условии:

$$t_{з.\,к} \leqslant t_{у.\,в} = \frac{2L}{a} \qquad \text{(IV.36)}$$

где $t_{з.\,к}$ — время закрытия клапана; $t_{у.\,в}$ — время пробега ударной волной двойной длины L трубопровода.

При $a = 1000$ $м/сек$ и длине стального трубопровода 5 $м$ время $t_{у.в} = 0{,}01$ $сек$.

Гидравлический удар возникает также в том случае, когда цилиндр большой емкости, в котором находится жидкость под высоким давлением, быстро соединяют с линией слива. Он происходит в результате мгновенного выделения потенциальной энергии сжатия жидкости. Для устранения или уменьшения гидравлического удара цилиндр соединяют с линией слива через дроссельный клапан, постепенно понижая давление в цилиндре. Уменьшение скорости перемещения электроуправляемых золотниковых клапанов за счет применения гидравлических пилотов тоже способствует уменьшению гидравлического удара.

Большое значение для нормальной работы гидроаппаратуры имеет правильный выбор рабочей жидкости (масла). Масло подбирают главным образом по вязкости, но учитывают также наличие примесей и присадок (серы, фосфора и т. д.).

Гидравлическая схема управления прессом

Для управления прессом с индивидуальным приводом применяют преимущественно золотниковые распределители, которые гидравлически уравновешены и не требуют значительных усилий для перемещения золотника. Усилие для перемещения золотника в корпусе распределителя $P_з$ (в $н$) определяют по формуле:

$$P_з = f d_з l_з p_{макс} k_з \qquad \text{(IV.37)}$$

где $f \approx 0{,}05$ — коэффициент трения золотника о стенки корпуса; $d_з$ — номинальный диаметр золотника, $м$; $l_з$ — максимальная длина золотника, на которую производится одностороннее давление жидкости, $м$; $p_{макс}$ — максимальное давление в системе, $н/м^2$; $k_з = 0{,}15 \div 0{,}3$ — коэффициент, зависящий от точности изготовления золотника.

Предохранительный клапан с переливным золотником, применяемый для поддержания постоянного давления в гидравлических системах, а также для предохранения системы от перегрузок, показан на рис. IV.17. Канал *3* служит для подвода жидкости от системы, канал *2* соединен с линией слива, а канал *1* — с отводом для дистанционного управления. Предохранительный клапан оснащен регулятором давления *5* и краном *4*. Рекомендуемый расход жидкости — от 18 до 140 *л/мин*.

Напорный золотник с обратным клапаном (рис. IV.18, *а*) применяется для пропускания жидкости с заданным давлением в одном направлении и с минимальным сопротивлением — в обратном направлении. Участок трубопровода *I—II* может быть подключен не

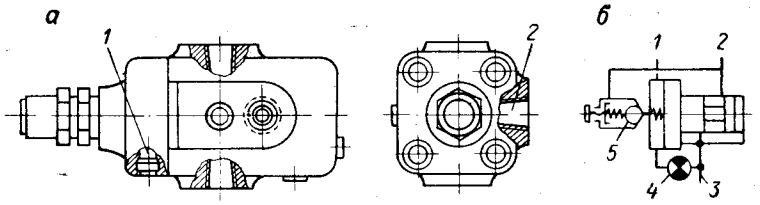


Рис. IV.17. Предохранительный клапан с переливным золотником (*а*) и схема его включения (*б*):

1 — отводящий канал; *2* — сливной канал; *3* — подводящий канал; *4* — кран; *5* — регулятор давления.

к линии подвода жидкости, а к линии дистанционного управления. Редукционный клапан с регулятором (рис IV.18, *б*) применяется для редуцирования давления жидкости в гидросистемах с целью создания постоянного давления, которое меньше давления, развиваемого насосом. Каналы *1—3* служат соответственно для слива, отвода и подвода жидкости.

Для обеспечения передвижения плунжера в гидравлическом цилиндре с равномерной скоростью, не зависящей от нагрузки на рабочие органы, применяется дроссель с регулятором (рис. IV.19, *а*). Дроссель, показанный на рис. IV.19, *б*, оснащен кроме регулятора предохранительным клапаном *3* и обеспечивает автоматическое изменение развиваемого насосом давления в соответствии с изменением нагрузки на рабочие органы. Трубопроводы *2*, *4* и *5* предназначены соответственно для подвода и отвода жидкости, подключения дистанционного управления и слива жидкости.

В реверсивных золотниковых клапанах, применяемых для непосредственного распределения жидкости между полостями гидравлического цилиндра, перемещение золотника может осуществляться путем непосредственной подачи жидкости за счет усилия электромагнита, через электроуправляемые гидравлические пилоты, либо с помощью ручного управления.

Схемы включения в гидросистемы трехходового реверсивного золотникового распределителя с электрическим управлением от электромагнитов даны на рис. IV.20. При этом трубопроводы *2—4*

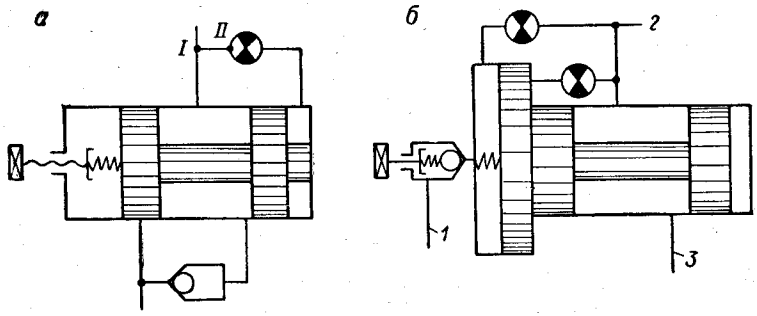


Рис. IV.18. Схемы золотниковых клапанов:

а — напорный золотник с обратным клапаном; *б* — редукционный клапан с регулятором;
1 — канал для слива жидкости; *2* — канал для отвода жидкости; *3* — канал для подвода жидкости.

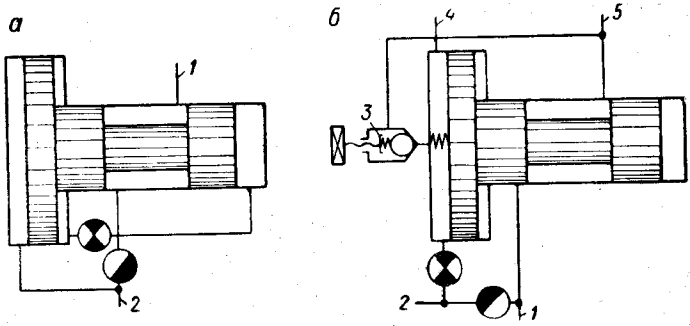


Рис. IV.19. Схемы дросселя:

а — с регулятором; *б* — с регулятором и предохранительным клапаном;
1 — трубопровод для подвода жидкости; *2* — трубопровод для отвода жидкости; *3* — предохранительный клапан; *4* — трубопровод для подключения дистанционного управления; *5* — трубопровод для слива жидкости.

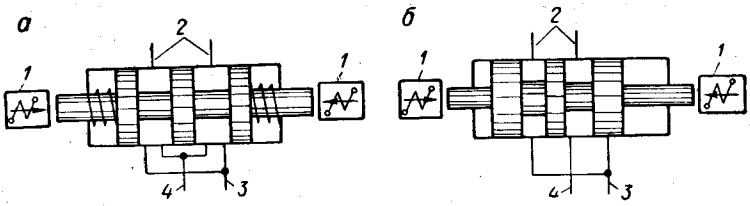


Рис. IV.20. Схемы трехходового реверсивного золотникового распределителя с электрическим управлением:

а — напорная магистраль соединена с двумя полостями управляемого цилиндра (в исходном положении); *б* — напорная магистраль соединена с одной полостью цилиндра;
1 — электромагниты; *2—4* — трубопроводы, соединяемые соответственно с полостями управляемого цилиндра, линией слива и напорной магистралью.

присоединены соответственно к полостям цилиндра, линии слива и напорной магистрали. Для перемещения золотника предназначены толкающие или тянущие электромагниты *1*.

Реверсивный золотниковый распределитель с гидравлическим управлением представлен на рис. IV.21, *а*. Трубопроводы *1* подключены к линии управления, трубопроводы *3* — к линии слива, а трубопроводы *4* и *2* предназначены соответственно для подвода жидкости и направления ее к различным полостям управляемого цилиндра пресса.

При гидравлическом управлении золотниковый распределитель необходимо оснащать дополнительными клапанами управления. При электрическом управлении необходимость в дополнительных

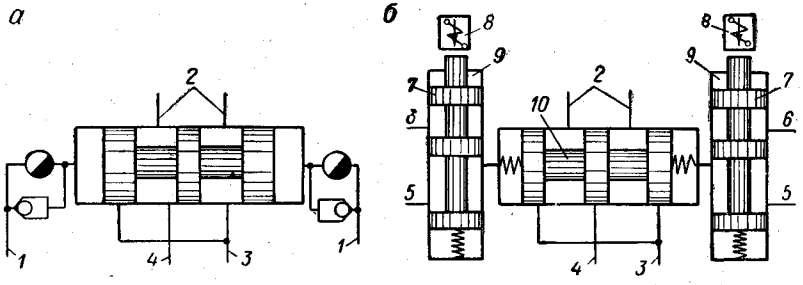


Рис. IV.21. Схемы трехходовых реверсивных золотниковых распределителей:

а — с гидравлическим управлением; *б* — с электрогидравлическим управлением; *1—4* — трубопроводы, соединенные соответственно с линией управления, полостями управляемого цилиндра, линией слива и напорной магистралью; *5* — патрубки для соединения с линией слива; *6* — патрубки для соединения с линией управления; *7* — золотники пилотов; *8* — электромагниты; *9* — гидравлические пилоты; *10* — золотниковый клапан.

клапанах отпадает, однако при больших расходе и давлении жидкости требуются очень мощные электромагниты. Кроме того, электромагниты (толкающие или тянущие) очень быстро (до 0,05 *сек*) перемещают золотник, что способствует возникновению гидравлических ударов в гидросистеме.

Наиболее рациональным является электрогидравлическое (пилотное) управление золотниковым клапаном (рис. IV.21, *б*). Трехходовой реверсивный золотниковый клапан *10* оснащен двумя гидравлическими пилотами управления *9* с электромагнитами *8* для перемещения золотников *7* пилотов. Патрубки *5* и *6* подключены соответственно к линиям слива и управления. Поскольку расход и давление жидкости в линии управления очень малы, усилие электромагнита для перемещения золотника пилота минимально.

Перемещение золотникового клапана *10* под действием нагнетаемой жидкости происходит значительно медленнее (от 0,3 до 3 *сек*), чем при жестком соединении золотника с электромагнитом. Вследствие этого возможность гидравлических ударов в системе практически исключается. Пропускная способность золотниковых клапанов

с электрогидравлическим и гидравлическим управлением повышается с 140 до 280—560 *л/мин*.

Для управления неавтоматизированными гидравлическими прессами применяется реверсивный золотниковый распределитель с ручным управлением. На рис. IV.22, *а* показан распределитель с фиксацией золотника в переключенном положении (при помощи устройства *5*), а на рис. IV.22, *б* — без фиксации положения золотника в переключенном состоянии. Трубопроводы *1*, *2* и *4* соединены соответственно с линией слива, напорной линией и полостями цилиндра. Осевое перемещение золотника осуществляется с помощью рукоятки *3*. Возможны также другие схемы включения золотниковых распределителей с ручным управлением.

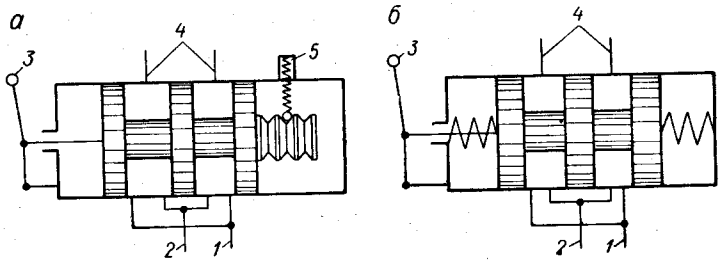


Рис. IV.22. Схемы золотниковых распределителей с ручным управлением:

а — с фиксацией золотника; *б* — без фиксации золотника; *1*, *2*, *4* — трубопроводы для соединения с линией слива, напорной линией и полостями цилиндра соответственно; *3* — рукоятка управления; *5* — фиксатор.

Утечки масла через кольцевой зазор золотника зависят от рабочего давления и расхода масла. Для стандартной гидроаппаратуры (давление до 5—8 *Мн/м*^{2}, расход до 140 *л/мин*) допустимая их величина равна 25—50 *см*^{3}*/мин*. При этом потери давления не превышают 0,15—0,2 *Мн/м*^{2}.

Принципиальная гидравлическая схема отечественного полуавтоматического пресса с индивидуальным приводом представлена на рис. IV.23. Аппаратура гидравлической схемы находится в нейтральном положении. После включения шестеренного *1* и эксцентрикового *2* насосов засасываемое из бака *3* масло нагнетается тремя потоками к золотниковому распределителю *16*, через который опять сливается в бак. Поток масла от шестеренного насоса движется через циркуляционный клапан низкого давления *18*, обратный клапан *17* и золотниковый распределитель *16*.

Далее масло протекает через каналы в золотнике и сливается в бак. Поток масла от двух поршеньков эксцентрикового насоса *2* проходит через обратные клапаны *А* и *В* устройства *5*, после чего смешивается с потоком масла, нагнетаемого левым поршеньком эксцентрикового насоса и шестеренным насосом. Таким образом, насосы работают вхолостую, преодолевая только сопротивление в трубопроводах и каналах гидроаппаратуры.

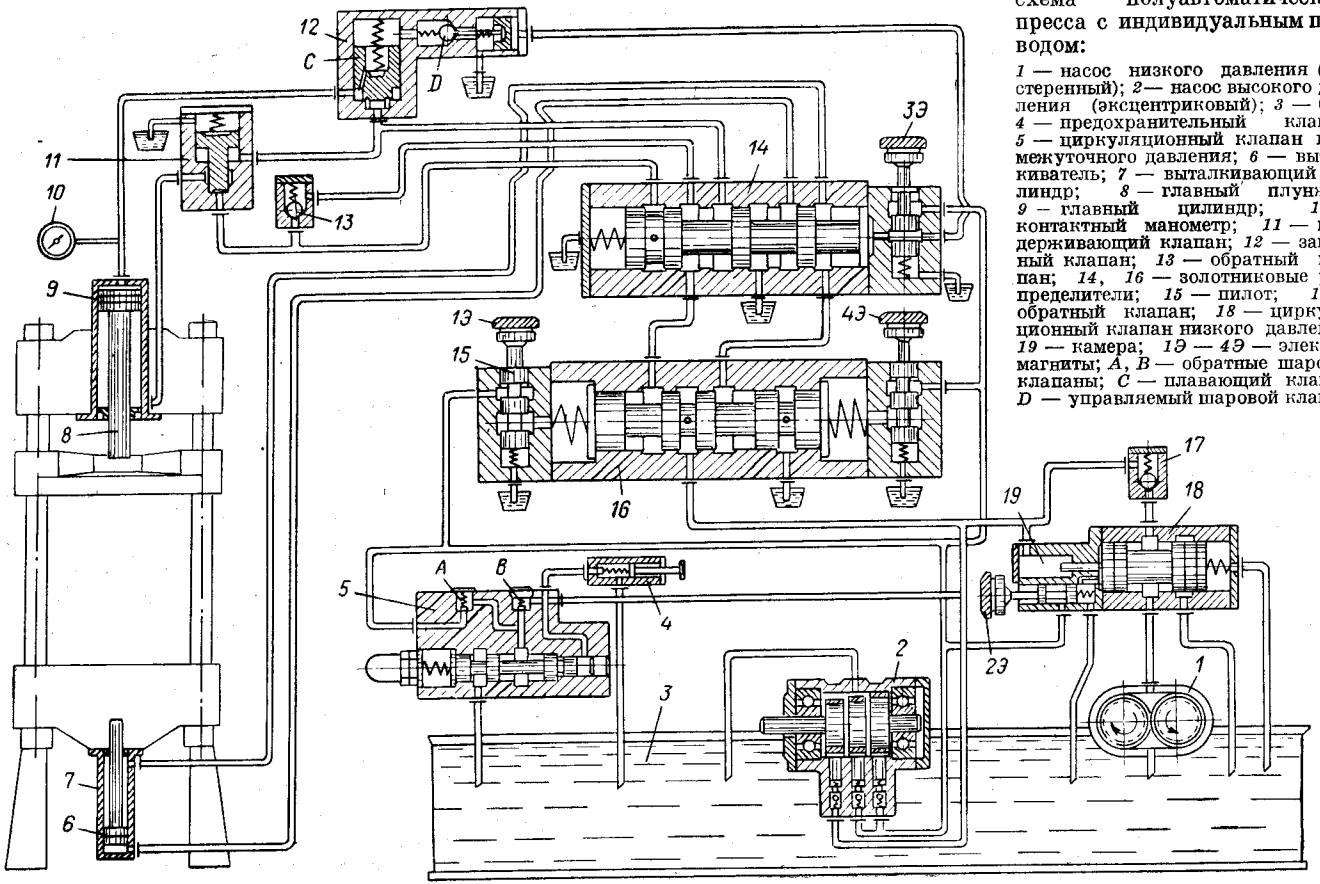


Рис. IV.23. Гидравлическая схема полуавтоматического пресса с индивидуальным приводом:

1 — насос низкого давления (шестеренный); *2* — насос высокого давления (эксцентриковый); *3* — бак; *4* — предохранительный клапан; *5* — циркуляционный клапан промежуточного давления; *6* — выталкиватель; *7* — выталкивающий цилиндр; *8* — главный плунжер; *9* — главный цилиндр; *10* — контактный манометр; *11* — поддерживающий клапан; *12* — запорный клапан; *13* — обратный клапан; *14*, *16* — золотниковые распределители; *15* — пилот; *17* — обратный клапан; *18* — циркуляционный клапан низкого давления; *19* — камера; *1Э* — *4Э* — электромагниты; *A*, *B* — обратные шаровые клапаны; *C* — плавающий шаровой клапан; *D* — управляемый шаровой клапан.

Управление главным *9* и выталкивающим *7* цилиндрами пресса осуществляется при помощи золотниковых распределителей *16* и *14* гидропанели. Поскольку пружина обратного клапана *А* отрегулирована на давление 1—1,5 *Мн/м²*, в линии управления при работе насосов поддерживается давление масла, необходимое для передвижения золотниковых распределителей (независимо от положения гидроаппаратуры).

Главный плунжер *8* начинает опускаться после включения электромагнита *1Э*. При этом вспомогательный золотник (пилот) *15* опускается, пропуская масло из линии управления в левую торцовую полость золотникового распределителя *16*. Последний переместится в крайнее правое положение, и поток масла из шестеренного и эксцентрикового насосов пройдет через полости распределителей *16*, *14* и запорный клапан *12* в рабочую полость главного цилиндра *9*. Из штоковой полости главного цилиндра масло проходит через поддерживающий клапан *11*, обратный клапан *13*, внутреннюю полость золотникового распределителя *14* и смешивается с потоком масла, нагнетаемым в рабочую полость цилиндра (вследствие чего скорость опускания главного плунжера увеличивается примерно вдвое).

За 20—30 *мм* до полного смыкания прессформы включится также электромагнит *2Э*, который передвинет вправо вспомогательный золотник. При этом масло из линии управления передвинет в крайнее правое положение золотник циркуляционного клапана низкого давления и нагнетающая линия высокопроизводительного шестеренного насоса соединится с линией слива в бак. Дальнейшее нагнетание масла в главный цилиндр осуществляется только малопроизводительным эксцентриковым насосом, вследствие чего скорость опускания главного плунжера резко замедляется.

По мере смыкания прессформы сопротивление движению плунжера возрастает, в связи с чем повышается давление масла в системе. Когда давление масла достигнет величины 15—20 *Мн/м²*, сработает циркуляционный клапан промежуточного давления *5*, золотник которого переместится влево, преодолевая усилие пружины. В результате поток масла от двух поршеньков эксцентрикового насоса соединится с линией слива, а поток масла от одного поршенька обеспечивает повышение давления масла до номинального (32 *Мн/м²*).

После достижения необходимого рабочего давления контактный манометр *10* выключает электромагнит *1Э*, а также электродвигатель насосов (на рисунке не показан) и начинается выдержка прессформы в сомкнутом состоянии под давлением. Запорный клапан *12* плотно закрыт и не допускает утечек масла из рабочей полости главного цилиндра. Штоковая полость главного цилиндра через клапаны *13* и *14* соединена с линией слива.

Главный плунжер поднимается после включения электромагнитов *1Э—3Э*. При этом нагнетающая линия шестеренного насоса соединена с линией слива, а поток масла от трех поршеньков направлен в штоковую полость главного цилиндра (поскольку золотник

распределителя *16* переместился в крайнее правое, а золотник распределителя *14* — в крайнее левое положение).

Масло из линии управления через пилот золотникового клапана *14* проникает в правую полость корпуса запорного клапана *12*, вследствие чего обратный шариковый клапан *В* открывается, а клапан *С* поднимается (за счет перепада давления в полостях под и над клапаном). В результате этого рабочая полость цилиндра *9* соединится с линией слива через заточки в золотниковом распределителе *14*. После подъема прессформы на 10—30 *мм* выключится электромагнит *2Э*, в связи с чем шестеренный насос переключится на рабочий ход и произойдет быстрый подъем главного плунжера в исходное верхнее положение.

Выталкиватель поднимается после включения электромагнитов *3Э* и *4Э*. При этом рабочая полость выталкивающего цилиндра *7* соединяется с нагнетающей линией шестеренного и эксцентрикового насосов (через внутренние полости золотниковых распределителей *16* и *14*). Масло из штоковой полости цилиндра *7* смешивается с потоком масла, нагнетаемым насосами, вследствие чего скорость подъема выталкивателя *6* соответственно увеличивается. В том случае, когда для подъема выталкивателя недостаточно давления масла, создаваемого шестеренным насосом (2 $Мн/м^2$), последний переключается на холостую работу и нагнетание масла в выталкивающий цилиндр производится только насосом высокого давления *2*. Переключение шестеренного насоса осуществляется за счет давления масла на торец штока золотника в камере *19* циркуляционного клапана *18*, достаточного для перемещения последнего в крайнее правое положение.

Выталкиватель опускается в результате включения электромагнита *1Э*. При этом золотниковый клапан *16* переместится в крайнее левое положение, после чего поток масла от насосов соединится со штоковой полостью выталкивающего цилиндра, а рабочая полость цилиндра — с линией слива (через полости золотникового распределителя *14*). Рабочая полость выталкивающего цилиндра соединена с линией слива в бак в течение выдержки под давлением, благодаря чему предотвращается произвольный подъем выталкивателя при просачивании масла через неплотности в гидроаппаратуре и выталкивающем цилиндре.

Разъем и смыкание прессформы при подпрессовках осуществляется идентично подъему и опусканию (на рабочем ходу) главного плунжера. В случае неисправности или отключения контактного манометра давление в системе во время выдержки под давлением может превысить допустимое. В этом случае сработает предохранительный клапан *4*, сбрасывая избыток масла на слив в бак.

Электрическая схема управления прессом обеспечивает автоматическое выполнение большинства операций прессования, а также автоматическое выключение и включение электродвигателя во время выдержки под давлением.

Циклограмма полуавтоматического пресса с индивидуальным гидравлическим приводом представлена на рис. IV.24. Автоматически

выполняются следующие операции: опускание подвижной плиты пресса на холостом ходу (1), замедленное опускание подвижной плиты (2), выдержка прессформы в сомкнутом состоянии в течение определенной паузы (3), необходимое количество подпрессовок (4), выдержка прессформы под давлением (5), разъем прессформы под высоким давлением (6), быстрый подъем подвижной плиты в исходное верхнее положение (7) и подъем выталкивателя (8). В позиции 9 производится (вручную) съем с прессформы отпрессованных и вытолкнутых изделий, а также очистка прессформы сжатым воздухом. Опускание выталкивателя (10) происходит после нажатия на соответствующую кнопку управления.

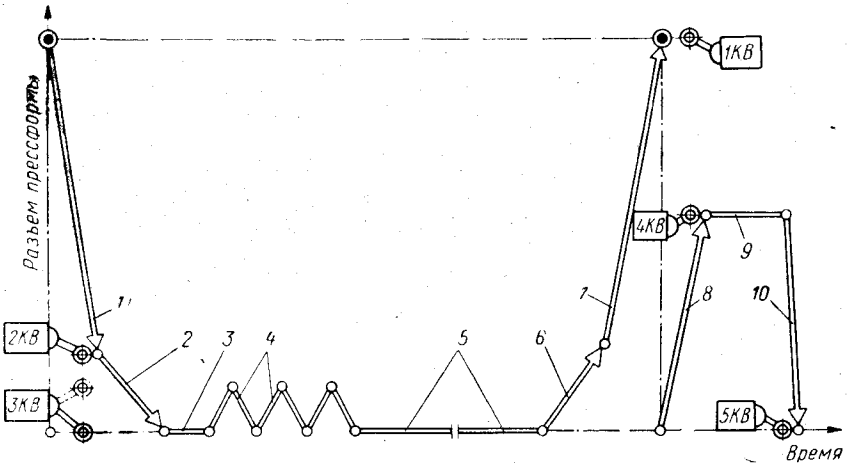


Рис. IV.24. Циклограмма работы полуавтоматического пресса с индивидуальным приводом:

1 — опускание подвижной плиты под низким давлением; *2* — замедленное смыкание прессформы; *3* — выдержка прессформы в замкнутом состоянии; *4* — подпрессовки; *5* — выдержка под давлением; *6* — замедленное размыкание прессформы; *7* — подъем подвижной плиты в исходное состояние; *8* — подъем выталкивателя; *9* — выдержка выталкивателя в верхнем положении; *10* — опускание выталкивателя; *1КВ — 5КВ* — конечные и путевые выключатели.

Полуавтоматический режим варьируется в зависимости от наличия подпрессовок: без подпрессовок, с подпрессовками без паузы и с подпрессовками после паузы. При полуавтоматическом режиме предусмотрено автоматическое управление гидравлическим выталкивателем. При эксплуатации прессформ без выталкивающей системы управление выталкивателем выключается при помощи переключателя режима работ. В электрической схеме управления прессом предусмотрено устройство, предотвращающее нарушение технологического режима прессования.

Для автоматического регулирования температуры прессформы на прессах с индивидуальным приводом применяются дилатометрические терморегуляторы, контактные манометрические термометры, контактные гальванометры и логометры, электронные потенцио-

метры, а также многоточечные электронные станции дистанционного управления. Электрические схемы включения терморегуляторов аналогичны схеме автоматического регулирования температуры на прессе с групповым приводом.

Отечественные прессы с индивидуальным приводом оборудованы автоматически управляемым гидравлическим выталкивателем. Прессы эксплуатируются при давлении масла 32 *Мн/м*^{2}. Гидравлический дистрибутор состоит в основном из гидравлической золотниковой панели с электрогидравлическим управлением. Последние модели отечественных прессов отвечают повышенным требованиям современной технологии прессования (табл. IV.4).

Кроме рассмотренных полуавтоматических прессов с нижним расположением аппаратуры для индивидуального гидравлического привода (см. рис. IV.14) применяются также прессы с верхним ее расположением.

Полуавтоматический пресс с верхним расположением аппаратуры для индивидуального гидропривода показан на рис. IV.25. Сдвоенный шестеренно-скальчатый насос *2* расположен в масляном баке *13*, на верхней и боковой стенках которого установлены электродвигатель *1* и клапанно-золотниковый дистрибутор *3*.

Для верхнего сталкивания изделий предусмотрены упоры *4*, а для механизированного нижнего выталкивания — тяги *7*, которые под действием подвижной плиты *5* поднимают траверсу *12* и соединенный с нею выталкиватель *10*. Для наладочных работ при установке и съеме прессформы предусмотрена возможность ручного подъема и опускания выталкивателя при помощи шестерни *11*, имеющей зацепление с зубчатой рейкой выталкивателя. В нише правой стойки пресса расположены манометр *6*, электромагнит *9* и пружина *8* для автоматического разъема пресса, а в нише левой стойки — приборы и электроаппаратура для управления прессом и обогревом прессформы.

Для гидравлического привода пресса обычно применяется сдвоенный насос, состоящий из поршневого и шестеренного насосов. Один из вариантов сдвоенного насоса показан на рис. IV.26. Движение на приводной вал *18* передается от вертикально расположенного фланцевого электродвигателя через эластичную муфту *19*. На средней части вала установлена шестерня *17* насоса низкого давления. Вторая шестерня, имеющая зацепление с первой, при работе насоса вращается на подшипниках вокруг оси *16*.

К эксцентриковой консоли вала прикреплены симметрично две скалки *12* насоса высокого давления. При вращении приводного вала масло засасывается из бака через фильтр *10* в шестеренный насос, который нагнетает его по каналам *А* и *В* в клапанные коробки *4*. Здесь поток масла поднимает всасывающие *7* и нагнетательные *5* клапаны и направляется к клапанно-золотниковому дистрибутору *13* с рычажным управлением.

В зависимости от положения штоков *14* дистрибутора масло нагнетается в рабочую или штоковую полость главного цилиндра *15*

Таблица IV.4

Технические характеристики отечественных прессов с индивидуальным гидравлическим приводом

Параметры	Тип пресса							
	ДА2424	П481А	ДА2428	Д2330	ПД476А	Д2434А	ДА2436	ДА2238
Усилие, *тн*: пресса	250	400	630	1000	1600	2500	4000	6300
обратного хода	67	105	170	250	350	640	960	—
выталкивателя	52	60	89	125	200	315	500	800
Ход подвижной плиты, *см*	25	32	32	40	50	50	63	63
Скорость подвижной плиты, *мм/сек*: при холостом ходе вниз	105	83	115	70	70	62	60	50
» рабочем » »	2,5	2	2,5	2	2,7	2,2	2	2
» подъеме	118	77	115	70	70	55	58	40
Ход выталкивателя, *см*	12,5	16	16	20	25	25	32	32
Скорость выталкивателя, *мм/сек*: при подъеме	14	13	35	23	20	19	22	75
» опускании	22	21	45	46	65	106	65	130
Максимальное расстояние между плитами, *см*	50	50	80	80	80	90	125	126
Размеры стола, *см*	40×40	50×50	50×50	63×63	80×80	100×100	125×125	140×140
Высота стола над уровнем пола, *см*	73	73	78,5	80	85	85	85	85
Мощность электродвигателя, *квт*	2,8	2,8	2,8	2,8	4,5	4,5	10	20
Габаритные размеры пресса, *м*	1,5× ×0,4×2	1,7× ×0,4×2,2	1×1,1× ×2,3	1,8× ×0,7×2,6	1,2× ×1,9×3	2,3×1× ×3,3	2,7× ×1,3×3,9	2,7× ×2,3×5,3
Вес пресса, *тн*	6,8	12	16	15	37	63	103	300

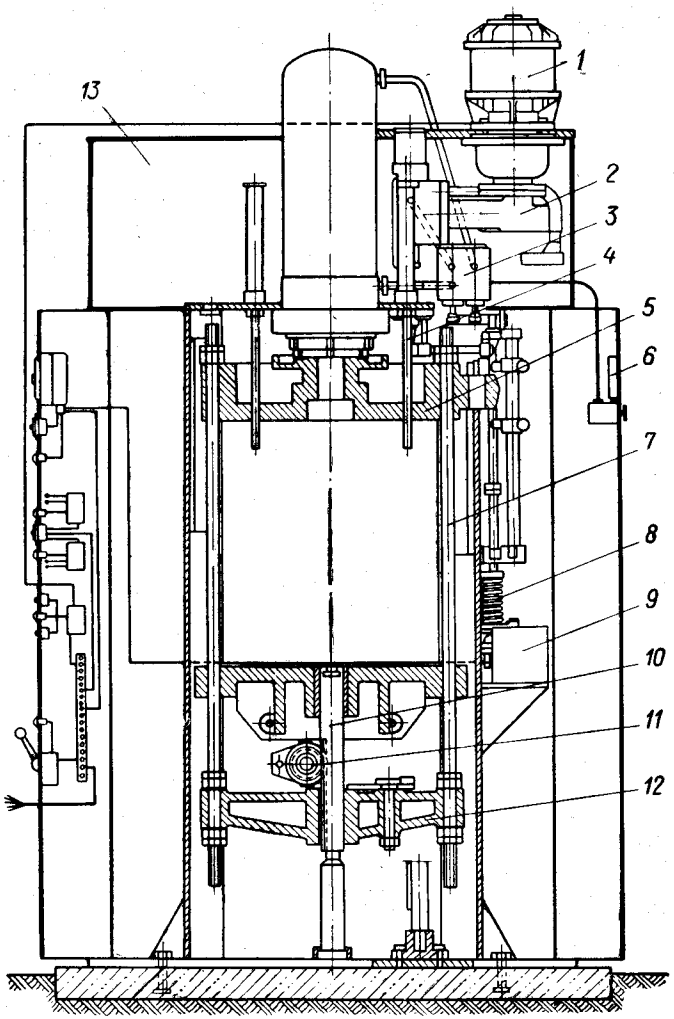


Рис. IV.25. Пресс с верхним расположением насосно-распределительного агрегата для индивидуального привода:

1 — электродвигатель; *2* — насос; *3* — дистрибутор; *4* — упор; *5* — подвижная плита; *6* — манометр; *7* — тяга; *8* — пружина; *9* — электромагнит; *10* — выталкиватель; *11* — шестерня; *12* — траверса; *13* — бак.

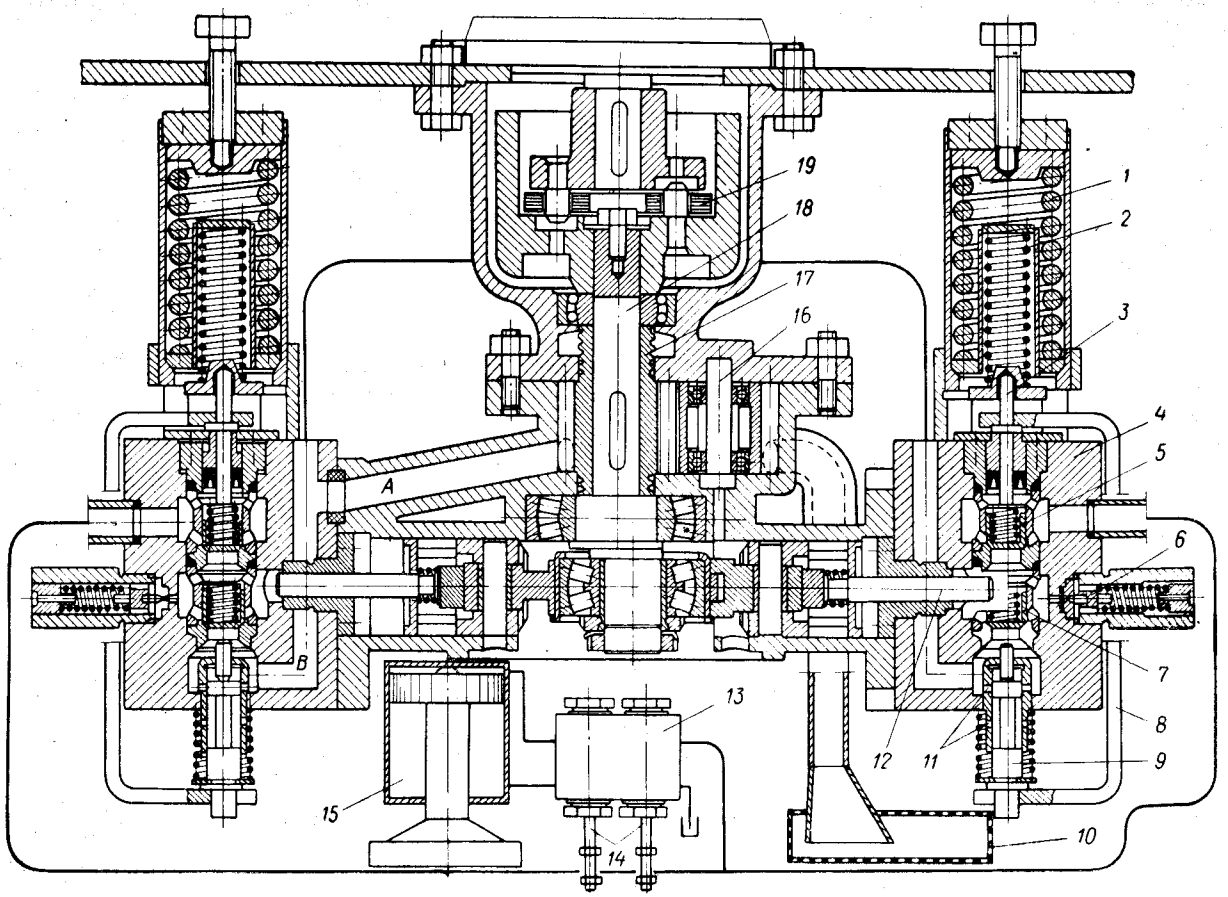


Рис. IV.26. Сдвоенный **шестеренно-скальчатый насос для индивидуального привода пресса:**

1, 2 — пружины; *3* — шток; *4* — клапанная коробка; *5* — нагнетательный клапан; *6* — предохранительный клапан; *7* — всасывающий клапан; *8* — тяга; *9* — золотник; *10* — фильтр; *11* — отверстия; *12* — скалка; *13* — дистрибутор; *14* — штоки; *15* — главный цилиндр пресса; *16* — ось шестеренного насоса; *17* — шестерня; *18* — вал; *19* — эластичная муфта; *A*, *B* — каналы.

пресса. Когда в связи с сопротивлением движению подвижной плиты пресса давление в гидросистеме возрастает до 1,5 *Мн/м²*, давление масла поднимает штоки *3*. При этом пружины *2* сжимаются, а тяги *8* перемещаются вверх и поднимают циркуляционный золотник *9*. В результате поток масла от шестеренного насоса направится на слив через отверстия *11*.

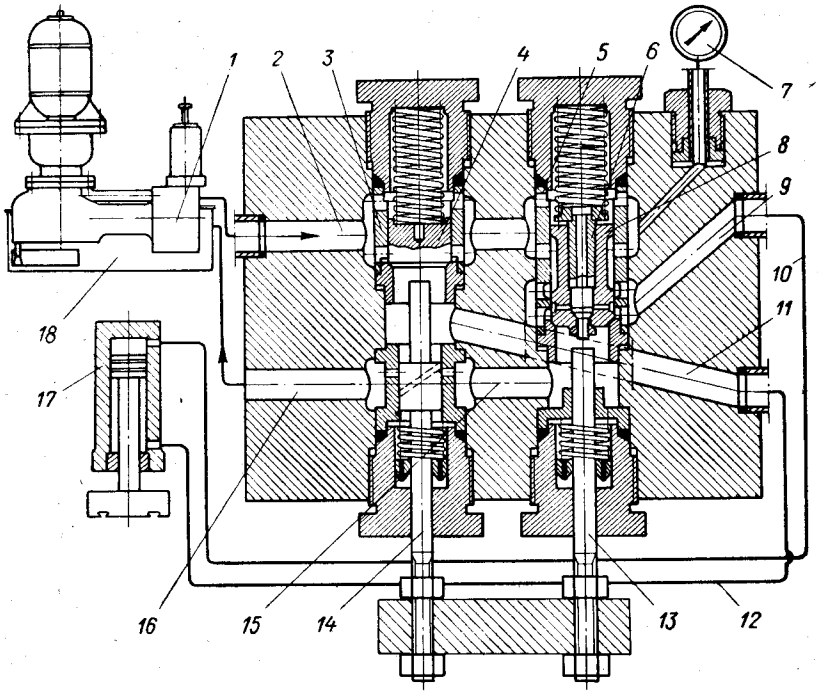


Рис. IV.27. Клапанно-золотниковый дистрибутор пресса с индивидуальным приводом:

1 — насос; *2*, *9*, *11*, *15*, *16* — каналы; *3*, *5* — решетки; *4*, *6*, *8* — клапаны; *7* — манометр; *10*, *12* — трубопроводы; *13*, *14* — штоки; *17* — цилиндр; *18* — бак.

После того, как давление масла возрастет до номинального, сожмется пружина *1*, а тяга *8* поднимется еще выше и золотник *9* откроет всасывающий клапан *7*. В результате нагнетательная линия от скалок насоса соединится с линией слива и насос высокого давления будет работать вхолостую. Обычно одну из пружин *1* устанавливают на давление 15—20 *Мн/м²*, а вторую — на величину рабочего давления. Вследствие этого происходит ступенчатое переключение скалок насоса высокого давления на холостую работу. Если давление в системе превысит максимально допустимый предел, откроется предохранительный клапан *6*.

Штоки *13* и *14* клапанно-золотникового дистрибутора (рис. IV.27) могут занимать нижнее, верхнее и нейтральное положения. При

нижнем положении штоков масло, нагнетаемое спаренным насосом *1*, проходит через канал *2*, отверстия в решетках *3* и *5*, канал *9*, трубопровод *10* и заполняет рабочую полость главного цилиндра *17* пресса. Масло из штоковой полости цилиндра выдавливается через трубопровод *12* и канал *11* дистрибутора, поднимает клапан *4* и смешивается с потоком масла, нагнетаемым насосом в рабочую полость главного цилиндра. В результате этого скорость опускания главного плунжера увеличивается примерно вдвое.

При верхнем положении штоков вначале поднимается разгрузочный клапан *6*, вследствие чего давление над клапаном резко снижается. Это позволяет без большого усилия поднять штоком *13* основной золотниковый усеченный клапан *8*. Одновременно под действием штока *14* поднимется клапан *4*, открывая проходное отверстие в седле. В результате рабочая полость цилиндра *17* соединится с линией слива в бак *18* (через трубопровод *10*, каналы *9*, *15* и *16*), а штоковая полость цилиндра — с напорной магистралью насоса (через трубопровод *12*, каналы *11* и *2*), и главный плунжер вместе с подвижной плитой пресса поднимется в исходное положение.

В нейтральном положении штоки *13* и *14* слегка приподняты, вследствие чего напорная магистраль насоса соединяется с линией слива в бак *18*. Напорная магистраль насоса постоянно соединена с манометром *7*.

§ 5. ПРЕССЫ ДЛЯ ТРАНСФЕРНОГО ПРЕССОВАНИЯ

Для переработки реактопластов трансферным прессованием применяются: вертикальные прессы с нижним трансферным цилиндром; прессовые установки, состоящие из червячного или поршневого пластикатора и вертикального или горизонтального пресса; комбинированные установки для таблетирования, нагрева материала и его впрыска поршнем из обогреваемого цилиндра. Ниже рассматриваются два первых типа оборудования.

Универсальные прессы выпускает, например, завод «TOS Rakovnik» (ЧССР). Это прессы типа СВА-100 и СВА-160 усилием 1000 и 1600 *кн* для компрессионного и трансферного прессования. Характеристики этих и подобных им машин ряда других стран приведены в табл. IV.5.

Общий вид универсального пресса типа СВА-160 приведен на рис. IV.28. Пресс оснащен электрическим пультом *1* автоматизированного управления и агрегатом *4* для индивидуального гидравлического привода. Для верхнего сталкивания отпрессованных изделий установлены упоры *2*, длину которых можно регулировать. Зона прессформы спереди и сзади закрыта предохранительными решетками *3*.

В нижней части пресса размещен универсальный гидравлический цилиндр, который в зависимости от установленного усилия может использоваться для выталкивания изделий из прессформы и для впрыска материала в прессформу из обогреваемого трансферного цилиндра.

Таблица IV.5

Технические характеристики универсальных гидравлических прессов

Параметры	Страна и тип пресса								
	ПНР		ЧССР		Италия				
	РНМ160	РНМ250	СВА-100-40	СВА-160-63	Т60В	Т100В	Т200В	Т300В	Т500В
Усилие, *кн*: прессования	1600	2500	1000	1600	630	1000	2000	3000	5000
подъема трансферного плунжера	490	630	390	620	196	196	295	344	392
возвратное	785	1230	440	735	36	74	98	148	245
Просвет между плитами, *см*	100	120	70	90	34	64	70	80	110
Ход главного плунжера, *см*	50	60	40	50	30	57	60	72	90
Скорость главного плунжера, *мм/сек*: при холостом ходе вниз	62	65	75	70	75	75	60	50	40
при рабочем ходе	2	2,5	2,2	2	2,5	2,5	2	1,8	1,7
при подъеме	62	62	7,5	70	40	50	40	35	30
Размер плит, *см*	80×80	100×100	60×60	70×70	33×33	50×50	65×65	75×85	110×90
Ход трансферного плунжера, *см*	25	25	20	20	15	15	25	30	35
Рабочее давление масла, *Мн/м²*	32	32	32,5	32,5	20	20	20	20	20
Мощность двигателя, *квт*	—	—	3	5,5	2,2	6,8	7,6	10	10
Габаритные размеры пресса, *см*	176×94×329	207×114×388	200×100×300	229×128×320	56×140×230	90×170×300	100×180×340	100×220×420	110×260×530
Вес пресса, *кн*	43	82	28	42	15	22	45	75	180

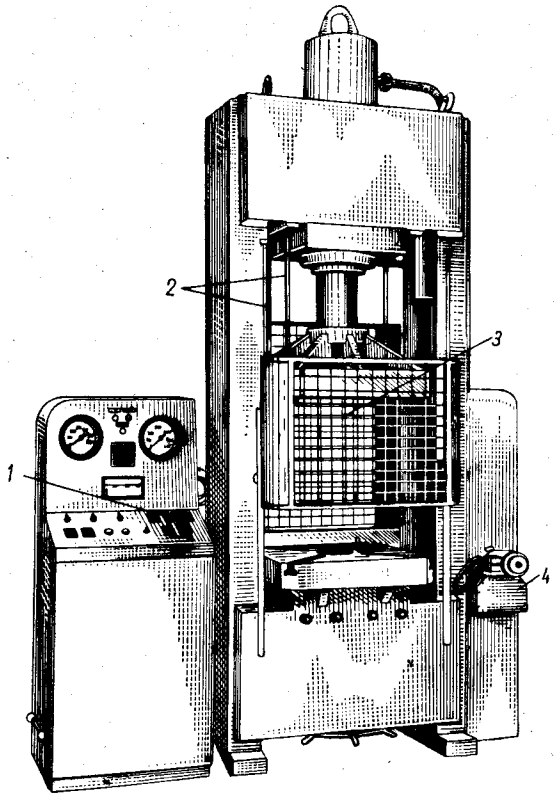


Рис. IV.28. Общий вид универсального автоматизированного пресса с индивидуальным приводом:

1 — пульт управления; *2* — упоры; *3* — предохранительные решетки; *4* — агрегат для гидравлического привода.

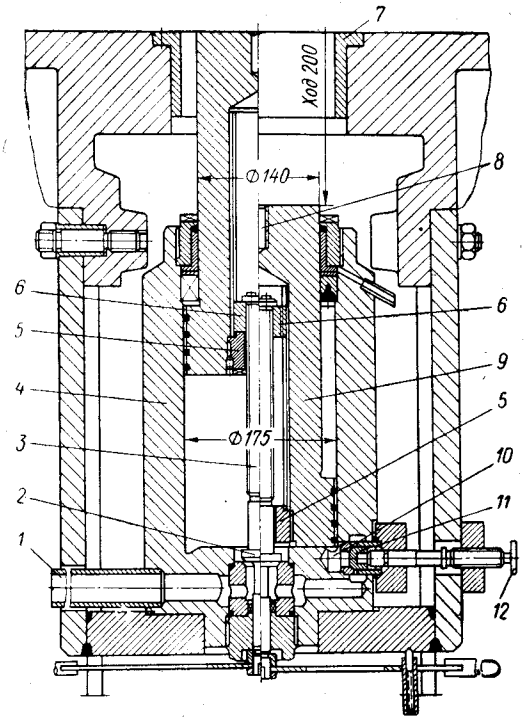


Рис. IV.29. Универсальный гидравлический цилиндр для привода выталкивателя и поршня трансферного цилиндра:

1 — патрубок; *2*, *11* — клапаны; *3* — тяга; *4* — цилиндр; *5*, *6* — гайки; *7* — втулка; *8* — отверстие; *9* — поршень; *10* — полость; *12* — рукоятка.

В том случае, когда цилиндр используется для нижнего выталкивания изделий (рис. IV.29), при помощи рукоятки *12* регулятора устанавливают необходимое давление масла в интервале 0,2—2,0 *Мн/м*², что соответствует усилию выталкивания 5—50 *кн*. Масло, нагнетаемое в полость *10* насосом, поступает затем в полость гидравлического цилиндра *4*, поднимая поршень *9*. Часть масла проникает через зазор между клапаном *11* и его седлом и направляется на слив через патрубок *1*, вследствие чего давление в цилиндре не повышается выше заданного.

Максимальный ход выталкивателя равен 200 *мм*. При достижении поршнем *9* исходного верхнего положения гайка *5* упирается в гайку *6* (как показано на левой половине рисунка). В результате резьбовая тяга *3* с клапаном *2* поднимается, сообщая полость цилиндра *9* со сливной линией.

При трансферном прессовании изделий во втулку *7* устанавливают трансферный цилиндр с поршнем диаметром 80 *мм* и электрообогревом. Для соединения выталкивателя прессформы и трансферного поршня с поршнем *9* предназначено резьбовое отверстие *8*. В этом случае клапан *11* закрыт и давление жидкости в цилиндре *4* достигает 25,5 *Мн/м*², что соответствует усилию впрыска 618 *кн*.

Для управления прессом применяется золотниковый дистрибутор (рис. IV.30). Управление главным цилиндром пресса осуществляется золотником *16*, а управление выталкивающим (трансферным) цилиндром—аналогичным золотником, расположенным параллельно в корпусе *17*.

Для осевого перемещения золотников установлен электродвигатель *14* мощностью 175 *вт*. Звездочки *12* и *13* электродвигателя и фрикционных муфт золотников соединены цепью. Обычно при вращении двигателя звездочки золотников вращаются вхолостую. Под действием электромагнита *8* включается в работу фрикционная муфта *11*, и маточная гайка *10* начинает вращаться, перемещая винт *9* и соединенный с ним золотник *16*.

Для опускания подвижной плиты пресса золотник *16* перемещается вправо. При этом масло, нагнетаемое насосами через трубопровод *15*, каналы золотникового дистрибутора и трубопровод *7*, заполняет рабочую полость главного цилиндра. Выдавливаемое из штоковой полости цилиндра масло смешивается с потоком масла, нагнетаемым насосом в рабочую полость цилиндра, вследствие чего скорость опускания подвижной плиты соответственно увеличивается.

Небольшая часть масла проникает через канавки золотника *16* и направляется на слив в бак. Благодаря этому в случае утечек масла из рабочей полости цилиндра в штоковую во время выдержки под давлением усилие пресса не уменьшается вследствие противодавления штоковой полости.

При замыкании прессформы давление в цилиндре начнет повышаться, и по достижении 2 *Мн/м*² циркуляционный клапан соединит основную часть потока насоса со сливным потоком, оставляя небольшую часть для питания поршневого насоса. Максимальное давление,

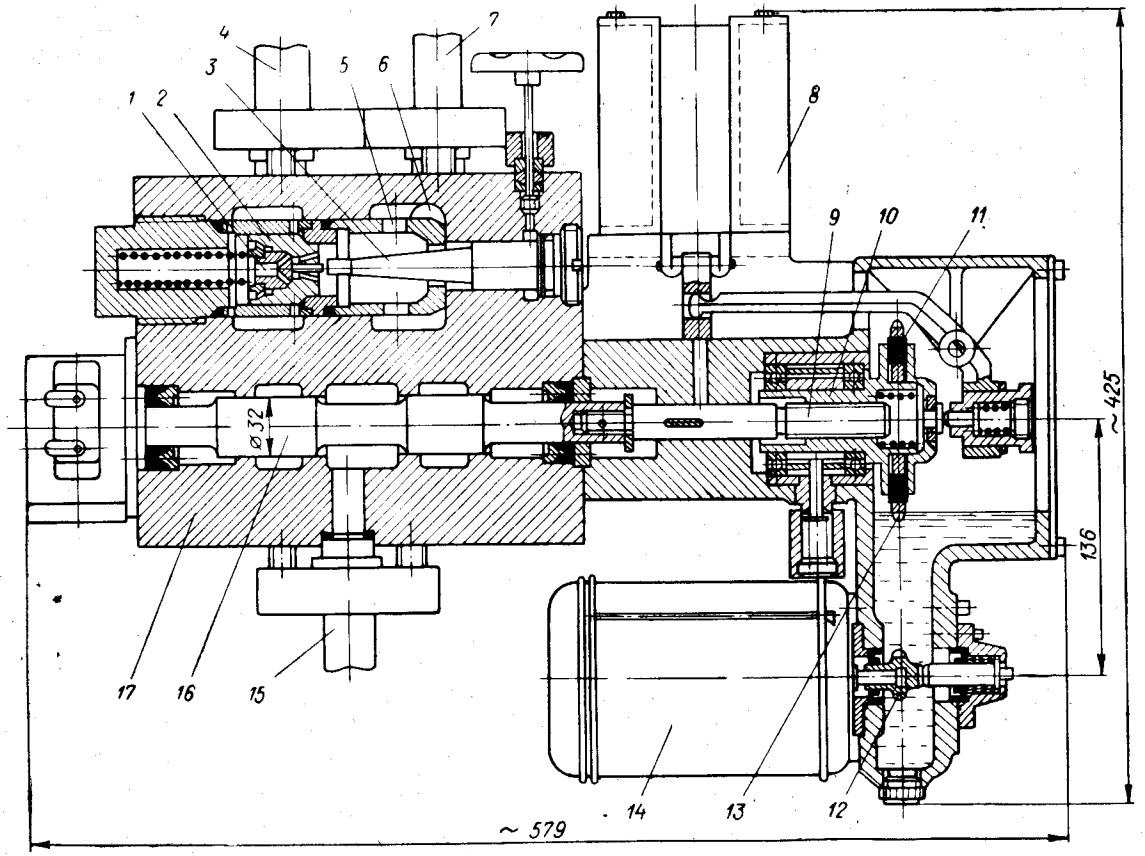


Рис. IV.30. Золотниковый дистрибутор универсального автоматизированного пресса:

1, *2* — клапаны; *3* — поршень; *4*, *7*, *15* — трубопроводы; *5*, *6* — каналы; *8* — электромагнит; *9* — винт; *10* — маточная гайка; *11* — фрикционная муфта; *12*, *13* — звездочки; *14* — электродвигатель; *16* — золотник; *17* — корпус.

допускаемое при работе поршневого насоса, равно 35 $Мн/м^2$, однако при эксплуатации пресса давление масла не превышает 32 $Мн/м^2$.

После окончательного замыкания прессформы и повышения рабочего давления масла до заданного значения золотник *16* устанавливается в нейтральное положение, а рабочая полость главного цилиндра отделяется от распределителя и насоса, который можно выключать во время выдержки под давлением. В гидросистему пресса включен также контактный манометр, обеспечивающий автоматическое управление одной или двумя подпрессовками.

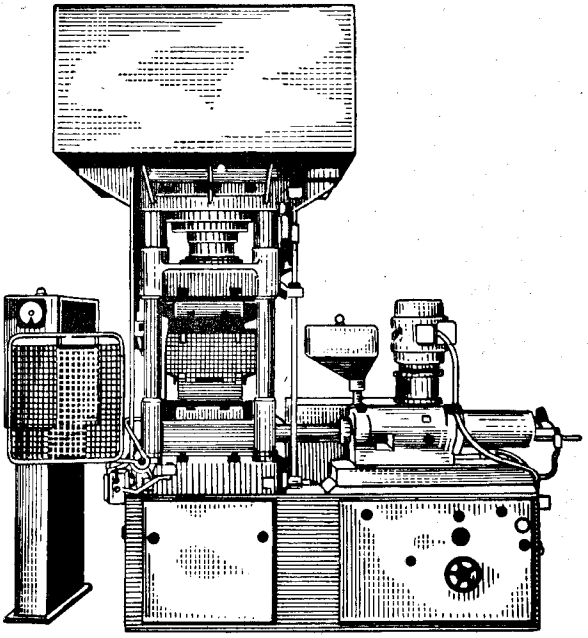


Рис. IV.31. Общий вид прессовой установки с червячным пластикатором для трансферного прессования.

Для разъема пресса золотник *16* перемещается влево. При этом под давлением масла поршень *3* перемещается влево, открывая разгрузочный *1* и основной *2* клапаны, а рабочая полость главного цилиндра соединяется со сливной линией через каналы *5* и *6*. Масло из напорной магистрали *15* насосов через трубопровод *4* заполняет штоковую полость главного цилиндра, поднимая подвижную плиту на необходимую высоту. После этого золотник *16* устанавливается в нейтральное положение и разъем пресса прекращается.

Аналогичным образом второй золотник управляет нижним цилиндром пресса.

Прессовая установка для трансферного прессования реактопластов, показанная на рис. IV.31, состоит из вертикального гидравлического пресса с индивидуальным приводом и горизонтального червячного пластикатора. Масляный бак гидропривода с электродвигателем, насосами высокого и низкого давления, распределительной гидравлической аппаратурой и клапанами для регулирования давления и скорости установлен в верхней части пресса. Пресс и пластикатор имеют одну общую станину. Гидравлические цилиндры для смыкания и запирания прессформы, а также ее разъема расположены в верхней части пресса, а в нижней — трансферное устройство, состоящее из гидравлического приводного цилиндра и материального цилиндра с инжекционным поршнем.

Порошкообразный или гранулированный термореактивный материал поступает из бункера в цилиндр пластикатора, где пластицируется червяком, вращающимся под действием фланцевого электродвигателя и специального редуктора. Подготовленная доза пластицированного материала нагнетается в обогреваемый материальный цилиндр трансферного устройства. После этого пластикатор перемещается вправо в исходное положение (при необходимости в этом положении из цилиндра пластикатора может быть удален червяк с целью очистки его и цилиндра).

Пластицированный реактопласт впрыскивается в замкнутую форму из материального цилиндра поршнем под действием гидравлического цилиндра трансферного устройства. Зона разъема прессформы закрыта предохранительной решеткой, которая имеет электрическую блокировку с гидравлическим приводом пресса.

§ 6. ПРЕССЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Полуавтоматические гидравлические прессы для двухэтажного прессования (рис. IV.32, *а*) весьма эффективны в эксплуатации. Такие прессы обычно создают на базе четырехколонного пресса, удлиняя колонны и устанавливая на колоннах промежуточную плиту между подвижной плитой и столом пресса. Нагревательные плиты *18* двух прессформ крепятся к столу *17*, промежуточной *19* и подвижной *21* плитам через термоизоляционные прокладки *20*. Одновременный разъем прессформ обеспечивается восемью спиральными пружинами, установленными на четырех колоннах выше и ниже промежуточной плиты. На таком прессе можно осуществлять двухэтажное прессование различных изделий в обычных стационарных прессформах.

Представляют также интерес прессы с универсальной оснасткой для одноэтажного и двухэтажного прессования. Универсальная оснастка позволяет при прессовании различных изделий изменять только оформляющие детали прессформы.

Габаритные размеры оснастки определяются следующими основными параметрами: усилием пресса, ассортиментом изделий и технологическими условиями прессования. При установке универсальной

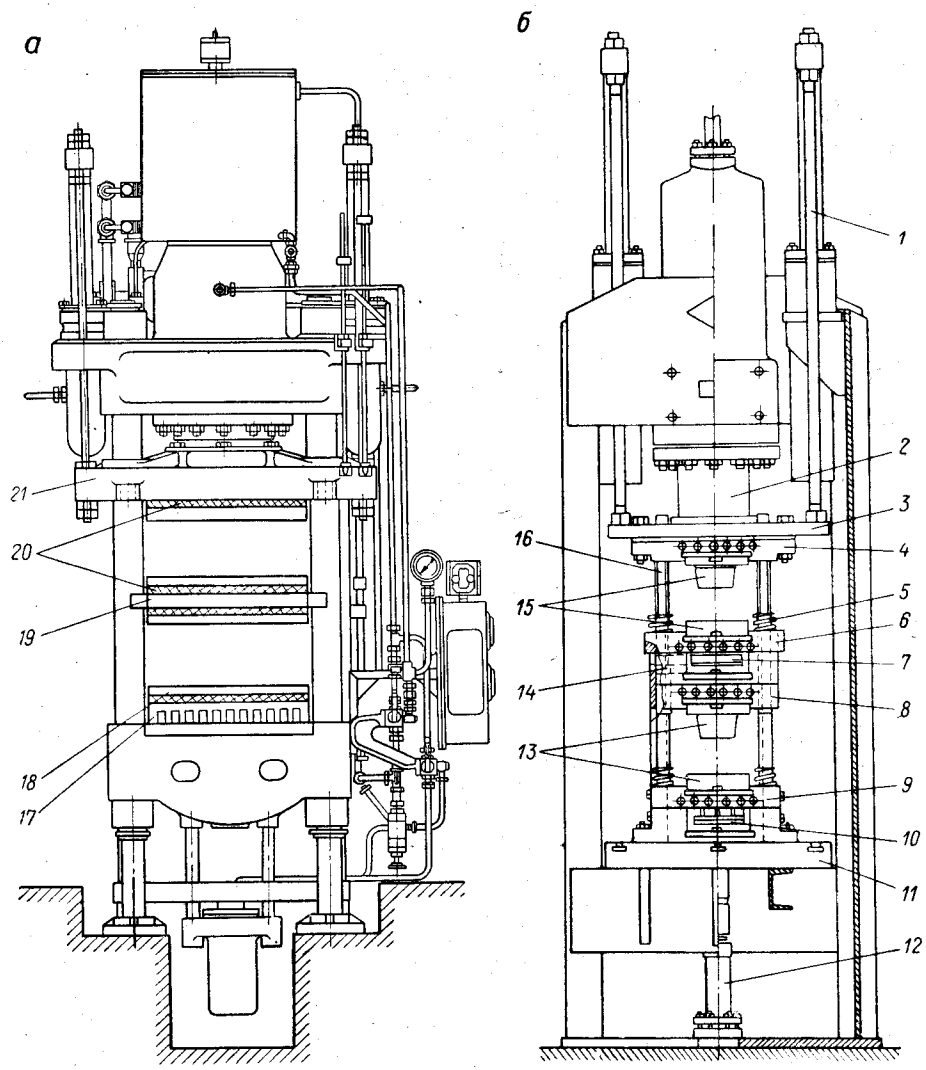


Рис. IV.32. Прессы для двухэтажного прессования:

а — с использованием обычных прессформ; *б* — с использованием двухэтажной прессовой оснастки;
1 — тяга; *2* — главный плунжер; *3* — траверса; *4*, *6*, *8*, *9*, *18* — нагревательные плиты; *5* — пружина; *7*, *10* — выталкивающие устройства; *11*, *17* — столы прессов; *12* — цилиндр; *13*, *15* — оформляющие части прессформы; *14*, *19* — промежуточные плиты; *16* — колонна; *20* — термоизоляционные прокладки; *21* — подвижная плита.

оснастки демонтируют подвижную плиту пресса, вследствие чего увеличивается рабочий просвет. Оснастку для двухэтажного прессования крепят к столу *11* (рис. IV.32, *б*), а также к главному плунжеру *2* и тягам *1* возвратных (ретурных) плунжеров (через траверсу *3*). Оснастка состоит из нагревательных плит *4*, *6*, *8* и *9* с пазами для установки оформляющих частей *13* и *15* прессформ, промежуточной плиты *14*, буферных пружин *5*, направляющих колонн *16*, подъемных тяг, а также выталкивающих устройств *7* и *10*. При подъеме главного плунжера пресса раскрывается второй этаж оснастки, а затем под действием тяг на необходимую высоту поднимается средняя обойма, раскрывая прессформу на первом этаже. После полного раскрытия формы на первом этаже заканчивается раскрытие формы на втором этаже. Изделие выталкивается из матрицы второго этажа под действием устройства *7*, а из матрицы первого этажа — под действием устройства *10* и гидравлического цилиндра *12*.

При внедрении универсальной оснастки производительность пресса увеличивается за счет двухэтажного прессования и сокращения простоев пресса при замене прессформ. Вследствие уменьшения веса прессформы сокращается время ее разогрева до рабочей температуры. В результате создания более благоприятных условий для теплоизоляции прессформ (универсальную оснастку в процессе эксплуатации не снимают с пресса) сокращается расход электроэнергии. Поскольку универсальная оснастка оборудована индивидуальной центрующей системой, обеспечивается работа пресса без перекосов и улучшается качество прессуемых изделий *.

Для прессования плит из слоистых пластиков обычно применяются многоэтажные прессы усилием от 10 до 50 *Мн*. Десятиэтажный пресс усилием 50 *Мн* показан на рис. IV.33, *а*. На прессе установлены три гидравлических цилиндра нижнего давления. Над столом пресса расположены 9 этажей плит. Максимальное давление рабочей жидкости 40 $Мн/м^2$. При этом на плитах размером 285 × × 130 *см* создается удельное давление прессования 13,5 $Мн/м^2$. Плиты этажного пресса обычно обогреваются перегретой водой или паром. Температура плит контролируется и регулируется при помощи термопар и соответствующих регистрирующих приборов. По окончании выдержки под давлением автоматически открывается клапан, соединяющий цилиндры пресса с линией слива в бак, и пресс раскрывается под действием веса подвижных частей и отпрессованных плит. Для удобства обслуживания пресс заглублен на 2,3 *м* от поверхности пола.

Загрузка прессуемых пакетов и разгрузка готовых плит на многоэтажных прессах обычно механизирована (рис. IV.33, *б*). По бокам пресса *4* установлены камеры-этажерки *3*, рольганги *1* и погрузочно-разгрузочные механизмы *2* и *5*. Одна из систем «рольганг —

---

* Приведенные положения следует принимать во внимание для компрессионного прессования, где использование универсальной оснастки (универсальных блоков) весьма эффективно.

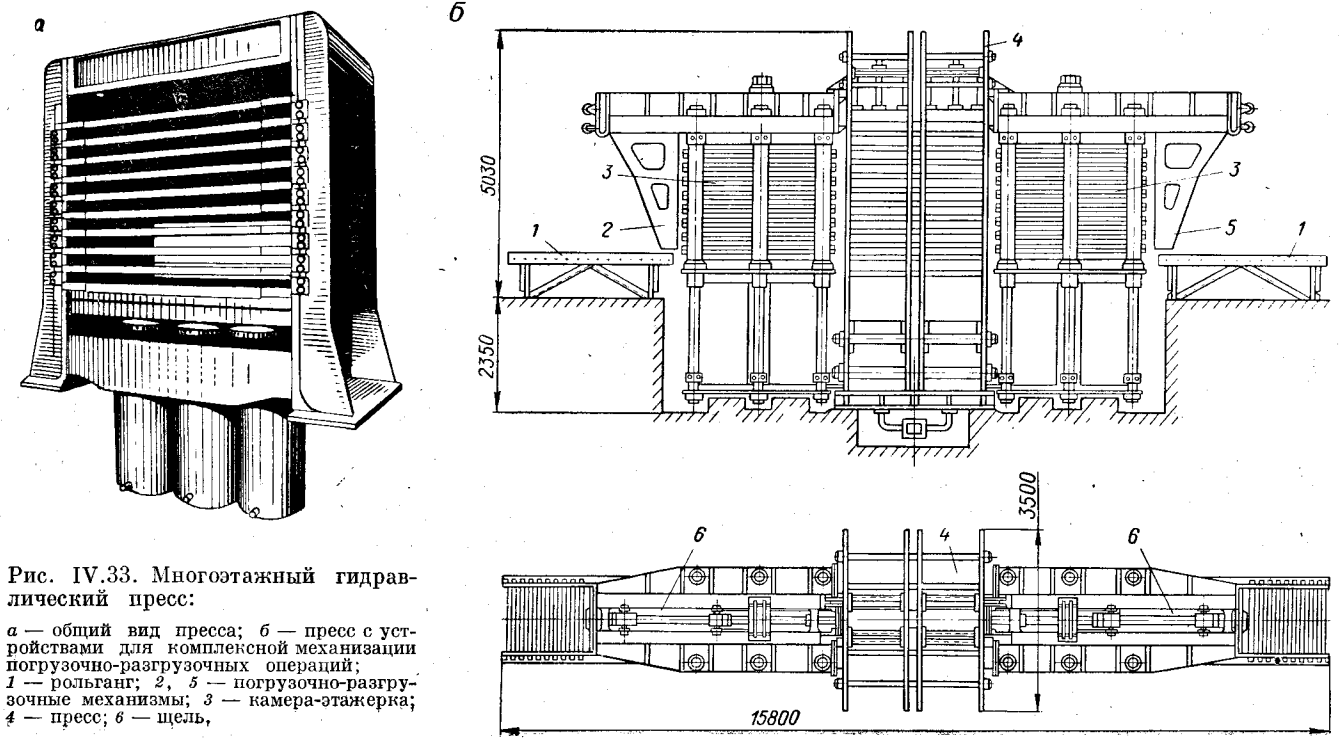


Рис. IV.33. Многоэтажный гидравлический пресс:

а — общий вид пресса; *б* — пресс с устройствами для комплексной механизации погрузочно-разгрузочных операций; *1* — рольганг; *2*, *5* — погрузочно-разгрузочные механизмы; *3* — камера-этажерка; *4* — пресс; *6* — щель.

погрузочно-разгрузочный механизм — камера-этажерка» предназначена для загрузки пресса, а другая — для разгрузки. Одновременно на прессе могут загружаться пакеты общим весом 10 *кн*. Камера-этажерка имеет такое же количество этажей, как и пресс. Подъем камеры-этажерки осуществляется гидравлическими цилиндрами, опускание — под действием собственного веса. Для обеспечения подвода механизмов *2* и *5* к прессу на камерах-этажерках оформлена щель *6*.

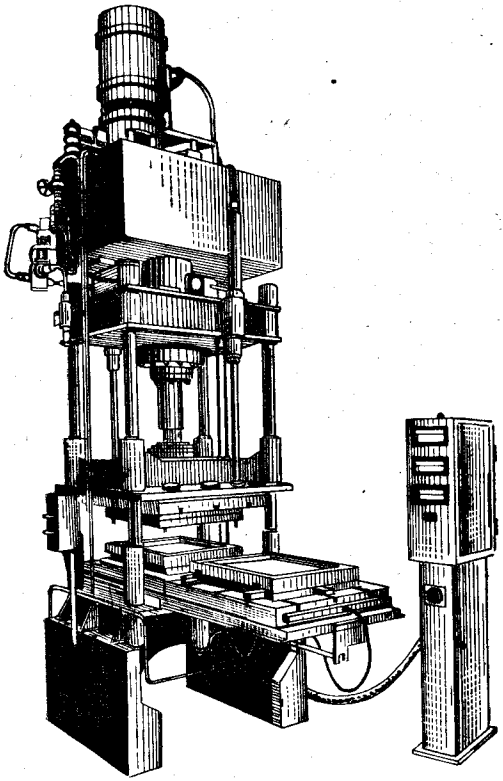


Рис. IV.34. Пресс с механизированным столом для формования изделий из стеклопластиков под низким давлением.

После того как пакет установлен на правом рольганге *1*, механизм *5* с помощью электромагнитного замка, соединяемого с отверстием транспортного листа, перемещает пакет на первый этаж камеры-этажерки *3*, которая затем опускается на высоту одного этажа. Аналогично загружаются остальные этажи камеры, после чего камера-этажерка устанавливается в верхнем положении, в котором ее этажи находятся на одинаковой высоте с этажами пресса. Затем механизм *2* перегружает все пакеты одновременно из этажерки на пресс.

После окончания прессования и раскрытия пресса готовые плиты вытягиваются из этажей пресса механизмом *2*. Разгрузка готовых плит из камеры-этажерки на левый рольганг осуществляется поэтажно, аналогично загрузке, но в противоположном порядке. На прессе и разгрузочных механизмах предусмотрены полуавтоматическое управление и блокировочные устройства, предохраняющие обслуживающий персонал и механизм от неправильных включений.

Для прессования крупногабаритных изделий из стеклопластиков под низким давлением выпускаются специальные типы гидравлических прессов. Такие прессы имеют облегченную рамную или колонную конструкцию и отличаются большой площадью стола и подвижной плиты при сравнительно небольших усилиях прессова-

ния и обычно оснащены индивидуальным гидравлическим приводом.

Гидравлический пресс с механизированным столом для формования изделий из стеклопластиков под низким давлением показан на рис. IV.34. На столе пресса установлены две плиты для нижних полуформ, которые могут перемещаться по направляющим, поочередно занимая рабочую позицию. Это создает большие удобства для безопасной загрузки и разгрузки прессформы. Пресс обслуживается одним оператором с двух сторон. Насосно-распределительный агрегат для индивидуального привода расположен в верхней части пресса, что уменьшает занимаемую прессом площадь.

* * *

Для обеспечения техники безопасности при обслуживании прессов последние заземляются и оснащаются защитными решетками и блокировочными устройствами. Прессформы должны иметь теплоизоляцию торцовых и боковых поверхностей. Особое внимание необходимо уделять надежности и исправности ограждения и изоляции мест подвода электрического питания и нагревателям прессформ.

Прессовые цехи оснащаются системой общей приточной вентиляции и местными отсосами вытяжной вентиляции, расположенными у каждого пресса.

§ 7. АВТОМАТИЧЕСКИЕ ПРЕССЫ И ЛИНИИ

Технологические предпосылки автоматизации

Работам по автоматизации процесса прессования должна предшествовать большая технологическая подготовка, которая заключается: в определении оптимальных режимов подпрессовок; в проверке возможности и целесообразности применения автоматического выталкивания прессуемых изделий, аварийного раскрытия пресса (вместо аварийной остановки), двухкнопочной электроблокировочной системы и аналогичных систем, обеспечивающих безопасность работы прессовщика; в оценке эффективности и надежности работы системы принудительного опускания главного плунжера под низким давлением (стадия предварительного смыкания пресса), целесообразности специального режима управления прессом при установке или демонтаже прессформ и наладке пресса и т. д.

Современные технические требования, которые определяют основные направления работ по автоматизации управления прессами и созданию полуавтоматических и автоматических прессов заключаются в следующем.

1. При полуавтоматическом или автоматизированном управлении прессом автоматическое выполнение операций цикла прессования должно быть непрерывным в пределах оптимально выбранного перечня операций.

Анализ процесса прессования (см. рис. IV.6 и IV.24) показывает, что, учитывая индивидуальные особенности загрузки прессформы материалом в зависимости от ее конструкции и прессуемых изделий, а также свойств перерабатываемого материала, целесообразно автоматизировать операции прессования, начиная с предварительного смыкания пресса под низким давлением. Последней автоматической операцией может быть разъем прессформы, подъем или опускание выталкивателя, а при отсутствии выталкивающей системы в прессформе — остановка подвижной плиты в исходном верхнем положении. Если управление одной из промежуточных операций (например, замедление смыкания прессформы, подпрессовки, разъем пресса) будет осуществляться вручную, преимущества автоматизации управления прессом теряются, так как исключается или затрудняется обслуживание одним прессовщиком нескольких прессов, подготовка материала для очередной загрузки в форму в межоперационное время, качественный контроль отпрессованных изделий, вносится элемент случайности в технологический цикл прессования и создается опасность травмирования рук прессовщика при управлении прессом.

2. Должна быть полностью исключена возможность нарушения рабочим технологического режима процесса с целью произвольного сокращения цикла прессования. Если это положение на производстве игнорируется, то несмотря на наличие устройств для полуавтоматического управления прессом применяется ручное кнопочное управление, что приводит к ухудшению качества отпрессованных изделий.

3. В целях экономии электроэнергии и предохранения пресса и прессформы от поломок должна быть исключена возможность перевода предварительного смыкания пресса с низкого на высокое давление.

4. Для обеспечения безопасных условий работы прессовщика и предохранения прессформы от поломок необходимо предусмотреть возможность аварийного подъема подвижной плиты пресса из любого положения, кроме исходного верхнего, устранить возможность произвольного опускания подвижной плиты пресса, обеспечить надежную блокировку подвижной плиты и выталкивателя пресса.

5. С целью повышения универсальности автоматизированного управления необходимо предусмотреть возможность осуществления следующих режимов прессования: с подпрессовками и без подпрессовок, с автоматическим управлением выталкивателем и без него, с замедлением скорости опускания подвижной плиты пресса и без замедления, а также применение специального режима для установки прессформ и наладки пресса наряду с автоматизированным режимом. Режим подпрессовок должен предусматривать возможность подпрессовок «до смыкания», подпрессовок «после смыкания» (с регулируемой паузой перед началом подпрессовок) и универсальных подпрессовок (с регулируемой паузой между подпрессовками). Количество и высота подпрессовок должны автономно регулироваться в широких пределах.

6. Для обеспечения безопасной работы прессовщиков и наладчиков должна быть предусмотрена надежная сигнализация о работе пресса, установки для управления прессом и прессформы (следует отметить, что требования техники безопасности крайне ограничивают возможности совмещения по времени отдельных операций на полуавтоматических прессах при их автоматизированном управлении).

В настоящее время рассмотренные технологические предпосылки положены в основу автоматизированного управления прессами с групповым и индивидуальным гидравлическим приводом, а также в основу конструктивных схем одно-, двух- и трехоперационных прессов-автоматов.

На заводах по переработке пластмасс применяются в основном полуавтоматические прессы. Установленные на таких прессах многогнездные прессформы оснащаются, как правило, устройствами для одновременной загрузки таблеток во все гнезда формы. Кроме того, при работе на полуавтоматических прессах применяется предварительный нагрев материала в генераторах токов высокой частоты до повышенных температур, что трудно осуществить при полностью автоматизированной работе пресса. Поэтому современный пресс-автомат может оказаться менее производительным, чем полуавтоматический пресс, работающий с применением перечисленных выше последних достижений технологии прессования. Сейчас ведутся значительные работы по созданию новых и модернизации выпускаемых прессов-автоматов. При этом используются возможности, заложенные в комплексной автоматизации процесса прессования изделий.

К таким возможностям относятся: совмещение отдельных операций цикла прессования по времени и увеличение скорости вспомогательных движений узлов пресса, применение гранулированных быстро отверждающихся материалов и их предварительного нагрева, создание устройств для загрузки таблеток в многогнездные формы, уменьшение брака изделий и исключение случаев произвольного нарушения технологического режима прессования. Основным является направление создания специализированных прессов-автоматов для формования тонкостенных изделий, а также трудоемких изделий с резьбой и металлической арматурой.

Однако основной выигрыш от внедрения прессов-автоматов достигается за счет повышения производительности труда прессовщика, а не оборудования. Для этой цели в цехе необходимо устанавливать группы прессов-автоматов с тем, чтобы один прессовщик-оператор мог одновременно обслуживать до 10 прессов. Применение же одиночных прессов-автоматов технически нецелесообразно и экономически невыгодно.

Прессы-автоматы и прессовые линии

В зависимости от количества выполняемых технологических операций прессы-автоматы могут быть одно- и многооперационными. По виду привода прессы делят на гидравлические, механические

и комбинированные. Различают прессы-автоматы, перерабатывающие порошкообразный (гранулированный) и таблетированный материалы. Классификация по технологическим признакам: прессы-автоматы для компрессионного и трансферного прессования, универсальные прессы. Особую группу составляют роторные (револьверные и ротационные) прессы, прессы-автоматы специального назначения — для прессования и свинчивания резьбовых изделий, для формования изделий из эпоксидных компаундов и т. д., многорядные прессы, автоматические прессовые линии с выносными прессформами, автоматические роторные линии.

Усилие прессования автоматических прессов обычно составляет 50—6000 *кн*. Большинство прессов-автоматов имеет рамную конструкцию, вертикальное исполнение и гидравлический индивидуальный привод.

Устойчивая работа прессов-автоматов зависит от качества прессовочных материалов и прессформ, а также от уровня технологического контроля процесса прессования. Для прессов-автоматов применяют в основном гранулированный материал со стабильным гранулометрическим составом и высокой скоростью отверждения. Во многих случаях применяется материал с заданным ситовым составом. Например, при предварительном нагреве токами высокой частоты требуются более крупные гранулы материала, чем при прессовании изделий без предварительного нагрева.

Производительность автоматического пресса $Q_{а.\,п}$ (в *кг/ч*) определяют по формуле:

$$Q_{а.\,п} = \frac{[60 G_{изд} x_{изд} \eta_{м.\,в}}{t} \qquad \text{(IV.38)}$$

где $G_{изд}$ — масса одного изделия, *кг*; $x_{изд}$ — количество изделий в одной запрессовке; $\eta_{м.\,в} = 0{,}8 \div 0{,}9$ — коэффициент использования машинного времени пресса; t — продолжительность прессования, *мин*. Величина t определяется по формуле (IV.3).

К прессформам, установленным на прессы-автоматы, предъявляются следующие требования: при разъеме формы изделие должно оставаться в той ее части, из которой оно выталкивается; заусенцы должны полностью удаляться из прессформы вместе с изделиями; при нижнем выталкивании длина выталкивающих шпилек должна обеспечить прохождение съемной вилки между вытолкнутыми изделиями и матрицей; вытолкнутые изделия не должны произвольно сваливаться с выталкивающих шпилек; в процессе прессования должна быть исключена адгезия изделия к оформляющим поверхностям формы.

Для загрузки порошкообразного и гранулированного материала в прессформу обычно применяют устройства шиберного или шлангового типа. Устройство шиберного типа имеет загрузочные гнезда прямоугольного или круглого сечения, объем которых можно регулировать. В первом случае (рис. IV.35, *а*) объем гнезда регулируют перемещением одной из стенок гнезда. Такое устройство позволяет

загружать различные дозы материала в гнезда матрицы для одновременного прессования различных изделий или деталей (вследствие того, что объем каждого гнезда загрузочной плиты можно регулировать автономно). Более широкое применение получили устройства с цилиндрическими или коническими гнездами (рис. IV.35, *б*). В этом случае одновременно регулируется объем всех гнезд, вследствие чего формуемые в различных гнездах изделия должны иметь одинаковый вес.

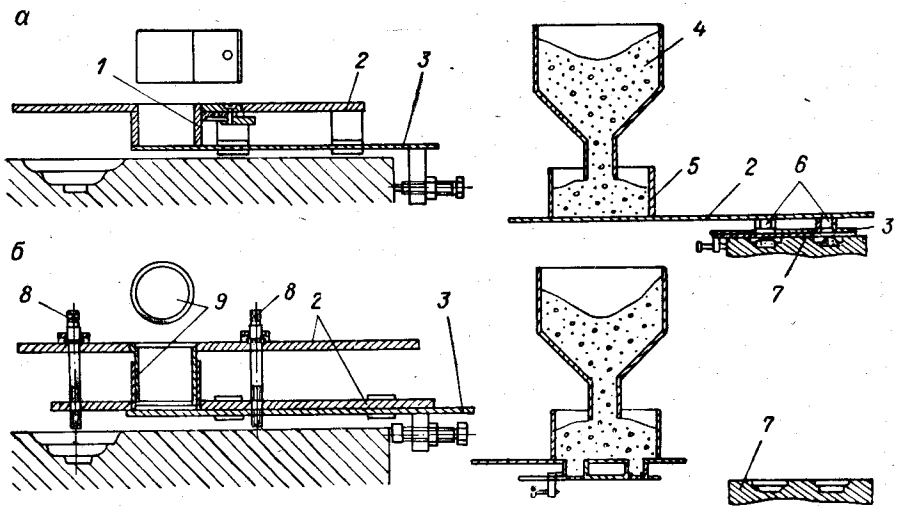


Рис. IV.35. Устройства для дозировки порошкообразных материалов на прессе-автомате:

а — с прямоугольными гнездами; *б* — с круглыми гнездами;
1 — задняя стенка; *2* — шиберная плита; *3* — заслонка; *4* — бункер; *5* — питатель; *6* — гнезда; *7* — прессформа; *8* — винты; *9* — цилиндр.

Прессуемый материал загружают в бункер *4* и питатель *5*. Бункер и питатель разделены; в последнем поддерживается постоянный уровень материала, что способствует равномерной загрузке его в гнезда *6* шиберной плиты *2*. В позиции загрузки материала из питателя гнезда *6* закрыты снизу шиберной заслонкой *3*. Когда шиберная плита перемещается вправо, гнезда *6* открываются снизу и материал высыпается в оформляющие гнезда прессформы *7*. Регулировка объема гнезда осуществляется перемещением задней стенки *1* (в прямоугольных гнездах) либо перемещением внутреннего цилиндра *9* или конуса в наружном цилиндре при помощи винтов *8* (в круглых гнездах).

Устройство шлангового типа для загрузки гранулированного материала состоит из объемного дозатора, шлангов для загрузки материала в гнезда прессформы и механизма для перемещения шлангов, обычно связанного с подвижной плитой пресса. При подъеме

подвижной плиты пресса поворачивается соединенный с плитой рычаг, который вводит в зону разъема прессформы загрузочные концы гибких шлангов.

Одновременно из дозатора материал поступает в шланги, из которых попадает в гнезда прессформы. Шланги удаляются из зоны разъема прессформы при опускании подвижной плиты.

При автоматическом прессовании лучше применять прессматериал в таблетированном виде. Это обеспечивает более точную весовую дозировку и меньше загрязняет гнезда прессформы. Для загрузки цилиндрических таблеток применяют питатели дискового, вибрационного или шиберного типа. Шарообразные таблетки диаметром до 25 *мм* загружают в бункер пресса подобно гранулированному материалу. Однако устройство для перемещения таблеток из бункера в гнезда прессформы значительно сложнее, чем при загрузке нетаблетированного материала.

В прессах-автоматах наиболее распространено нижнее выталкивание изделий из гнезд матрицы, поскольку большинство отпрессованных изделий после разъема прессформы остаются в нижней части формы. Для выталкивания изделий используется нижний гидравлический цилиндр пресса или связанная с подвижной плитой пресса система механического выталкивания. Однако в тех случаях, когда отпрессованные изделия плохо снимаются с пуансона, применяют подпружиненные упоры *4* (рис. IV.36, *а*). При прессовании нижние торцы упоров расположены заподлицо с горизонтальной формующей плоскостью пуансона. При разъеме прессформы под действием главного плунжера *8* и подвижной плиты *6* пуансон *3* поднимается, а упоры удерживают отпрессованное изделие *2* в матрице *1*, перемещаясь вместе с траверсой *5* относительно подвижной плиты *6* под действием пружин *7*.

В результате дальнейшего подъема подвижной плиты вместе с пуансоном *3* поднимаются и упоры, освобождая изделие *2*, которое выталкивается шпильками *11* (рис. IV.36, *б*) из гнезда *10* матрицы под действием плунжеров *13* гидравлических цилиндров. Плунжеры соединены с выталкивающими шпильками *11* через траверсу *12*. Затем в зазор между матрицей и вытолкнутым изделием вводится вилка *9*, которая имеет прорези для шпилек *11*.

После опускания шпилек с выталкивающей системой изделие остается на вилке, с которой сбрасывается струей воздуха или под действием собственного веса, если левая часть вилки прикреплена к остальной части шарнирно. Обычно правую часть вилки крепят к устройству для загрузки в гнезда матрицы порошкообразного или таблетированного материала. В этом случае одновременно со сбрасыванием в тару ранее отпрессованных изделий в матрицу загружается очередная доза прессуемого материала.

При верхнем сталкивании изделий *1* (рис. IV.37) с пуансонов *2* в зону разъема прессформы вводится лоток *4*. Выталкивающие шпильки *3* подают изделия на лоток *4*. После этого он удаляется, а изделия сбрасываются с лотка механическим съемником.

Поскольку некоторые изделия могут произвольно падать с выталкивающих шпилек, лоток устанавливается над матрицей в начале разъема прессформы, после чего в зону ее разъема вводится вилка, снимающая оставшиеся изделия с верхних выталкивателей. Если изделия не прилипают к выталкивающим шпилькам и надежно сталкиваются на лоток, можно обойтись без съемной вилки. В некоторых

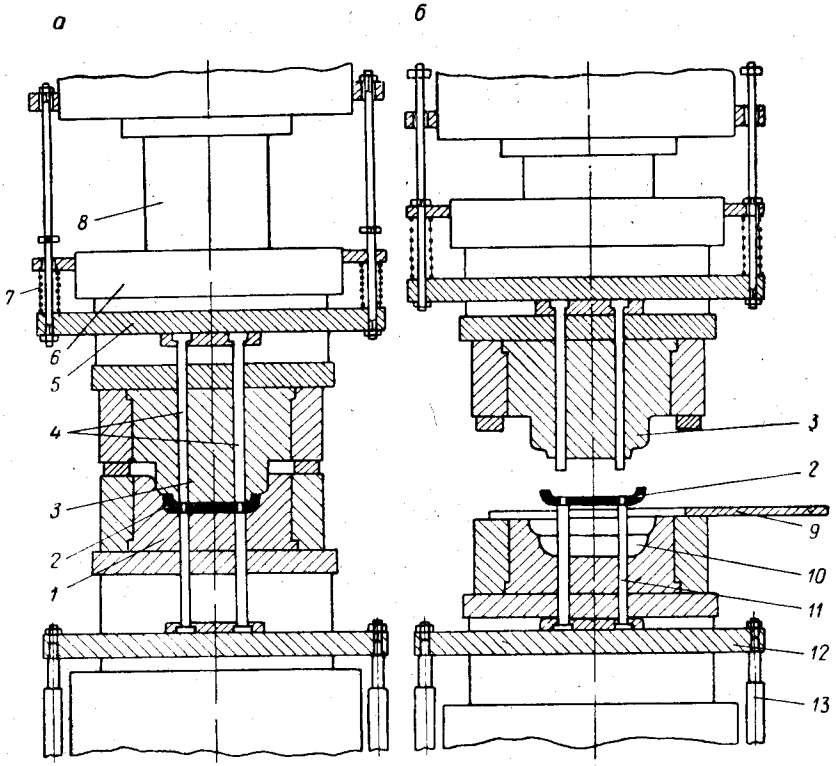


Рис. IV.36. Прессформа с нижним выталкиванием отпрессованных изделий:

а — в сомкнутом положении; *б* — в разомкнутом положении;
1 — матрица; *2* — изделие; *3* — пуансон; *4* — упоры; *5*, *12* — траверсы; *6* — подвижная плита; *7* — пружина; *8* — главный плунжер; *9* — вилка; *10* — оформляющее гнездо матрицы; *11* — выталкивающая шпилька; *13* — плунжер.

случаях к верхней части лотка прикрепляют пластинчатые съемники, которые сбрасывают на лоток оставшиеся на выталкивающих шпильках изделия (при возвратном ходе лотка в исходное положение).

Наиболее надежными и эффективными являются одно- и двухоперационные прессы-автоматы, работающие на гранулированном или таблетированном материале с высокой скоростью отверждения, а также прессы-автоматы для прессования массовых серий изделий с резьбой или тонкостенных изделий без резьбы. Наибольшее распространение получили одноопераційные прессы-автоматы

с индивидуальным приводом, предназначенные для питания гранулированным или порошкообразным материалом и оснащенные вилкой-съемником для удаления отпрессованных изделий из прессформы. Технические характеристики некоторых распространенных прессов-автоматов приведены в табл. IV.6.

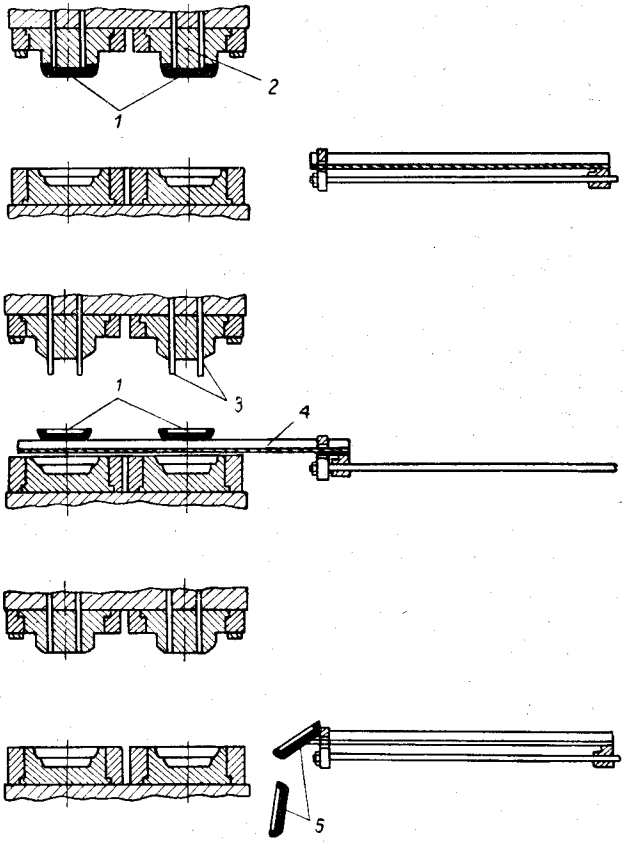


Рис. IV.37. Схема устройства для верхнего сталкивания и съема отпрессованных изделий:

1 — изделия; *2* — пуансон; *3* — выталкивающие шпильки; *4* — лоток; *5* — удаленные из формы изделия.

Одноопераційный пресс-автомат с загрузочным устройством шиберного типа для порошкообразного материала показан на рис. IV.38. Загруженный в бункер *10* материал дозируется устройством *9* и через желоба засыпается в гнезда *8* шиберного устройства *7*. Шиберное устройство перемещается в зону разъема прессформы, загружая материал в гнезда. В передней части устройства установлены автоматически действующие сопла *6* для сжатого воздуха. Напра-

Таблица IV.6

Технические характеристики универсальных прессов-автоматов и автоматических прессов для компрессионного прессования

Параметры	Фирма и тип пресса							
	«Daniels» (Англия)					«Triulzi» (Италия)		
	W-1	W-2	W-4	W-6	W-7	60T	150T	300T
Усилие, *кн*:								
пресса	600	1000	2000	3000	5000	600	1500	3000
трансферного цилиндра	160	360	600	920	920	—	—	—
выталкивателя	80	80	80	160	160	80	300	600
Ход главного плунжера, *см*	36	41	51	61	76	50	60	70
Расстояние между плитами, *см*	57	66	86	107	137	75	90	105
Размер плит, *см*	41×41	51×51	66×66	76×76	91×91	45×50	55×66	75×80
Ход трансферного или выталкивающего плунжера, *см*	15	20	20	20	20	10	30	35
Габаритные размеры пресса, *м*	1,1×2×3	1,3× ×2,2× ×3,5	1,5× ×2,3× ×4	1,7× ×2,4× ×4,5	2× ×2,5× ×5,3	1,1× ×2,1× ×2,8	1,7× ×2,3× ×4	2× ×2,5× ×5,9
Вес пресса, *кн*	19	28	50	64	115	30	60	125

вленные струи сжатого воздуха обеспечивают очистку оформляющих деталей пуансона и матрицы прессформы.

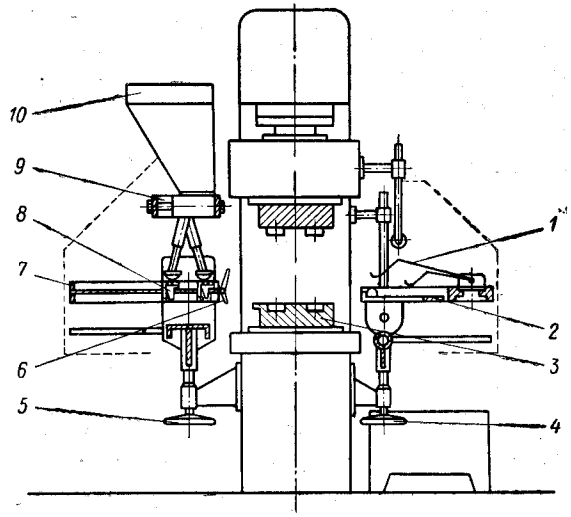


Рис. IV.38. Схема однооперационного пресса-автомата для порошкообразного или гранулированного материала:

1 — контролирующее устройство; *2* — съемная вилка; *3* — матрица; *4*, *5* — винтовые регуляторы; *6* — сопло; *7* — шиберное устройство; *8* — гнезда; *9* — дозирующее устройство; *10* — бункер.

На передней стороне пресса расположены съемная вилка *2* для удаления отпрессованных и вытолкнутых изделий из прессформы, а также устройство *1* для контроля операций съема изделий с пуансона или извлечения из матрицы и удаления изделий из зоны разъема прессформы. Отличительной особенностью пресса является наличие устройств с винтовыми регуляторами *4* и *5*, обеспечивающими регулировку положения по высоте загрузочных и разгрузочных механизмов в зависимости от высоты матрицы *3* прессформы.

Двухоперационный пресс-автомат представлен на рис. IV.39. Пресс обеспечивает нагрев таблетированного материала токами высокой частоты и прессование из него изделий. Таблетки *3* из питателя *2* загружаются на площадку передатчика *4*, откуда с помощью устройства *5* по мере надобности подаются в камеру *1* высокочастотного нагрева.

Нагретые до необходимой температуры таблетки загружаются подвижной плитой *7* в гнезда матрицы *10*. При этом шарнирно закрепленная вилка *9* снимает с матрицы ранее отпрессованные вытолкнутые изделия *11* и сбрасывает их в тару. Перемещающиеся

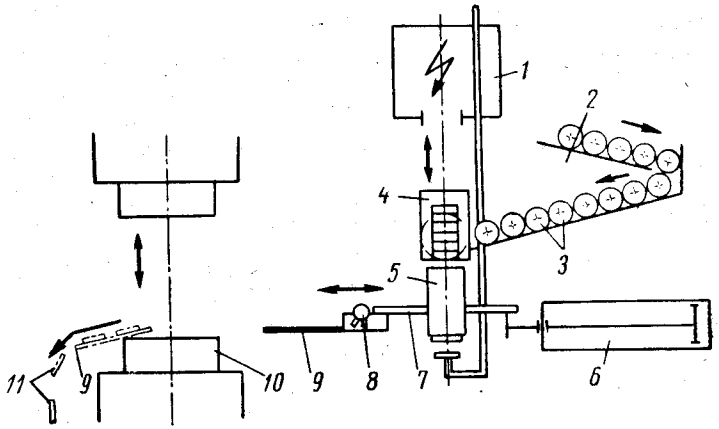


Рис. IV.39. Схема двухоперационного пресса-автомата для таблетированного материала:

1 — камера нагрева; *2* — питатель; *3* — таблетки; *4* — передатчик; *5* — подающее устройство; *6* — пневмоцилиндр; *7* — подвижная плита; *8* — сопло; *9* — вилка; *10* — матрица; *11* — изделия.

вместе с загрузочной плитой и съемной вилкой сопла *8* очищают прессформу сжатым воздухом. Привод съемно-загрузочного устройства осуществляется гидравлическим или пневматическим цилиндром *6*.

Другой двухоперационный пресс-автомат (рис. IV.40) создан на базе четырехколонного полуавтоматического пресса с групповым приводом. На прессе смонтированы новый электрический пульт для автоматического управления и механическая оснастка, обеспечивающая таблетирование материала и его загрузку в гнезда прессформы. Шестиклапанный электроуправляемый дистрибутор, применяемый для полуавтоматического управления прессом, использован лишь с незначительными изменениями.

В бункер *7* пресса загружается порошкообразный материал, откуда он поступает в камеру таблетирующего устройства *6*. При подъеме подвижной плиты *4* пресса включается пневматический клапан, подающий сжатый воздух в цилиндр таблетирующего устрой-

ства. Вследствие этого загрузочная плита устройства *6* перемещается вправо и сталкивает в лоток *12* ранее оформленную таблетку *10*. Камера с порошкообразным материалом устанавливается над гнездами таблетирующей формы, расположенной в промежуточной плите *11*. На лотке *12* имеется кулачок *13*, по которому перемещается ролик, закрепленный на подвижной плите пресса. Вследствие этого при размыкании пресса лоток перемещается в зону разъема прессформы *2—3* и происходит загрузка таблетированного материала в гнезда.

Автоматический цикл работы пресса начинается с опрокидывания чаши *1* автоматических весов. После этого опускаются главный плунжер *8* и траверса *9*, благодаря чему пуансоны таблетирующего устройства движутся вниз и гнезда таблетирующей формы заполняются порошкообразным материалом. При дальнейшем опускании главного плунжера и траверсы загрузочная плита перемещается влево в среднее положение вследствие движения ролика по копиру *5*.

По окончании отверждения изделий главный плунжер пресса и связанные с ним детали поднимаются. Отпрессованные изделия выталкиваются из гнезд матрицы *2* гидравлическим выталкивателем *15* и сбрасываются на чашу *1* автоматических весов струей сжатого воздуха из сопла *14* (или механическим съемником). Во время подъема главного плунжера пресса загрузочная плита перемещается в крайнее левое положение, выключается сжатый воздух, опускается выталкиватель, перемещается в крайнее правое положение загрузочная плита и сталкиваются в лоток ранее отформованные таблетки, прессформа загружается очередной порцией

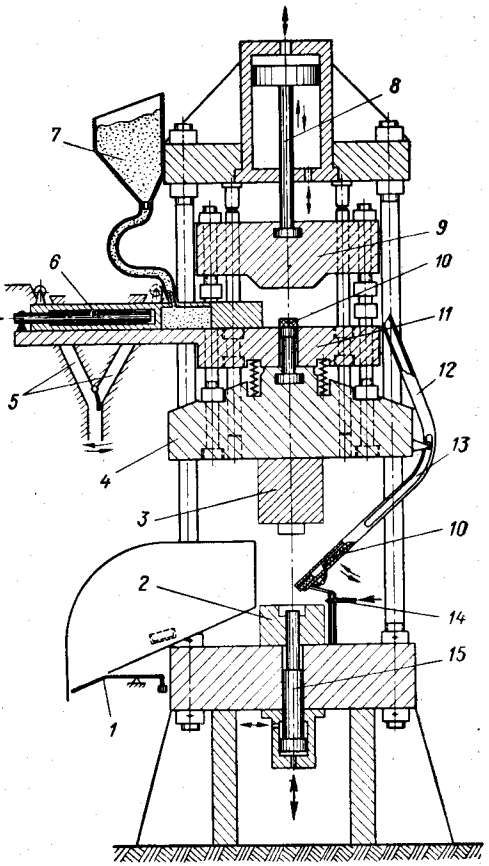


Рис. IV.40. Двухоперационный пресс-автомат:

1 — чаша весов; *2* — матрица; *3* — пуансон; *4* — подвижная плита; *5* — копир; *6* — таблетирующее устройство; *7* — бункер; *8* — главный плунжер; *9* — траверса; *10* — таблетки; *11* — промежуточная плита; *12* — лоток; *13* — кулачок; *14* — сопло; *15* — выталкиватель.

таблеток, а весы срабатывают под действием веса отпрессованных изделий.

Предварительный подогрев материала осуществляется в форме таблетирующего устройства и в лотке загрузочного устройства при помощи индукционных нагревателей или электрических элементов сопротивления. Пресс-автомат позволяет устанавливать прессформы с количеством гнезд от 1 до 4.

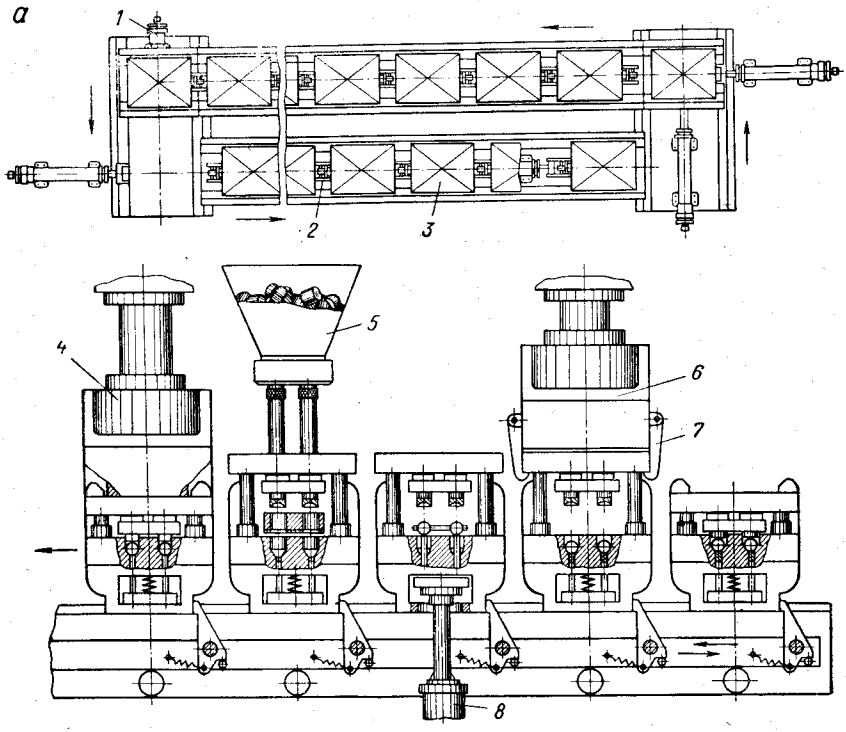
Более высокая степень комплексной автоматизации процесса прессования достигается применением трехоперационных прессов-автоматов, выполняющих следующие варианты технологических операций: 1) таблетирование, предварительный нагрев материала и прессование изделий; 2) предварительный нагрев (или таблетирование) материала, прессование и механическую обработку отпрессованных изделий; 3) таблетирование материала, прессование и свинчивание отпрессованных резьбовых изделий и т. д.

В тех случаях, когда необходимо прессовать толстостенные изделия (с толщиной стенок $\geqslant 10$ *мм*) обычные гидравлические прессы используются нерационально. Несмотря на предварительный нагрев прессматериалов токами высокой частоты, выдержку под давлением обычно не удается сократить ниже 20 *сек* на 1 *мм* толщины изделия. При прессовании изделий из волокнита, текстолита, АГ-4В выдержка должна быть значительно выше.

Для более рационального использования прессового оборудования при прессовании однотипных толстостенных изделий предназначена автоматическая прессовая линия с выносными прессформами. Линия состоит из питателя *5* (рис. IV.41, *а*) для загрузки таблетированного материала в прессформу, пресса *4* для смыкания и запирания прессформы, шагового конвейера *2* для перемещения сомкнутых прессформ *3*, пресса *6* для раскрытия прессформы и гидравлического цилиндра *8* для выталкивания отпрессованных изделий из прессформы.

Цикл начинается с загрузки в прессформу предварительно нагретых таблеток из питателя *5*. Затем шаговый конвейер перемещает раскрытую прессформу под пресс *4*, который смыкает ее, сжимая пакеты тарельчатых пружин *10* (рис. IV.41, *б*). При этом захваты *12* автоматически запирают прессформу (правая часть рисунка). В дальнейшем прессформа циклически перемещается шаговым конвейером с установленным темпом. В конце первой линии прессформа под действием толкателя *1* перемещается на вторую линию шагового конвейера, которая снова транспортирует прессформу к началу первой линии. В процессе транспортировки изделия отверждаются в нагретой прессформе.

Прессформа раскрывается под прессом *6*. При этом главный плунжер пресса вначале сжимает тарельчатые пружины прессформы, вследствие чего высвобождаются ее захваты. Затем механизм прижима поворачивает захваты, воздействуя на их нижние рычаги. Пуансон прессформы поднимается рычагами *7* подвижной плиты пресса при движении вверх последней. После освобождения пуансона



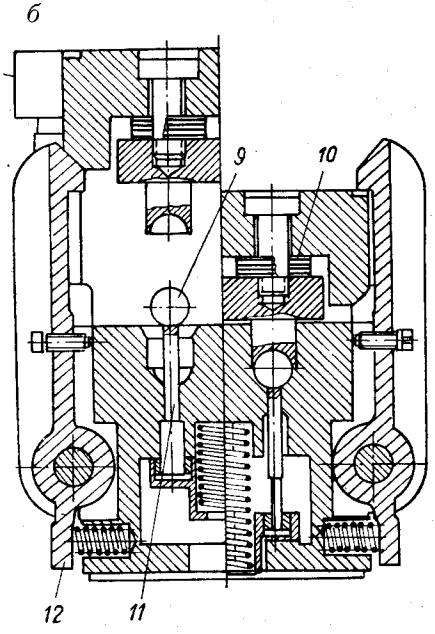


Рис. IV.41. Прессовая линия с выносными прессформами:

а — схема установки; *б* — схема выносной прессформы;
1 — толкатель; *2* — шаговый конвейер; *3* — прессформа; *4*, *6* — прессы; *5* — питатель; *7* — рычаги; *8* — гидравлический цилиндр; *9* — изделие; *10* — тарельчатые пружины; *11* — шпилька выталкивателя; *12* — захваты.

рычагами *7* прессформа остается в раскрытом состоянии. Раскрытая форма перемещается конвейером к выталкивающему устройству, на котором готовые изделия *9* выталкиваются шпильками *11* под действием гидравлического цилиндра *8* и удаляются из прессформы специальным съемником.

Особенно точно на прессовой линии должны быть решены вопросы автоматического контроля температуры и подпрессовок. Учитывая высокую стоимость прессформ, целесообразно применять универсальные блоки со сменными оформляющими гнездами.

В связи с широким внедрением в промышленность ускоренных циклов прессования области применения такой линии весьма ограничены. Автоматическую линию с выносными прессформами целесообразно использовать при прессовании крупных серий толстостенных изделий простой формы из материалов с небольшой скоростью отверждения.

Прессование резьбовых изделий в кассетных прессформах (т. е. в формах со съемными резьбовыми пуансонами) очень трудоемко. Для механизации операции свинчивания и автоматизации процесса прессования резьбовых изделий применяются свинчивающие устройства, механизированные прессформы, а также автоматические прессы. Например, для прессования резьбовых изделий из аминопласта и фенопласта одинакового или различных цветов предназначены четырехрядные прессы-автоматы, которые состоят из четырех сблокированных прессов, смонтированных на общей раме (рис. IV.42). Пресс-автомат имеет один общий привод от электродвигателя мощностью 0,64 *квт* и общий пульт управления *2*. Однако прессы загружаются порошкообразным материалом из индивидуальных бункеров *1*. Отпрессованные изделия накапливаются в приемниках *5*. Для уменьшения теплопотерь пресс закрыт термоизоляционным кожухом.

Материал из бункеров *1* загружается в матрицы, установленные на штоках *12*. Под действием электродвигателя кулачки *7*, которые перемещают плиту *8*, вращаются, сжимая комплекты тарельчатых пружин *10* и замыкая прессформы. При необходимости в подпрессовках кулачки совершают дополнительные обратное и прямое движения. После отверждения изделий в прессформах они сталкиваются с пуансонов прессформы при помощи системы *15* и по желобам *11* попадают в приемники *5*.

Резьбовые изделия свинчиваются с оформляющих знаков пуансонов резиновыми дисками *14*, которые при вращении прижимаются к отпрессованным изделиям специальным устройством. Вращение на резиновые диски передается от электродвигателя через цепную *4* и конические *6* передачи, а также шпиндели *9*. Во время выдержки электродвигатель останавливается и необходимое усилие прессования поддерживается тарельчатыми пружинами. Для автоматического контроля цикла прессования и температуры прессования на пульте управления *2* установлены реле времени *3*, а на прессформах — терморегуляторы *13*.

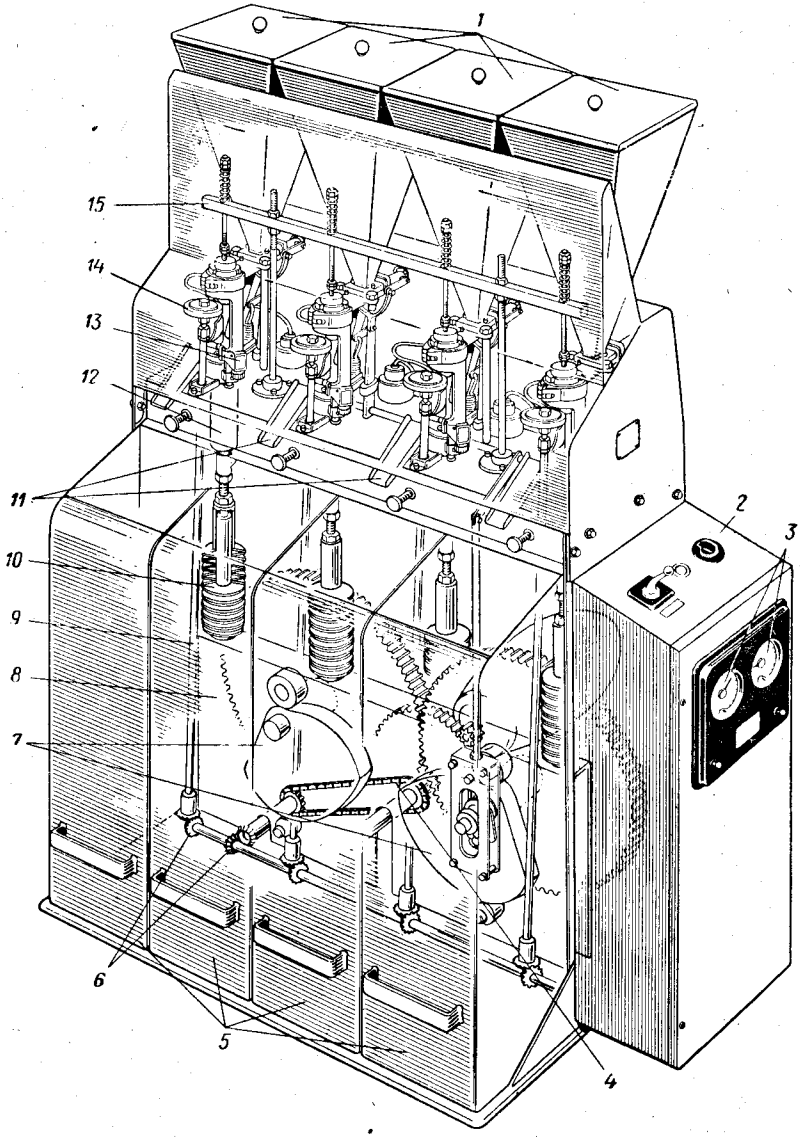


Рис. IV.42. Четырехрядный пресс-автомат для производства резьбовых изделий:

1 — бункеры; *2* — пульт управления; *3* — реле времени; *4* — цепная передача; *5* — приемники изделий; *6* — конические передачи; *7* — кулачки; *8* — плита; *9* — шпиндель; *10* — тарельчатая пружина; *11* — желоба; *12* — шток; *13* — терморегулятор; *14* — резиновый диск; *15* — выталкивающая система.

Роторные прессы и линии

При прессовании изделий из реактопластов на автоматических прессах бóльшая часть времени цикла затрачивается на последовательные возвратно-поступательные движения рабочих и вспомогательных органов пресса (главного плунжера и выталкивателя пресса, устройств для загрузки материала в прессформу, удаления из нее отпрессованных изделий и ее очистки, устройства для свинчивания резьбовых изделий, предохранительных и контрольных механизмов и т. д.). В связи с внедрением глубокого предварительного нагрева материала токами высокой частоты, позволившего резко сократить длительность отверждения изделий, время вспомогательных операций повысилось до 50% продолжительности цикла прессования.

Для повышения производительности прессов обычно увеличивают гнездность прессформ и совмещают вспомогательные операции по времени. Однако при увеличении гнездности прессформ значительно возрастают трудности автоматического прессования, связанные с загрузкой материала в многогнездную форму, разбросом размеров гнезд прессформы (при ее изготовлении и в процессе эксплуатации), необходимостью работы на повышенном удельном давлении прессования и применением более точного дозирования материала в гнезда, а также дозировки материала по наибольшему гнезду, сложностью операций контроля и очистки прессформы. Эти трудности еще более усиливаются при прессовании в многогнездной форме изделий из предварительно нагретого таблетированного материала с запрессованной арматурой.

На роторных прессах обычно используются одногнездные прессформы для изделий простой конфигурации. В отдельных случаях для изделий типа резьбовых крышек (для флаконов) гнездность прессформ повышают до 3—5. При использовании одногнездных и малогнездных форм снижается удельное давление прессования, создается более равномерное температурное поле в прессформе, облегчаются ее нагрев и контроль температуры, улучшается внешний вид изделий и повышается точность их размеров, сокращается расход прессматериала, уменьшается трудоемкость изготовления прессформ и увеличивается срок их службы. Благодаря пониженному удельному давлению прессования и точному контролю усилия прессования, равномерному температурному полю прессформы и точной загрузке материала сокращается длительность отверждения изделия, особенно при прессовании толстостенных изделий, и обеспечивается более равномерное отверждение по толщине изделий.

На роторных прессах-автоматах прессформы находятся в открытом состоянии (с целью загрузки материала и извлечения отпрессованных изделий) в 3—4 позициях. Таким образом, на 20-гнездном роторном прессе коэффициент использования оборудования для отверждения изделий составляет 80—85%, а на 10-гнездном прессе — только 60—70%. Кроме того, облегчается загрузка гнезд материалом,

эффективно используется усилие пресса, упрощается извлечение и удаление из прессформы изделий без резьбы и с резьбой, а также очистка оформляющих гнезд в прессформах, облегчается возможность автоматической установки металлической арматуры в гнезда прессформы и снижается расход электроэнергии на привод пресса.

Загрузка материала и арматуры в гнезда прессформы, а также извлечение изделий из формы и их свинчивание с резьбовых знаков облегчается тем, что на роторных прессах открытые прессформы последовательно проходят через определенные позиции, в которых установлены необходимые загрузочно-разгрузочные механизмы. Производительность 20-гнездного роторного пресса при прессовании резьбовых изделий в одногнездных прессформах достигает 3000 изделий в 1 *ч*.

Обычно роторные прессы-автоматы предназначаются для компрессионного прессования и загружаются порошкообразным или таблетированным материалом без предварительного нагрева. Однако выпускаются также роторные прессы, на которых предусмотрен нагрев материала токами высокой частоты, и 10-гнездные прессы для трансферного прессования предварительно смешанных со стекловолокном полиэфирных компаундов.

Роторные прессы разделяются на револьверные (с периодическим поворотом ротора на определенный угол) и ротационные (с непрерывным вращением ротора). Схема действия револьверного пресса-автомата, выпускаемого фирмой «Tavannes» (Швейцария), дана на рис. IV.43, *а*. Вследствие периодического вращения ротора прессформы последовательно перемещаются в позиции *I*—*X*. Материал загружают в бункер *1*, из которого он попадает в дозировочную зону между пуансонами *2* и *4*. Под действием привода пуансоны перемещаются влево, при этом заключенная между пуансонами доза материала высыпается в лоток *5* и загружается в прессформу *6*. При наличии двух-, трех- или пятигнездной прессформы соответственно увеличивается количество пар пуансонов таблетирующего устройства и количество загрузочных лотков.

Для облегчения свинчивания с резьбовых знаков *9* на изделиях *10* оформлены продольные рифы. В позиции *IX* прессформа размыкается, и в позиции *X* в зону разъема прессформы вводится поворотный рычаг *7* свинчивающего устройства, который затем поднимается таким образом, что продольные рифы изделия заходят в соответствующие каналы свинчивающего патрона *8*. В результате вращения патрона изделие свинчивается, после чего рычаг *7* опускается и поворачивается в исходное положение, сбрасывая изделие в приемную тару. В позиции *I* следующая порция материала загружается в гнездо прессформы, а в позиции *II* прессформа замыкается. Коэффициент использования пресса для непосредственного прессования составляет 65%.

Схема действия ротационного пресса, выпускаемого заводом «TOS Rakovnik» (ЧССР) для прессования изделий с резьбой и без резьбы приведена на рис. IV.43, *б*. Пресс оснащен 15 комплектами

формующего инструмента. Ротор с формами вращается непрерывно, при этом формы последовательно проходят через позиции загрузки и замыкания, прессования, разъема, сталкивания отпрессованных изделий. В позиции *I* матрица *11* загружается таблеткой *12*, после чего прессформа замыкается (позиция *II*).

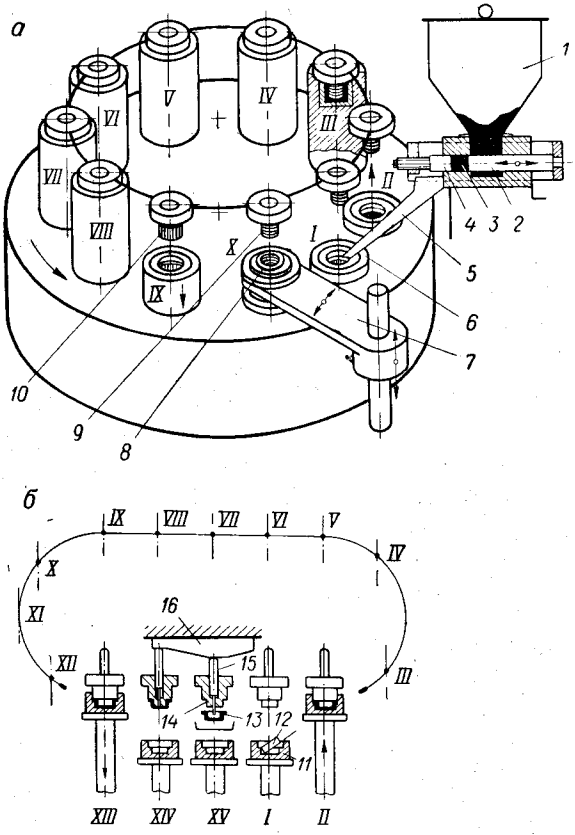


Рис. IV.43. Схемы действия роторных прессов-автоматов:

а — револьверный пресс с питанием порошкообразным материалом; *б* — ротационный пресс с питанием таблетированным материалом;
1 — бункер; *2*, *4*, *14* — пуансоны; *3* — доза материала; *5* — лоток; *6* — прессформа; *7* — поворотный рачаг; *8* — свинчивающий патрон; *9* — резьбовой знак; *10*, *13* — изделия; *11* — матрица; *12* — таблетка; *15* — толкатель; *16* — кулачок; *I* — *XV* — позиции формования изделий.

В позициях *II-XIII* происходит отверждение изделий в обогреваемых закрытых формах. В позициях *XIV* и *XV* прессформа размыкается, а отпрессованное изделие *13* сталкивается с пуансона *14* толкателем *15* под действием кулачка *16*. Пресс-автомат с 15 гнездами более эффективен, чем 10-гнездный, поскольку при сохранении количества вспомогательных позиций для обслуживания прессформ

на прессе с большим числом форм увеличивается количество позиций, используемых для непосредственного прессования изделий (коэффициент использования 15-гнездного пресса составляет 77—80%).

Общий вид роторного пресса-автомата дан на рис. IV.44. На роторе установлены 10 прессформ *2*. Усилие пресса, передаваемое гидравлическими цилиндрами *1* на каждую прессформу, составляет 150 *кн*. Пресс предназначен для изготовления изделий с резьбой и без резьбы в одногнездных прессформах из порошкообразного материала (загружаемого в бункер *3*) без предварительного нагрева. На прессе можно получать изделия диаметром до 75 и высотой до 40 *мм*. Отпрессованные изделия направляются по лотку *4* в приемную тару.

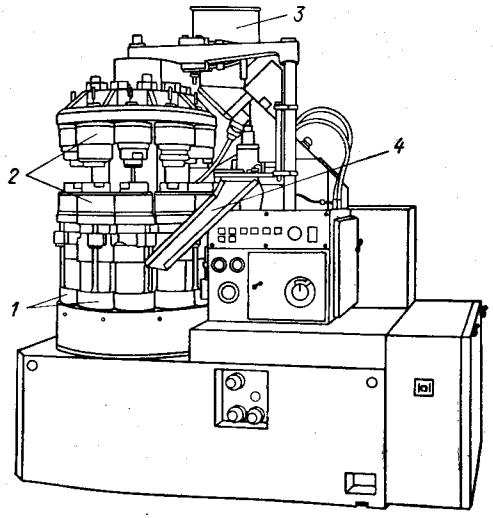


Рис. IV.44. Общий вид десятипозиционного роторного пресс-автомата с усилием 150 *кн* в каждой позиции:

1 — гидравлические цилиндры; *2* — прессформы; *3* — бункер; *4* — лоток.

Принцип роторного прессования может быть применен не только при вращающемся, но и при неподвижном роторе. В этом случае вращаются устройства для загрузки материала в прессформы и для съема отпрессованных изделий (включая свинчивание резьбовых изделий), а также вспомогательные устройства с кулачками управления прессом. Эта схема эффективна, в частности, в случае применения гидравлических цилиндров для создания усилия прессования. Поскольку роторы с гидравлическими цилиндрами, гидравлическими распределительными клапанами, а также прессформами неподвижны, значительно упрощаются подача рабочей жидкости к гидравлическим цилиндрам и электропитания к прессформам, а также автоматический контроль их температуры.

Соединение таблеточных машин, генераторов токов высокой частоты, прессов и станков для механической обработки изделий в единую автоматическую линию затруднено из-за различной производительности отдельных видов оборудования. Выравнивание производительности путем разделения потока изделий вызывает значительное усложнение и повышение стоимости транспортных средств. Применение прессов с одногнездными или малогнездными прессформами малоэффективно, а при использовании многогнездных форм возникают большие трудности, связанные с автоматической загрузкой и разгрузкой прессформы и ее разногнездностью. Колебания веса

таблеток, изготовляемых на таблеточной машине, еще больше усложняют проблему создания единой прессовой линии.

На роторных прессах-автоматах успешно решены вопросы автоматической загрузки прессформы материалом, ее разгрузки, а также свинчивания резьбовых изделий. Однако и на роторных прессах проблема комплексной автоматизации всех технологических операций, применяемых при производстве прессованных изделий, не решена эффективно. Она может быть практически разрешена путем

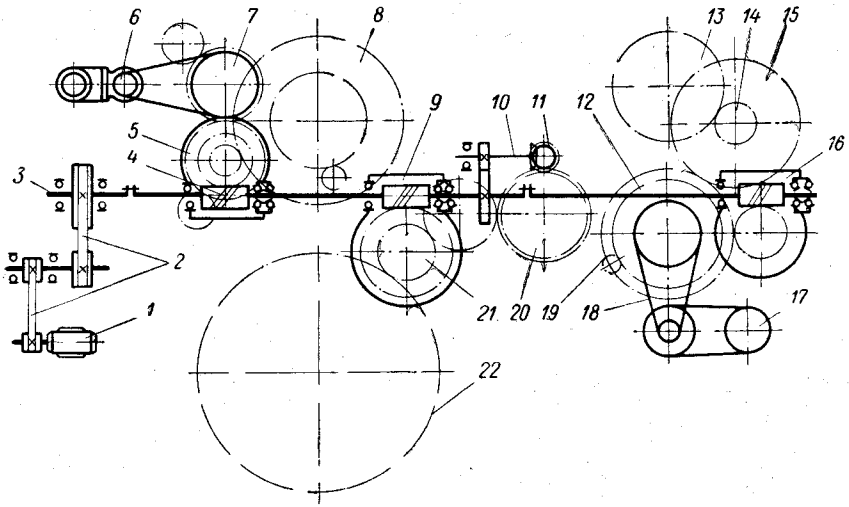


Рис. IV.45. Кинематическая схема автоматической роторной линии для прессования изделий:

1, *6*, *17* — электродвигатели; *2*, *18* — ременные передачи; *3*, *10* — валы; *4*, *9*, *11*, *16* — редукторы; *5*, *7*, *8*, *12*, *15*, *20*, *22* — роторы; *13*, *14*, *21* — зубчатые колеса; *19* — сателлит.

применения автоматических роторных линий, состоящих из нескольких технологических и транспортных роторов с жесткой кинематической связью. Технологическими называются роторы, на которых выполняются операции дозирования и таблетирования материала, его предварительного нагрева, прессования и механической обработки изделий. Роторные линии предназначены в основном для массового производства изделий из реактопластов без арматуры. Технические характеристики некоторых отечественных и зарубежных роторных прессов и роторных линий приведены в табл. IV.7.

Кинематическая схема отечественной роторной линии приведена на рис. IV.45. Крутящий момент передается на трансмиссионный вал *3* электродвигателем *1* через ременные передачи *2*. К трансмиссионному валу подключены червячные редукторы *4*, *9* и *16* с передаточными отношениями 36; 60 и 36 соответственно. Редуктор *4* вращает ротор *5* таблетирования, от которого вращение передается через зубчатые колеса на ротор *7* дозирования и ротор *8* нагрева

Таблица IV.7

Технические характеристики роторных прессов-автоматов и автоматических роторных линий

Параметры	Тип пресса или линии				
	Tavannes-C50/10	Tavannes-C150/10	TOS Rakovnik-CBAR-16	ЛПИ-65-30/7	ВНИИТ-электромаш
Усилие прессования, *кн*	50	150	160	70	50
Количество позиций в роторе прессования	10	10	15	32	—
Производительность, *шт/ч*	300—900 и 900—4500 *	120—600	900—1800	1800—3000	1350—2700
Размер прессуемых изделий, *мм*	∅ (15÷38)	∅75×40	∅80×40	∅65×30	∅35×15
Количество гнезд в пресс-форме	1—5	1	1	1	1
Продолжительность формования одного изделия, *сек*	4—12	6—30	2—12	1,2—2	1,3—2,6
Общая продолжительность цикла, *сек*	40—120	60—300	30—180	38—64	—
Продолжительность отверждения изделий, *сек*	28—84	45—237	24—144	26—48	—
Мощность электрических нагревателей, *квт*:					
пуансонов	1,5	4	5	11	Общая мощность электрооборудования 50 *квт*, количество электродвигателей 5
матриц	2,2	4	5	11	
Мощность электродвигателя насоса, *квт*	4	4,3	5,5	15	
Мощность электродвигателя вращения ротора, *квт*	0,5	1	1,5	2,8	
Габаритные размеры пресса, *м*	1,6×1,1×1,9	1,7×2,8×2,7	2,6×2,4×2,5	3,45×2,05×2,5	3,68×2,65×3,0
Вес пресса, *кн*	17	64	—	90	103

* При прессовании тонкостенных изделий в одногнездных и пятигнездных пресс-формах.

таблеток. Скорости вращения роторов дозирования и таблетирования одинаковы, а ротора нагрева таблеток — в 6 раз меньше.

От редуктора *9* крутящий момент передается через зубчатое колесо *21* на ротор *22* прессования и транспортный ротор *20*. На валу ротора *20* свободно установлен кулачок для перемещения инструмента при съеме изделия с пуансона и транспортировке изделия к ротору *12* механической обработки. Кулачок имеет привод от вала *3* через вал *10* и редуктор *11* и вращается в противоположном ротору *20* направлении. Редуктор *16* вращает ротор *12* механической обработки, от которого крутящий момент передается транспортному ротору *15*. Количество гнезд у каждого ротора дозирования и таблетирования равно 4, у ротора нагрева — 24, у ротора прессования — 32, у ротора механической обработки — 12. На транспортных роторах установлены соответственно 8 и 12 захватов для изделий.

Электродвигатель *17* мощностью 1 *квт* через ременную передачу *18* вращает центральное колесо дифференциала и 12 сателлитов *19*, связанных с инструментом для механической обработки отпрессованных изделий. Электродвигатель *6* мощностью 0,6 *квт* вращает вибратор дозирующего ротора *7*. Роторная линия оснащена также электродвигателями мощностью 2,8; 10 и 4,5 *квт* для привода гидравлических насосов, обслуживающих роторы таблетирования и прессования, а также аккумулятор, и электродвигателем мощностью 0,4 *квт* для привода вентилятора, охлаждающего генератор токов высокой частоты. Мощность генератора токов высокой частоты составляет 15 *квт*, суммарная мощность электронагревателей пресс-форм равна 17 *квт*.

Роторная линия состоит из пяти технологических роторов и двух транспортных роторов. Порошкообразный материал поочередно загружается из бункера в четыре гнезда ротора, объем которых можно индивидуально регулировать. Диск ротора не только вращается, но и вибрирует, вследствие чего точность дозирования повышается.

Отмеренные дозы материала поступают в гнезда ротора таблетирования, который представляет собой четырехгнездную ротационную таблетмашину с усилием таблетирования 70—100 *кн*. Ротор позволяет изготовлять цилиндрические таблетки диаметром 30—35 *мм* различной толщины. Холостой ход верхних таблетирующих пуансонов и выталкивание таблеток нижними пуансонами происходит в результате воздействия на них профильных кулачков.

Полное усилие таблетирования создается под действием гидравлических цилиндров, в которые нагнетается масло через плоский золотниковый распределитель. На роторе можно одновременно изготовлять четыре разных таблетки, так как предусмотрена возможность индивидуальной регулировки объема каждого из четырех гнезд.

Таблетки передаются непосредственно на 24-гнездный ротор предварительного нагрева материала (рис. IV.46, *а*), который состоит из приводной шестерни *1*, вала *2*, вращающегося диска *3* и неподвижной пластины *6*, соединенной с верхним кронштейном *8* при помощи изоляторов *7*. Диск ротора и пластина являются конденсаторами колебательного контура генератора токов высокой частоты. На диске установлены площадки *4* для нагреваемых таблеток *5*. При нагреве таблеток различной толщины устанавливают соответствующие площадки, обеспечивающие одинаковый зазор между таблетками и верхней пластиной.

Для нагрева таблеток применяется генератор токов высокой частоты с колебательной мощностью 6,3 *квт* и частотой колебаний 40,68 *Мгц*. Генератор обеспечивает нагрев 0,25 *кг* материала до температуры 110—120° С в течение 12—15 *сек*. Для защиты обслуживающего персонала от облучения токами высокой частоты ротор нагрева закрыт алюминиевым кожухом *9*.

Для прессования изделий применяется 32-гнездный ротор (рис. IV.46, *б*). Он опирается на три подшипника *18* и вращается

вокруг оси *13* шестерней *19*. Плиты *16* и *11* ротора соединены при помощи колонн *23*. На плите *11* установлены 32 гидравлических цилиндра *12*, которые обеспечивают смыкание и размыкание прессформ. Внутри формодержателей *14* установлены индивидуальные электрические нагреватели *15*. Распределение масла давлением до 15 $Мн/м^2$ между гидравлическими цилиндрами осуществляется при помощи

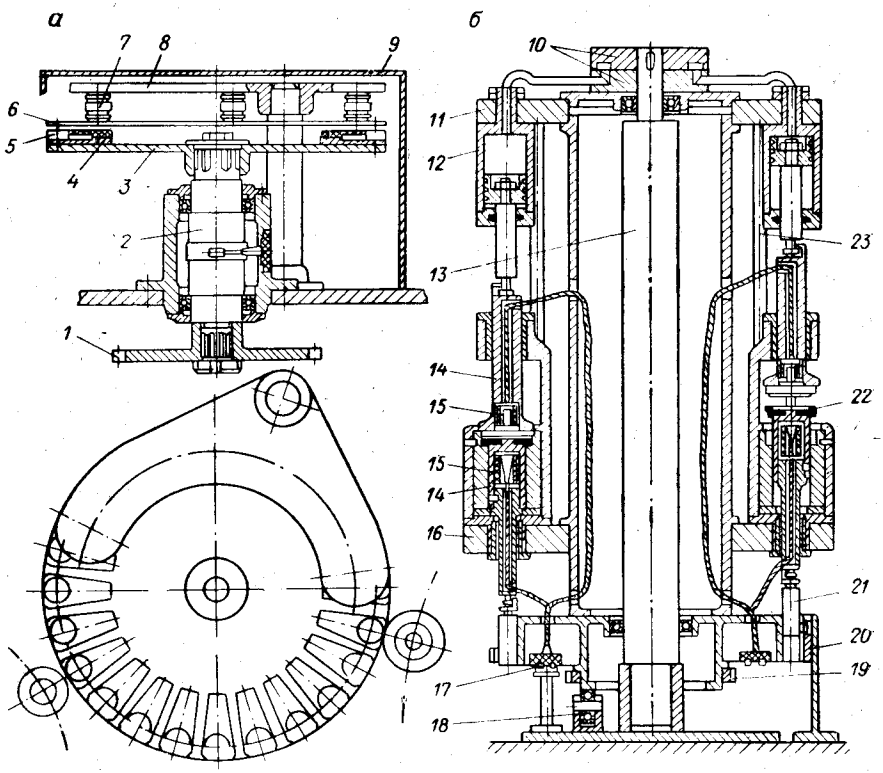


Рис. IV.46. Роторы автоматической роторной линии:

а — для предварительного нагрева материала токами высокой частоты; *б* — для прессования; *1*, *19* — шестерни; *2* — вал; *3* — диск; *4* — площадка; *5* — таблетка; *6* — пластина; *7* — изолятор; *8* — кронштейн; *9* — кожух; *10* — золотниковый распределитель; *11*, *16* — плиты; *12* — гидравлический цилиндр; *13* — ось; *14* — формодержатель; *15* — нагреватель; *17* — коллектор; *18* — подшипник; *20* — кулачок; *21* — ползун; *22* — изделие; *23* — колонна.

плоского золотникового распределителя *10*. Отпрессованное изделие *22* выталкивается нижним формодержателем вследствие подъема ползуна *21* профильным кулачком *20*. Электрическое питание к нагревателям прессформы подводится через плоский коллектор *17* кольцевого типа. После съема отпрессованного изделия прессформа очищается нагретым сжатым воздухом. Матрицы и пуансоны оснащены теплоизоляцией из асбестоцемента.

На роторной линии предусмотрено автономное автоматическое регулирование температуры каждой матрицы и каждого пуансона прессформы. Температура измеряется с помощью термопар. Измеряемый ток передается через кольцевой коллектор и токосъемник из бериллиевой бронзы на электронный усилитель и электронный потенциометр. В зависимости от результатов измерения подается сигнал на одно из электромеханических запоминающих устройств,

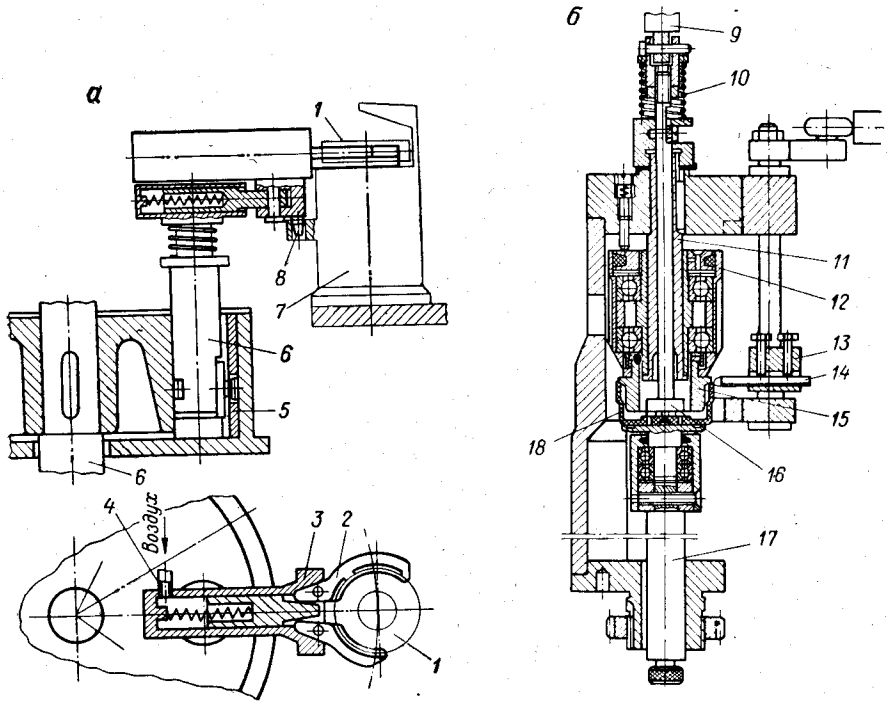


Рис. IV.47. Роторы автоматической роторной линии:

а — для межроторной транспортировки отпрессованных изделий; *б* — для механической обработки изделий;
1, *18* — изделия; *2* — клещи; *3* — цилиндр; *4* — штуцер; *5*, *9* — кулачки; *6* — стойка; *7* — блок прессования; *8* — фиксатор; *10* — пружина; *11* — шпиндель; *12* — оправка; *13* — суппорт; *14* — резец; *15* — головка; *16* — фреза; *17* — шток.

которые через систему выключателей могут включить или выключить обогрев.

После разъема прессформы изделие *1*, остающееся на пуансоне блока прессования *7*, зажимается клещами *2* транспортного ротора (рис. IV.47, *а*) и снимается с пуансона шпильками неподвижного верхнего выталкивателя (вследствие подъема пуансона). Для зажима клещей используется сжатый воздух давлением 0,2—0,4 $Мн/м^2$, нагнетаемый в цилиндр *3* через штуцер *4*. Для ориентации клещей относительно изделия применяются фиксаторы.

Во время зажима и съема изделий клещи сопровождают блок прессования, так как кроме вращательного движения с транспортным ротором они могут поворачиваться относительно поршня пневматического цилиндра, а также двигаться поступательно вместе с поршнем. Фиксатор *8* выводится из сцепления с блоком прессования в результате воздействия кулачка *5* на ролик стойки *6*. Отпрессованные изделия передаются в ориентированном виде транспортным ротором на ротор механической обработки.

На роторе механической обработки установлены 12 блоков инструмента. Каждый блок состоит из подающего штока *17* (рис. IV.47 *б*), оправки *12* с зубчатой нарезкой на цилиндрической поверхности, суппорта *13* с резцом *14*, соединенной с оправкой головки *15*, а также фрезы *16*, которая отжимается в верхнее положение пружиной *10*. Оправка смонтирована на полом шпинделе *11*, закрепленном в корпусе блокодержателя.

Суппорт соединен с роликом, который под действием другого кулачка подводит резец к внешней цилиндрической кромке вращающегося изделия. При этом срезается грат и на изделии образуется фаска. В зависимости от сложности механической обработки используются два или несколько роторов для последовательной обработки изделий. Однако механическую обработку отпрессованных изделий более целесообразно осуществлять на специализированных высокопроизводительных станках, встроенных в роторную линию.

Эксплуатация прессовых роторных линий показала, что между роторами прессования и предварительного нагрева целесообразно дополнительно установить транспортный ротор, увеличить мощность и частоту генератора токов высокой частоты, а также объединить роторы дозирования и таблетирования.

Производительность роторной линии $Q_{р.\,л}$ (в *шт./ч*) определяют по формуле:

$$Q_{р.\,л} = 60 x_{пр} n_{р.\,п} y \qquad \text{(IV.39)}$$

где $x_{пр}$ — число комплектов однотипных прессформ; $n_{р.\,п}$ — скорость вращения ротора прессования, *об/мин*; y — число потоков.

Скорость вращения ротора прессования $n_{р.\,п}$ (в *об/мин*) находят по зависимости:

$$n_{р.п} = \frac{\Theta}{360t} \qquad \text{(IV.40)}$$

где Θ — полезный угол поворота ротора прессования, *град*; t — продолжительность основного технологического цикла, *мин*.

Внедрение роторных линий целесообразно только при массовом производстве однотипных изделий или группы однотипных изделий, которые обычно прессуют в прессформах малой и средней гнездности. При максимальной механизации вспомогательных операций прессования и повышения гнездности прессформ на автоматизированных быстроходных прессах экономическая эффективность их применения может достигать величины эффективности роторных линий.

Однако при общей оценке эффективности необходимо учитывать не только экономическую эффективность, но также облегчение труда прессовщиков и повышение его производительности, возможность комплексной автоматизации процессов производства прессованных изделий, прогрессивность и перспективность выбранного вида оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

В. А. Брагинский, Технология прессования точных деталей из термореактивных пластмасс, Изд. «Химия», 1971.

З. Г. Гиберов, Механическое оборудование заводов пластических масс, Изд. «Машиностроение», 1967.

В. К. Завгородний, Механизация и автоматизация переработки пластических масс, Изд. «Машиностроение», 1970.

Е. М. Хаймович, Гидроприводы и гидроавтоматика станков, Машгиз, 1959.

Глава V

ВАЛЬЦЫ И КАЛАНДРЫ

§ 1. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ВАЛЬЦЕВАНИЯ И КАЛАНДРОВАНИЯ

Процессы, происходящие в вальцах и каландрах — валковых машинах — при переработке полимерных материалов, в значительной степени аналогичны, и прежде всего — по характеру взаимодействия валков с материалом, по основным силовым соотношениям, возникающим при прохождении массы через зазор между валками.

Отличие вальцевания от каландрования заключается главным образом в технологических особенностях, которые, естественно, приводят к необходимым конструктивным различиям в оборудовании.

В а л ь ц ы позволяют осуществлять несколько технологических процессов при переработке полимерных материалов. Вальцевание — это комплексное понятие, включающее в себя процессы смешения, пластикации и гомогенизации, перетирания, дробления. Все эти процессы являются подготовительными. Смешение на вальцах может осуществляться непрерывно и периодически. Пластикация и гомогенизация массы происходит при многократном ее пропускании через зазор между валками (при определенных температурных и скоростных режимах). Перетирание и дробление на вальцах обеспечивается благодаря тому, что при движении в зазоре материал сжимается, раздавливается и истирается, поскольку валки имеют, как правило, различные окружные скорости. В зависимости от возникающих при этом напряжений и свойств материала происходит пластическая деформация или разрушение материала.

К а л а н д р ы позволяют осуществить окончательный технологический процесс формования. Каландрование — это процесс образования бесконечной ленты (листа, полотна, пленки) заданной толщины и ширины из размягченного полимерного материала, однократно пропускаемого через зазор между двумя или несколькими валками *. Кроме того, на каландрах можно осуществлять следующие технологические процессы: листование и промазку тканей,

* В порядке исключения возможно многократное пропускание заготовки через зазоры между валками каландра.

изготовление профилированной ленты или полосы, тиснение поверхности материала, дублирование ткани или листов, удаление избыточной жидкости из полимерных (в том числе резиновых, каучуковых и других) листов и лент. Особенно широко каландрование применяется при переработке поливинилхлорида, сополимеров винилхлорида и винилацетата, полиэтилена и т. д.

Рассмотрим характер течения (перемещения) полимерного материала при его переработке в валковых машинах (рис. V.1).

В вальцах валки вращаются навстречу друг другу с различными скоростями, захватывая при вращении перерабатываемую массу *2* и подавая ее в зазор между валками. При выходе из зазора материал

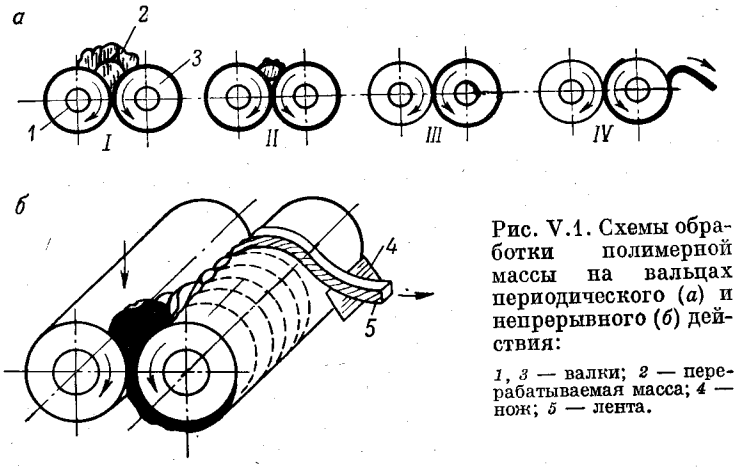


Рис. V.1. Схемы обработки полимерной массы на вальцах периодического (*а*) и непрерывного (*б*) действия:

1, *3* — валки; *2* — перерабатываемая масса; *4* — нож; *5* — лента.

прилипает к одному из валков (в зависимости от температуры поверхности валков и их скорости). Величину зазора между валками регулируют перемещением одного из них *3*, который называют передним. Валок *1* с неподвижной осью называют задним.

Отношение скорости вращения заднего валка $v_з$ к скорости вращения переднего валка $v_п$ называется фрикцией:

$$f = \frac{v_з}{v_п} = \frac{D_з n_з}{D_п n_п} \qquad (V.1)$$

При одинаковых диаметрах валков

$$f = \frac{n_з}{n_п} \qquad (V.2)$$

Здесь $D_з$, $D_п$ — диаметры заднего и переднего валков, *мм*; $n_з$, $n_п$ — число оборотов заднего и переднего валков, *об/мин*.

Условие, при котором полимерный материал будет затягиваться в зазор между валками, не зависит от фрикции, а определяется величиной углов: захвата α (рис. V.2) и трения ρ массы о поверхность валка. Это условие определяется неравенством:

$$\operatorname{tg}\rho > \operatorname{tg}\alpha \quad \text{или} \quad \rho > \alpha \tag{V.3}$$

Неравенство (V.3) получено из следующих соображений (см. рис. V.2). Силы трения T_1 и T_2 материала о поверхность первого и второго валков соответственно зависят от величины нормальных сил N_1 и N_2 и коэффициентов трения массы о поверхность валков f_1 и f_2. Таким образом

$$T_1 = N_1 f_1 = N_1 \operatorname{tg}\rho_1;$$
$$T_2 = N_2 f_2 = N_2 \operatorname{tg}\rho_2 \tag{V.4}$$

Если известен вес G загружаемого материала (сила тяжести), то из уравнения динамического равновесия системы сил имеем:

$$G - N_1 \sin\alpha_1 - N_2 \sin\alpha_2 + T_1 \cos\alpha_1 + T_2 \cos\alpha_2 = P \tag{V.5}$$

где P — сила, с которой материал затягивается в зазор между валками.

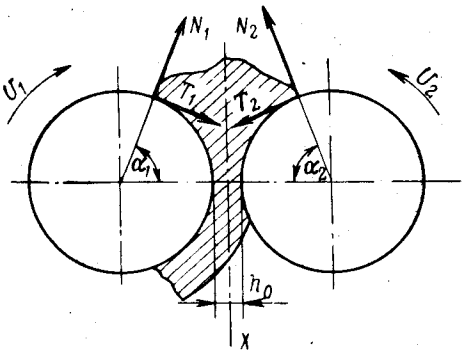


Рис. V.2. Схема затягивания (захвата) смеси валками.

Принимая теперь $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$, $\rho_1 = \rho_2 = \rho$, $N_1 = N_2 = N$ и преобразовывая уравнение (V.5), получаем неравенство (V.3).

Следует отметить, что величина угла трения ρ зависит от вязкости (температуры) перерабатываемого материала.

Наряду с исходными свойствами обрабатываемого материала существенное значение имеет жесткость валков, скорость их вращения, температура поверхности валков, равномерность подачи и распределения материала в зазоре и т. д. Из схемы переработки полимеров на вальцах периодического действия (см. рис. V.1, *а*) видно, что масса после загрузки одной или последовательно несколькими порциями (положение *I*) проходит через зазор между валками (положение *II*), прилипает к одному из них (положение *III*) и после вальцевания подрезается (положение *IV*). После многократно повторенных операций в указанной последовательности (количество повторений определяется экспериментально) масса срезается отдельными полосами вдоль образующей по длине валка и сматывается в рулоны.

На вальцах непрерывного действия (см. рис. V.1, *б*) масса подается либо с одного конца валков, либо в их середине, проходит между валками в течение определенного времени, совершая сложное движение: вращение и поступательное движение вдоль образующей валка (к противоположному загрузке концу валков или к обоим

концам их — при загрузке посредине), а затем непрерывно срезается в виде узкой ленты *5* ножом *4*.

В каландрах, как и в вальцах, валки вращаются навстречу друг другу (с различными или одинаковыми скоростями), что обеспечивает непрерывное передвижение материала заготовки (листа, полотна, пленки) к последней паре валков. Схема течения материала в зазоре валков каландра представлена на рис. V.3. Для нормальной работы каландра необходимо правильно установить зависимости между величинами начального зазора (на входе в каландр), промежуточных зазоров (между промежуточными парами валков, количество и расположение которых определяется конструкцией каландра) и калибрующего зазора (на выходе из каландра). В промежуточных и калибрующем зазорах должен создаваться дополнительный запас материала. Из рис. V.3 видно, что «запас» (величина H) обеспечивает непрерывное заполнение зазора (минимальное значение которого h_0). По выходе из зазора полимерная заготовка или окончательно изготовленное изделие увеличивает свою толщину (в основном благодаря эффекту высокоэластической деформации). Рациональное соотношение между величинами h_1/h_0 и h_0/h_2 позволяет правильно решать задачи выпуска высококачественной продукции, так как от этого зависят энергетические и тепловые параметры процесса, а также обеспечение требуемого (заданного) калибра (толщины) изделия $[h_2 = (1{,}22 \div 1{,}30)\, h_0]$.

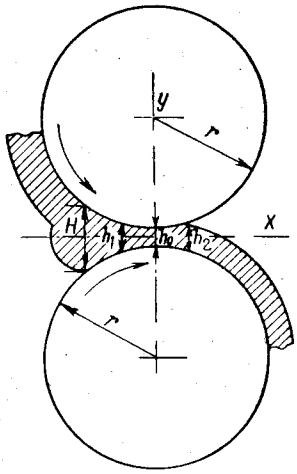


Рис. V.3. Схема течения полимера в зазоре валков каландра.

Поведение полимерных материалов в зазоре между вращающимися валками подчиняется определенным закономерностям, описывающим процесс деформирования неньютоновских, высоковязких масс. Эти закономерности позволяют рассматривать с позиций гидродинамики процессы вальцевания и каландрования, создавая предпосылки для расчета их энергосиловых параметров и производительности.

Наиболее математически просто поведение полимерного материала на валках описывается, если предположить, что эффективная вязкость массы существенным образом не изменяется при переработке и зависит от некоторой средней величины градиента скорости. В этом случае полимерный материал может быть описан выражением, аналогичным уравнению для ньютоновской жидкости, которая подчиняется следующему закону течения:

$$\tau = \mu_э \gamma = \mu_э \frac{\partial u}{\partial y} \qquad (V.6)$$

где τ — напряжение сдвига; γ — градиент скорости; $\mu_э$ — усредненный или эффективный коэффициент вязкости.

Возможность использования уравнения (V.6) определяется следующими допущениями (геометрическую схему, поясняющую поведение материала в зазоре валков см. на рис. V.4, *а*):

1) режим установившегося течения материала в зазоре — ламинарный;

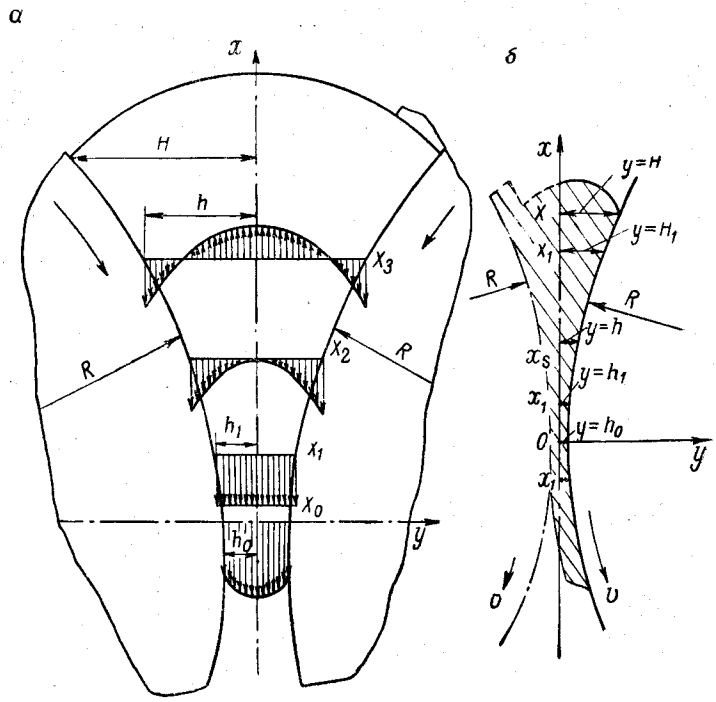


Рис. V.4. Геометрическая схема поведения материала в зазоре между валками вальцев (*а*) и каландра (*б*).

2) материал прилипает к поверхностям валков, при этом скорости слоев у поверхностей равны v;

3) инерционные силы незначительны;

4) течение материала рассматривается как одномерное (скорость течения в направлении оси x значительно больше скорости течения в направлении оси y, т. е. $v_x \gg v_y$;

5) градиент скорости в направлении оси y значительно больше, чем в направлении оси x;

6) гидродинамические давления на входе полимера в валки и на выходе из них равны нулю;

7) давление в плоскостях, параллельных осям валков, не меняется в направлении осей y и z.

Гидродинамический анализ установившегося процесса переработки (по профилю распределения скоростей на рис. V.4, *а*) показывает, что существуют две принципиально различные области течения, которые разделены сечением X_2.

До сечения X_2 происходит поступательное движение материала у поверхности валков в сторону минимального зазора и встречное движение, зона которого расположена в центре потока.

Ниже сечения X_2 материал движется только поступательно. Скорость слоев материала у валков больше скорости слоев в центре. По мере уменьшения зазора скорость массы в центре возрастает от нуля до величины v. Эпюра скоростей приобретает форму прямоугольника, боковая сторона которого соответствует линейным скоростям валков.

Начиная с сечения X_1, скорость слоев материала центральной зоны превышает линейные скорости валков и в минимальном сечении достигает максимального значения. При введении фрикции характер течения сохраняется, однако линии тока в данном случае смещены в сторону тихоходного валка. При этом в сечении X_1 эпюра скоростей будет иметь форму трапеции, боковые стенки которой соответствуют линейным скоростям валков. В остальных сечениях эпюры скоростей также несимметричны. Существование поступательного и встречного течения объясняет наблюдаемое на практике явление вращения «запаса». Следует отметить, что внутри запаса материал также перемещается по двум замкнутым траекториям, которые в центральной зоне сводятся в неподвижные центры. Наличие замкнутых линий тока и отсутствие осевых перемещений слоев перерабатываемых материалов существенно снижает смесительный эффект вальцов.

Геометрическая схема, поясняющая поведение полимерного материала в каландрах, представлена на рис. V.4, *б*. Она относится к случаю симметричного процесса каландрования. Использование выражения (V.6) позволяет получить для данного случая приближенные уравнения для определения распорных усилий, полезного момента сопротивления и других величин. Уточнение здесь связано с учетом нелинейной связи касательных напряжений τ со скоростью сдвига γ. Эта связь выражается рядом эмпирических реологических законов, из которых степенной записывается наиболее математически просто, что делает его более приемлемым в практических расчетах.

В общем виде значение τ определяется следующим образом:

$$\tau = \mu \left(\frac{2m+1}{m} \right)^m v^m R^m \frac{(h_1 - h)^m}{h^{2m}} \qquad \text{(V.7)}$$

где μ — реологическая постоянная; m — индекс течения. Обозначения v, R, h_1 и h даны на рис. V.4, *б*.

Следует отметить, что в указанной на рис. V.4, *б* области от x_s до x_1 крутящий момент передается от валков к материалу, что связано с малыми скоростями перемещения отдельных слоев материала

в области запаса. В сечении X_1 скорости выравниваются и далее достигают максимума в минимальном зазоре. Поэтому в области от $+x_1$ до $-x_1$ крутящий момент передается от материала к валкам.

Таким образом, изменение знака градиентов скоростей сдвига связано с ускорением или замедлением движения материала в валковом зазоре каландра.

Для расчета основных параметров процессов переработки рекомендуются следующие зависимости.

В случае вальцевания распорное усилие P определяется по формуле:

$$P = 2\mu_э v R L \left(\frac{1}{h_0} - \frac{1}{H}\right) \tag{V.8}$$

где L — длина рабочей части валка.

При учете фрикции формула (V.8) изменяется:

$$P = \frac{1+f}{2} \frac{\mu_э v_1 R L}{h_0} \tag{V.9}$$

где v_1 — скорость переднего валка.

В начальный период переработки возникают распорные усилия, значительно превышающие усилия при установившемся режиме. Распорное усилие можно приближенно вычислить по формуле, основанной на закономерностях упругой деформации материала между валками:

$$P = \frac{4ER^2 b_н}{h_н} \sin\alpha\,(1-\cos\alpha) \tag{V.10}$$

где E — модуль упругости перерабатываемого материала; R — радиус валков; $b_н$ — начальная ширина материала; $h_н$ — начальная толщина материала; α — угол захвата.

Отношение максимального распорного усилия к установившемуся $k = P_{макс}/P_{уст}$ в зависимости от свойств перерабатываемого материала находится в диапазоне 1,3—3.

Мощность $N_{потр}$, потребляемая вальцами, рассчитывается по формуле:

$$N_{потр} = M_{пр} v \tag{V.11}$$

Здесь $M_{пр}$ — крутящий момент, необходимый для привода вальцев:

$$M_{пр} = M_{х.\,х} + M_{д.\,т} + M_п \tag{V.12}$$

где $M_{х.\,х}$ — момент холостого хода; $M_{д.\,т}$ — момент дополнительных сил трения, возникающих в основном в подшипниках валков вследствие деформации материала; $M_п$ — момент для преодоления сопротивления деформации обрабатываемого материала и возникающих при этом сил трения (полезные сопротивления).

Зная значения моментов, можно определить коэффициент полезного действия вальцев:

$$\eta = \frac{M_п}{M_{х.\,х} + M_{д.\,т} + M_п} = \frac{1}{1 + \dfrac{M_{х.\,х} + M_{д.\,т}}{M_п}} \tag{V.13}$$

Момент холостого хода можно определить, подсчитав потери на трение в подшипниках валков и в зубчатых передачах:

$$M_{\text{х.х}} = \frac{1}{\eta_{\text{т}}\eta_{\text{ф}}} \sum \frac{G'\mu' d}{2i} \qquad \text{(V.14)}$$

где G' — радиальная нагрузка на цапфу подшипника; μ' — коэффициент трения подшипника; d — диаметр цапфы; i — передаточное число между трансмиссионным валом и вращающимся валком; $\eta_{\text{т}}$ — к. п. д. передачи от трансмиссионного вала к заднему валку; $\eta_{\text{ф}}$ — к. п. д. фрикционной пары.

Момент дополнительных сил трения возникает в результате действия распорных сил при переработке материала:

$$M_{\text{д. т}} = \frac{1}{\eta_{\text{т}}\eta_{\text{ф}}} \sum \frac{P\mu' d}{2i} \qquad \text{(V.15)}$$

где P — распорное усилие на валки.

Полезный момент определяется в общем виде по формуле:

$$M_{\text{п}} = F_{\text{тр}} RL \qquad \text{(V.16)}$$

где $F_{\text{тр}}$ — сила трения, приходящаяся на единицу длины валка.

Учет фрикции требует определения суммарного момента сопротивления, зависящего от момента, потребляемого быстроходным и тихоходным валками.

Производительность вальцев $G_{\text{в}}$ зависит от периодичности их работы. При однократной переработке массы на вальцах производительность определяется по следующей общей формуле:

$$G_{\text{в}} = \frac{V\rho_{\text{м}}\varphi}{\tau_{\text{ц}}} \qquad \text{(V.17)}$$

где V — объем единовременной загрузки; $\rho_{\text{м}}$ — плотность перерабатываемого материала; $\tau_{\text{ц}}$ — продолжительность цикла; $\varphi = 0{,}85 \div 0{,}9$ — коэффициент использования машинного времени.

Величина V (в $см^3$) находится по формуле:

$$V = (0{,}006 \div 0{,}008)\, DL$$

где D — диаметр переднего валка, *см*; L — длина рабочей части валка, *см*.

Продолжительность цикла обработки на вальцах:

$$\tau_{\text{ц}} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 \qquad \text{(V.18)}$$

Время загрузки τ_1 и выгрузки τ_2 определяется в основном организацией труда, время переработки τ_3 — технологическим режимом работы.

Профиль наружной поверхности валков существенно влияет на производительность процесса вальцевания. В случае гладкой поверхности производительность $G_{\text{в}}$ (в *кг/ч*) равна:

$$G_{\text{в}} = 60\pi DnLh_1\rho_{\text{м}}\varphi \qquad \text{(V.19)}$$

где D — диаметр заднего валка, *см*; n — число оборотов заднего валка, *об/мин*; L — средняя ширина ленты материала, снимаемого

с валка, *см*; h_1 — толщина ленты материала, выходящего из зазора, *см*; $\rho_м$ — плотность перерабатываемого материала, *кг/см*^{3}; φ — коэффициент использования машинного времени.

Уравнение (V.19) не учитывает фрикции и фактической скорости выхода материала из валков, которая не равна окружной скорости валка (особенно для сильнонаполненных смесей). Эта разница называется опережением.

При каландровании распорное усилие, действующее на валки, может рассчитываться по уравнению:

$$P = \frac{3\mu_м v R L}{2h_0} q(\lambda) \qquad (V.20)$$

где L — рабочая длина валка; $q(\lambda)$ — безразмерный комплекс, определяемый по рис. V.5; $\mu_м$ — динамический коэффициент вязкости перерабатываемого материала.

Полезная мощность, расходуемая на переработку массы в зазоре валков каландра, рассчитывается по уравнению:

$$N_п = 3Lv^2\mu_м \sqrt{\frac{4R}{h_0}} f(\lambda) \qquad (V.21)$$

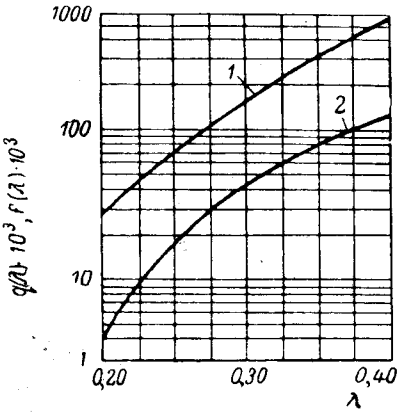


Рис. V.5. Зависимости $q(\lambda)$ и $f(\lambda)$ от λ для определения распорных усилий и полезной мощности при переработке на каландрах:
1 — $q(\lambda)$; *2* — $f(\lambda)$.

где $f(\lambda)$ — безразмерный комплекс, определяемый по рис. V.5.

Производительность каландра $G_к$ (в *кг/ч*) в общем случае можно определить по формуле:

$$G_к = 60 v_м F \rho_м \varphi \qquad (V.22)$$

где $v_м$ — скорость выхода ленты из каландра, *м/мин*; $F = h_1 L$ — площадь поперечного сечения ленты в зазоре между валками, *м*^{2}; h_1, L — толщина и ширина ленты, *м*; $\rho_м$ — плотность ленты, *кг/м*^{3}; φ — коэффициент использования машинного времени.

Следует отметить, что скорость $v_м$ несколько больше окружной скорости валка. При переходе материала на быстроходный валок его калибр h_1 уменьшается, а скорость увеличивается; при переходе на тихоходный валок калибр h_1 увеличивается, а скорость уменьшается.

Производительность каландра $G_к$ (в *кг/ч*) с учетом фрикции рассчитывается по формуле:

$$G_к = h_1 \rho_м L \frac{v(1+f)}{2} \varphi \qquad (V.23)$$

Формула (V.23) выводится на основании гидродинамической теории каландрования.

§ 2. КЛАССИФИКАЦИЯ, ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И КОНСТРУКЦИИ ВАЛЬЦЕВ И КАЛАНДРОВ

Вальцы

Вальцы для переработки пластических масс разделяются на смесительные, пластицирующие (для интенсивного перемешивания, гомогенизации и пластикации массы), краскотерочные (для предварительного перетирания паст, в состав которых входят пластификаторы и пигменты), дробильные (для переработки отходов и сырья) и др. Вальцы для резин разделяются на смесительные, листовальные, подогревательные (или смесительно-подогревательные), регенераторно-смесительные (для обработки измельченного регенерата с целью получения однородной массы), рафинировочные (для очистки регенерата от посторонних примесей), дробильные, размалывающие, промывные (для промывки каучука водой, обработки и подсушки каучука с большим содержанием влаги).

Такая функциональная классификация дополняется конструктивно-технологическими признаками:

1) по размерам валков: производственные — вальцы легкого типа ($D \times L = 300 \times 800$ и 550×800 *мм*), среднего типа (550×1530 *мм*), тяжелого типа (660×2130 *мм*); лабораторные — микровальцы (80×175 *мм*), вальцы 160×320 и 255×450 *мм*;

2) по количеству валков: двухвалковые, трехвалковые (применяются только в конструкциях рафинировочных вальцев);

3) по расположению валков: горизонтальные и вертикальные;

4) по числу машин в агрегате: индивидуальные, сдвоенные, групповые из двух, трех, четырех и, реже, пяти машин;

5) по величине фрикции ($f = 1{,}08$; 1,17; 1,27; 1,39; 2,55 и 4,0);

6) по виду поверхности валка: гладкие, рифленые;

7) по способу регулирования температуры валка (паровой обогрев или электрообогрев, водяное охлаждение);

8) по характеру работы: периодического и непрерывного действия.

При переработке пластмасс на вальцах распорные усилия, возникающие между валками, превышают усилия, возникающие при переработке резиновых смесей, поэтому основные части машины, воспринимающие нагрузку — станины, валки, траверсы — усиливаются. Кроме того, переработка пластмасс требует более высоких температур, что создает дополнительные трудности регулирования температурного режима самих валков и их подшипников. Последние должны интенсивно охлаждаться водой и циркулирующим маслом.

На заводах пластических масс широко применяются высокопроизводительные вальцы непрерывного действия. На рис. V.6 показаны вальцы с центральной загрузкой смеси и непрерывной подрезкой лент готовой массы с заднего валка. Вальцы состоят из станины *8*, на которой в корпусах подшипников *5* монтируются валки — передний *9* и задний *10*. Над вальцами установлен бункер *4* с ме-

шалкой *3*, имеющей индивидуальный привод *2*. Масса поступает из бункера в зазор между валками и двумя потоками по винтовым поверхностям заднего валка направляется к его краям, откуда срезанная масса отводится двумя транспортерами *1*. Вальцы снабжены комплектом ножей *6*, *11*, *12* соответственно для разрыхления массы, снятия провальцованной ленты материала и подрезки массы во время вальцевания. Зазор между валками регулируется механизмом *7*.

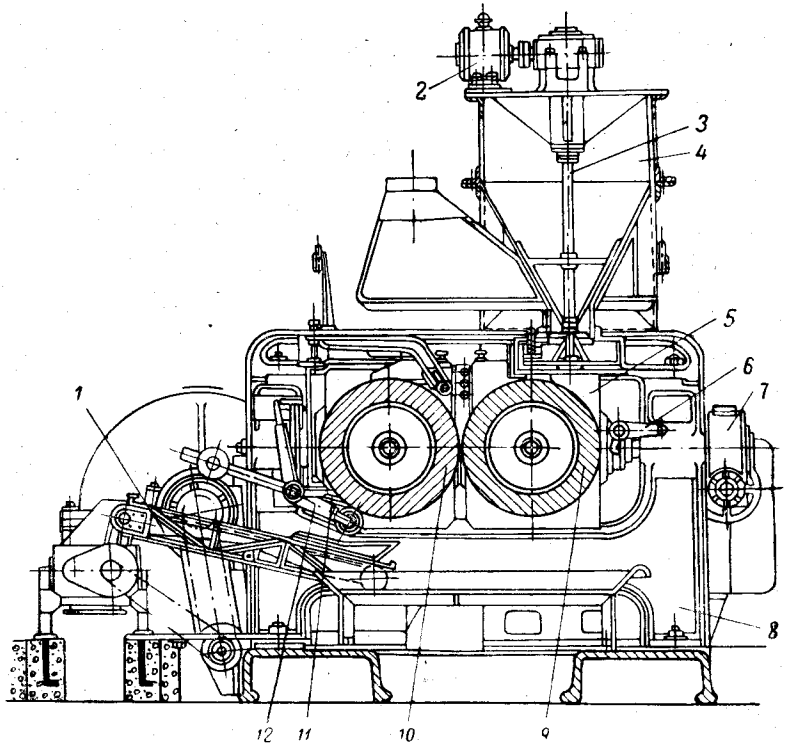


Рис. V.6. Вальцы непрерывного действия для переработки пластмасс:

1 — транспортер; *2* — привод мешалки; *3* — мешалка; *4* — бункер; *5* — корпус подшипника; *6*, *11*, *12* — ножи; *7* — механизм для регулирования зазора; *8* — станина; *9*, *10* — валки.

Валки нагреваются перегретой водой, поступающей в их внутреннюю полость под давлением порядка 0,15 $Мн/м^2$. Температура нагревания валков вальцев составляет ~160—220° С.

Тепловой расчет вальцев имеет принципиальное значение, поскольку при переработке полимерного материала выделяется большое количество тепла, благодаря которому повышается температура массы и рабочей поверхности валков. Перегрев материала недопустим (так как при этом для термопластов начинается деструкция,

для реактопластов — отверждение, а для резиновых смесей — подвулканизация), поэтому в конструкции вальцев предусматривается возможность водяного охлаждения (см. § 4 данной главы).

Общее тепло, выделяемое при переработке:

$$Q = N_{ср}\eta_{\Sigma} \qquad (V.24)$$

где $N_{ср}$ — средняя мощность, потребляемая вальцами; η_{Σ} — к. п. д. всех передач.

Тепло Q расходуется на нагревание перерабатываемой массы (Q_1) и потери в окружающую среду (Q_2). Значения Q_1 находятся по формуле:

$$Q_1 = G_в c_м (t_{кон} - t_{нач}) \qquad (V.25)$$

где $G_в$ — производительность вальцев; $c_м$ — удельная теплоемкость перерабатываемого материала; $t_{кон}$, $t_{нач}$ — конечная и начальная температура перерабатываемого материала.

Величина Q_2 складывается из потерь тепла за счет конвекции ($Q_{2к}$) и лучеиспускания ($Q_{2л}$). Сумма $Q_1 + Q_2$ составляет ~15—30% общего количества тепла Q.

Количество тепла Q_3, уносимое охлаждающей водой, должно быть равно:

$$Q_3 = Q - Q_1 - Q_2$$

или

$$Q_3 = W c_{вод} \Delta t \qquad (V.26)$$

где W — расход охлаждающей воды; $c_{вод}$ — удельная теплоемкость воды; $\Delta t = 3 \div 6$ *град* — разность температур охлаждающей воды.

При проведении расчета принимается, что 75% величины Q_3 приходится на передний валок и 25% — на задний. Аналогично распределяется по валкам расход охлаждающей воды.

Для каждого валка должно соблюдаться условие теплопередачи от поверхности к охлаждающей воде:

$$Q = K \Delta t' L \qquad (V.27)$$

Здесь $\Delta t'$ — средняя разность температур рабочей поверхности валка и охлаждающей воды; K — коэффициент теплопередачи (на 1 *м* длины валка) от рабочей поверхности валков к охлаждающей воде:

$$K = \frac{\pi}{\frac{1}{2\lambda_в} \ln \frac{D}{d} + \frac{1}{\alpha_{ср} d}}$$

где D, d — соответственно наружный и внутренний диаметр валка; $\lambda_в$ — коэффициент теплопроводности материала валка.

Расчет системы охлаждения производится в двух вариантах: закрытом (вода заполняет все сечение внутренней полости валка) и открытом (вода располагается ниже оси на определенном расстоянии).

Для каждого варианта должен быть определен средний коэффициент теплоотдачи $\alpha_{ср}$ от нагретой стенки валка к охлаждающей воде. Затем при известных значениях $\alpha_{ср}$ определяется коэффициент теп-

лопередачи K и средняя разность температур между рабочей поверхностью валка и охлаждающей водой:

$$\Delta t' = \frac{Q'_3}{KL} \qquad (V.28)$$

где L — рабочая длина валка.

Далее рассчитывается необходимая температура воды, подаваемая на охлаждение валков. Имеем:

$$\Delta t' = t_в - \frac{t_{вод}^{кон} - t_{вод}^{нач}}{2} \qquad (V.29)$$

где $t_в$ — температура наружной поверхности валков; $t_{вод}^{кон}$, $t_{вод}^{нач}$ — конечная и начальная температура охлаждающей воды.

Считая, что температура воды должна повыситься на 5 *град*, получим:

$$\Delta t' = t_в - t_{вод}^{нач} - 2{,}5 \qquad (V.30)$$

Окончательно находим:

$$t_{вод}^{нач} = t_в - \Delta t' - 2{,}5 \qquad (V.31)$$

Начальная температура охлаждающей воды $t_{вод}^{нач}$ должна быть в пределах 8—16° С. Если расчетное значение $t_{вод}^{нач}$ будет ниже, необходимо интенсифицировать процесс охлаждения и сделать новый расчет по приведенной выше методике.

Коэффициент $\alpha_{ср}$ для открытой системы охлаждения в 5—10 раз больше, чем $\alpha_{ср}$ для закрытой системы, поэтому первый вариант является более эффективным.

Привод вальцев, показанный на рис. V.6, — индивидуальный, осуществляется через редуктор (двухступенчатый цилиндро-конический) и пару приводных зубчатых колес (на рис. V.6 не показаны) к заднему валку. Передний валок приводится во вращение через пару фрикционных зубчатых колес. Асинхронный электродвигатель соединен с редуктором упругой муфтой. Двигатель находится на одной фундаментной плите с вальцами.

Вообще существуют три основных типа привода вальцев: индивидуальный, сдвоенный и групповой.

В сдвоенных вальцах, кинематическая схема которых дана на рис. V.7, устанавливается один электродвигатель *1* на две машины *2*. Движение от электродвигателя передается к заднему валку через цилиндро-конический редуктор и приводную пару шестерен.

При групповой установке вальцев соединяют в группу две, три или четыре машины. Под вальцами проходит трансмиссионный вал, состоящий из стандартных звеньев (на каждый из вальцов). Эти звенья соединяются дисковыми муфтами. Кинематическая схема вальцев, устанавливаемых в агрегате, приведена на рис. V.8. Крутящий момент передается от привода электродвигателя *4* через систему передач *3* к заднему валку *2*, ось которого закреплена в подшипниках, и далее через фрикционную пару *1* — к переднему

валку *5*. У всех вальцев, кроме первых от двигателя (головных), устанавливают по два трансмиссионных подшипника с кольцевой смазкой. Валы между электродвигателем и головными вальцами соединяются упругой муфтой, возле которой устанавливается третий подшипник. В групповом приводе используются асинхронные тихоходные электродвигатели.

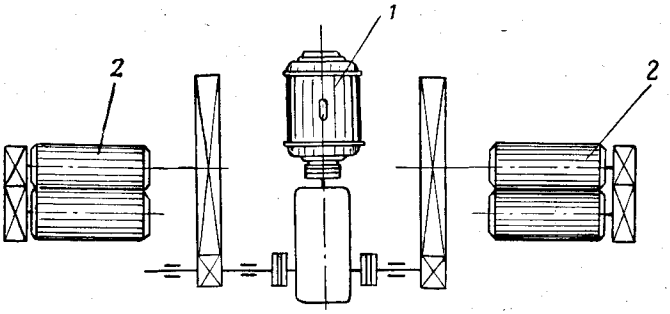


Рис. V.7. Кинематическая схема сдвоенных вальцев:
1 — электродвигатель; *2* — вальцы.

В последнее время при установке вальцев в агрегатах вместо соединительных муфт применяют специальный редуктор, валы которого при помощи универсальных шпинделей соединяются непосредственно с валками вальцев.

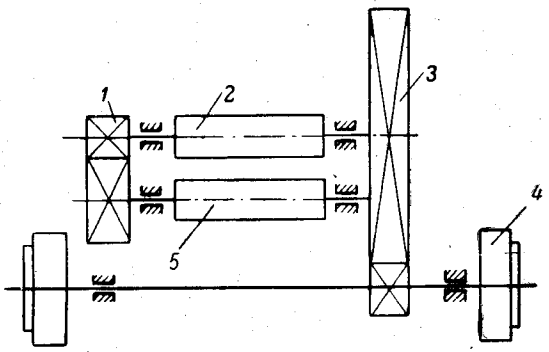


Рис. V.8. Кинематическая схема вальцев, установленных в агрегате:
1 — фрикционная пара; *2* — задний валок; *3* — передача; *4* — электродвигатель; *5* — передний валок.

В новых конструкциях вальцев с индивидуальным и сдвоенным приводом применяются также специальные блок-редукторы и универсальные шпиндели.

Один редуктор обслуживает две машины и устанавливается между ними. Применение таких редукторов позволяет непосред-

ственно соединять валки вальцев с валами редуктора, в результате чего фрикционные зубчатые колеса отсутствуют. Это существенно улучшает работу подшипников, так как отсутствует усилие, передаваемое фрикционной парой и изгибающее валок. Появляется возможность изменения зазора валков в широком диапазоне без нарушения правильности зацепления фрикционных шестерен.

Универсальные шарнирные шпиндели позволяют передавать вращение валкам при значительных углах между осями шпинделя и валка (до 8—10°), в то время как упругие муфты допускают этот угол в пределах 1—2°. Шпиндели устроены по принципу шарнира Гука.

При индивидуальном приводе вальцев мощность электродвигателя должна выбираться по максимальной нагрузке, возникающей при работе вальцев в начале процесса переработки материала. В последующие периоды двигатель работает с недогрузкой. Чтобы обеспечить работу вальцев с индивидуальным приводом в периоды максимального расхода электроэнергии без перегрузки электродвигателя, последний должен иметь мощность приблизительно в 1,5—2 раза выше средней, что приводит в целом к снижению cos φ электродвигателя. Этот недостаток значительно устраняется при использовании сдвоенных вальцев, что еще более заметно при выборе группового привода. Работа на этих вальцах производится таким образом, что начало загрузки материала на одни вальцы по времени смещено относительно других, вследствие чего нагрузка на двигатель выравнивается до некоторой средней величины. Наиболее распространенной схемой установки вальцев является групповая — по три или четыре машины в группе.

Вальцы относятся к классу перерабатывающего оборудования с повышенной опасностью обслуживания. Поэтому конструкцией вальцев предусматривается устройство аварийной остановки валков. Тяги аварийного выключателя, выполненные либо в виде тросика, либо в виде штанги, обычно расположены над валками или с передней и задней стороны перед рабочим местом вальцовщика.

Работа механизма аварийной остановки оценивается длиной дуги при повороте валков после отключения электродвигателя (когда вальцы не загружены). При загруженных вальцах этот поворот валков чрезвычайно мал.

Наибольшее распространение получил способ торможения посредством электромагнитного ленточного или колодочного тормоза, которые воздействуют на тормозной шкив соединительной муфты привода. Одновременно с отключением электродвигателя привода выключается электромагнит тормоза. Якорь электромагнита связан с пружиной, поднимающей его вверх. При этом рычаги ленточного или колодочного тормоза прижимают ленту или колодки к шкиву и приводной вал останавливается.

При электродинамическом торможении и обратном включении механизма аварийной остановки переключают цепи приводного электродвигателя, на якоре которого создается электродинамический момент, направленный против вращения.

В некоторых схемах управления предусмотрена возможность реверса, т. е. вращения валков в обратную сторону непосредственно после аварийной остановки.

Исправность работы механизма аварийной остановки должна проверяться перед каждой сменой.

Современные конструкции вальцев имеют ряд вспомогательных механизмов, повышающих производительность и степень механизации процесса, а также улучшающих качество продукции. К таким механизмам относятся: механические ножи для подрезания и перемешивания массы; дисковые и клиновые перемешивающие устройства, интенсифицирующие процесс перемешивания массы на валках;

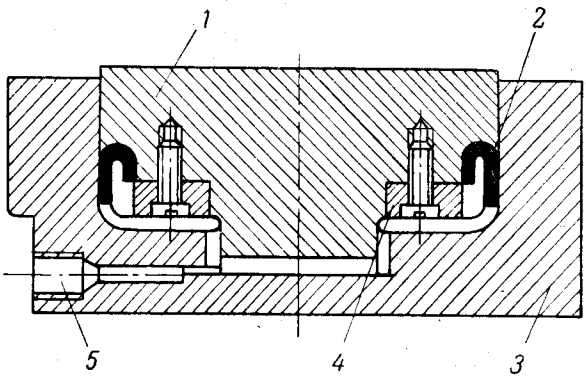


Рис. V.9. Месдоза для контроля распорных усилий (поршневой тип):

1 —поршень; *2* — манжета; *3* — корпус месдозы; *4* — фланец; *5* — отверстие для присоединения манометра.

направляющие ролики, обеспечивающие возврат срезаемой с ленты массы обратно в зазор; барабаны для охлаждения и т. д.

Кроме указанных механизмов вальцы снабжаются контрольно-измерительными приборами. Для нормальной работы вальцев необходимо постоянно контролировать следующие параметры: 1) температуру поверхности заднего и переднего валков; 2) температуру воды, охлаждающей валки и корпуса подшипников валков (при использовании охлаждаемых подшипников скольжения); 3) температуру перерабатываемого материала; 4) температуру подшипников валков; 5) зазор между валками; 6) продолжительность цикла обработки; 7) распорное усилие на подшипники; 8) потребляемую мощность.

Температура поверхности валков периодически измеряется лучковой термопарой, температура перерабатываемого материала — игольчатой термопарой, температура подшипников — трубчатой термопарой.

Величина распорного усилия контролируется двумя методами: установкой гидравлических месдоз или тензометров. В первом слу-

чае (рис. V.9) распорное усилие воздействует на поршень *1*. При известном диаметре поршня или проточки, а также измеренном манометром давлении можно определить распорное усилие, приходящееся на один винт.

Во втором случае (рис. V.10) используют заранее протарированные упругие элементы с наклеенными тензодатчиками, которые устанавливаются между корпусом подшипника и регулировочным винтом. При возникновении распорной силы давление передается на резиновую мембрану *3*, которая в местах защемления между корпусом *1* и поршнем *4* будет сжиматься, уменьшаясь по толщине и заполняя часть камеры *8*, и передавать давление на масло. Упругие элементы деформируются, что вызывает изменение сопротивления тензодатчиков, соединенных по мостовой схеме. Далее разбаланс моста усиливается тензометрическим усилителем и записывается магнитоэлектрическим осциллографом.

Потребляемая мощность измеряется киловаттметром или амперметром и вольтметром.

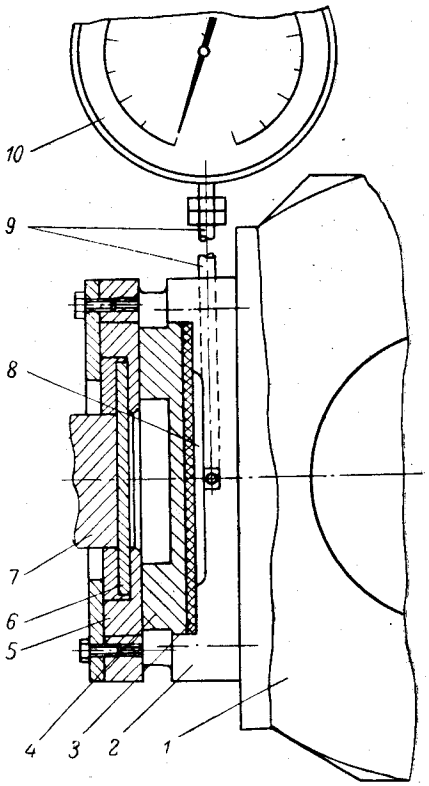


Рис. V.10. Месдоза для контроля распорных усилий (мембранный тип):

1 — корпус; *2* — подшипник переднего валка; *3* — резиновая мембрана; *4* — поршень; *5* — втулка; *6* — предохранительная шайба; *7* — пуансон; *8* — камера; *9* — трубка; *10* — манометр.

Каландры

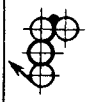
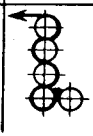
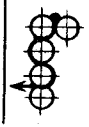
По функциональному назначению каландры для пластмасс разделяются на листовальные (для изготовления листов и пленок из провальцованной полимерной смеси — линолеума, искусственных кож и т. д.), промазочные (для промазки тканей) и дублировочные (для покрытия бумаги, ткани пленкой из полимерных материалов). На листовальных каландрах производится также профилирование рулонных материалов, рельефное их тиснение и нанесение цветных рисунков. Каландры для резиновых смесей разделяются на прослоечные, универсальные (для листования, обкладки и промазки тканей резиновой смесью), кордные (для обкладки кордной ткани слоем резиновой смеси с двух сторон), протекторные.

Конструктивно-технологические классификационные признаки каландров разнообразны.

По количеству и схеме расположения валков каландры бывают: двух-, трех-, четырех- и пятивалковые; Г-, L-, Z-, S-, Δ-, I- и W-образные (табл. V.1).

Таблица V.1

Основные виды каландров и их модификация

Типы каландров	Схемы					
Двухвалковые		—	—	 Наклонный	—	—
Трехвалковые		—	—			—
Четырехвалковые						 Наклонный
Пятивалковые				—	—	—

По типу привода: с общим приводом и передаточными шестернями на валках; с общим приводом и передаточными шестернями, вынесенными в отдельный блок-редуктор и соединенными с валками при помощи универсальных шпинделей; с индивидуальными фланцевыми электродвигателями и редукторами к каждому валку; со специальным блок-редуктором и электродвигателями к каждому валку.

По размерам валков и назначению: производственные каландры — легкий тип с валками $D \times L = 360 \times 1100$ и 500×1250 *мм*, средний тип с валками 610×1800 и 710×1800 *мм*, тяжелый тип с валками 950×2800 *мм*; лабораторные каландры 160×320 и 200×450 *мм*.

По наличию фрикции между валками: с фрикцией и без фрикции.

По способу регулирования зазора между валками: с механизированной раздвижкой, а также с механизированной раздвижкой и автоматическим регулированием.

По способу регулирования температуры валков: с паровым обогревом, с электрическим обогревом и водяным охлаждением.

Основными конструктивными параметрами каландров являются диаметр и длина валков, скорость вращения. Эти параметры в настоящее время унифицируются в рамках СЭВ. Принято целесообразным рекомендовать каландры с размерами валков 500 × 1250, 700 × 1800 и 950 × 2800 *мм*.

Выбор каландра определенной конструкции и привода для него зависит от типа изделия и характера выполняемого технологического процесса. Например, обычно дублировочные каландры изготавливают двухвалковыми, промазочные — трехвалковыми, универсальные и листовальные — трех- и четырехвалковыми (реже — пятивалковыми), профильные — четырехвалковыми (выносной валок — профильный).

Для листовальных и дублировочных каландров фрикция необязательна, окружные скорости валков одинаковы. У промазочных каландров фрикция необходима и колеблется в пределах 1,2—1,35 между каждой парой валков. При этом от нижнего валка к среднему окружные скорости увеличиваются, а от среднего к верхнему — уменьшаются.

Привод универсальных каландров должен обеспечивать возможность широкого регулирования скорости каландрования в соответствии с различием свойств перерабатываемого материала.

Верхний предел скорости каландрования должен быть не ниже 40—60 *м/мин* для универсальных машин и 25 *м/мин* для каландров других типов. Заправочная скорость каландров 4,5—6 *м/мин*.

Длина валков, определяющих ширину готового продукта, обычно не превышает 1800 *мм*, однако иногда изготавливают каландры с длиной валков до 2800 *мм* (для транспортерных лент).

Диаметр валков равен 360—710 *мм*. В некоторых тяжелых конструкциях применяют каландры с диаметрами валков 950 *мм*.

Современные конструкции отечественных каландров по технико-экономическим параметрам не уступают лучшим зарубежным моделям.

Для переработки пластмасс, как и других полимерных материалов, наиболее широко применяются Г- и Z-образные четырехвалковые каландры. Технологическая схема процесса и схема действия сил на этих каландрах представлены на рис. V.11. Из рисунка следует, что Г-образный каландр имеет следующие преимущества: 1) открытый доступ к валкам, удобную установку измерительных приборов, лучшее визуальное наблюдение за качеством продукции; 2) при одинаковых скоростях каландрования полотно материала находится в соприкосновении с валками приблизительно в два раза дольше, чем достигается более высокое качество поверхности; 3) конструкция станин более простая и менее трудоемкая в изготовлении.

Недостаток данной схемы состоит в том, что на конечную толщину полотна влияют как распорные усилия P_3 между нижним и средним валками, так и усилия P_2 между верхним и средним валками. Это приводит к тому, что под действием усилий средний

валок становится «плавающим», в результате чего точно обеспечить требуемую толщину листа, равную по всей его ширине, невозможно.

Преимущество Z-образной схемы заключается в том, что направление прогиба валка перпендикулярно к направлению следующего зазора. Следовательно, прогиб от предыдущего валка не сказывается

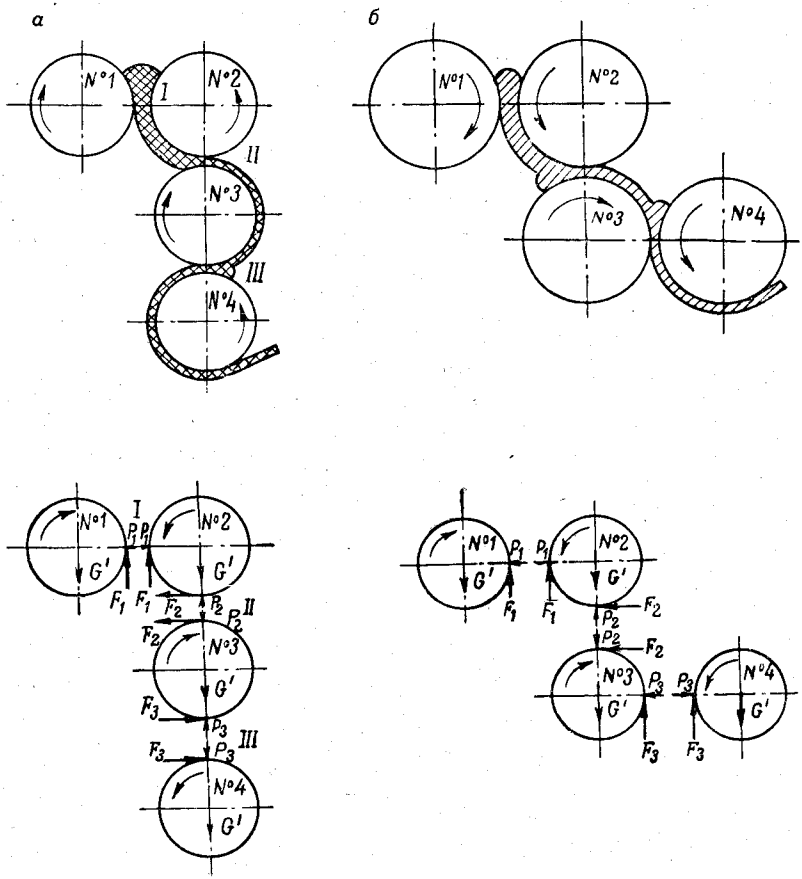


Рис. V.11. Схемы процесса (вверху) и действия сил (внизу) при работе Г-образного (*а*) и Z-образного (*б*) каландра.

на калибровании листа, так как направление распорных усилий в предыдущем зазоре параллельно последующему. Именно поэтому в настоящее время наметился переход к Z-образной и особенно к S-образной схеме каландра.

Направление сил в S-образной схеме такое же, как и в Z-образной схеме. Поэтому S-образная схема применяется исключительно для уменьшения габаритных размеров каландра.

Необходимо отметить также, что для листования, профилирования, обмазки и обкладки необходимы каландры с постоянным зазо-

ром. Для тиснения, дублирования и глажения можно использовать каландры, допускающие изменение величины зазора и давления валков на материал.

Рассмотрим конструкцию промышленного каландра для переработки полимерных материалов. На рис. V.12 представлен четырехвалковый Г-образный каландр с валками размером 710 × 1800 *мм* для получения поливинилхлоридной пленки.

Валки *13—15*, *17* установлены на подшипниках скольжения на станине *18*, состоящей из двух частей. Вверху обе части станины связаны между собой сварными траверсами *3*. Подшипники валков *14*, *15*, *17* могут перемещаться для создания зазора (до 40 *мм*) между валками при помощи механизмов регулирования зазора *5*, расположенных с каждой стороны валка по его образующей. Для обеспечения заданной толщины каландруемой пленки предусмотрены механизмы *1*, выбирающие люфты в подшипниках и в звеньях механизмов для регулирования зазоров *5*. Эти механизмы — трехступенчатые червячные редукторы с электродвигателями мощностью 1,5 *квт* при 1000 *об/мин*.

Для компенсации неровности толщины пленки по ширине предусмотрено устройство *6* и гидроцилиндры *2*, обеспечивающие перекрещивание оси среднего валка по отношению к верхнему и нижнему валкам (см. ниже § 4).

Материал подается питателем *16* в зазор между верхним *15* и выносным *17* валками. Для ограничения растекания смеси вдоль валков имеются ограничительные стрелы. Обрезанные ножом боковые кромки пленки возвращаются обратно в зазор между валками *15* и *17*. На барабане *12* пленка предварительно охлаждается и поступает на охлаждающее устройство *11*.

Механизм регулирования зазора между валками каландра аналогичен такому же устройству для вальцев. Однако необходимость независимого изменения зазоров у каждой пары валков несколько усложняет конструкцию этих узлов.

Принципиальная схема регулирования зазоров трех валков каландра приведена на рис. V.13.

Горизонтальный валик *3* приводится во вращение электродвигателем *1* или вручную маховиком *15*. Переключение с механического привода на ручной осуществляется поворотом рукоятки *2*. От валика *3* вращение передается конической передачей *16* на вертикальные сочлененные валы *4* и *17*, соединяющиеся с помощью муфт *12* и *13* с одной из червячных передач *5* и *14*. Горизонтальные валы *7* и *10* служат для одновременного поворота регулировочных винтов *6*, *8*, *9* и *11*.

Рассмотренная схема является типовой для всех других каландров. Регулирование зазоров Г- и Z-образных каландров производится принципиально также с дополнительным более простым механизмом для перемещения выносного валика (рис. V.14).

Валки обогреваются и охлаждаются циркулирующим по их внутренней полости теплоносителем. Рабочая температура валков при

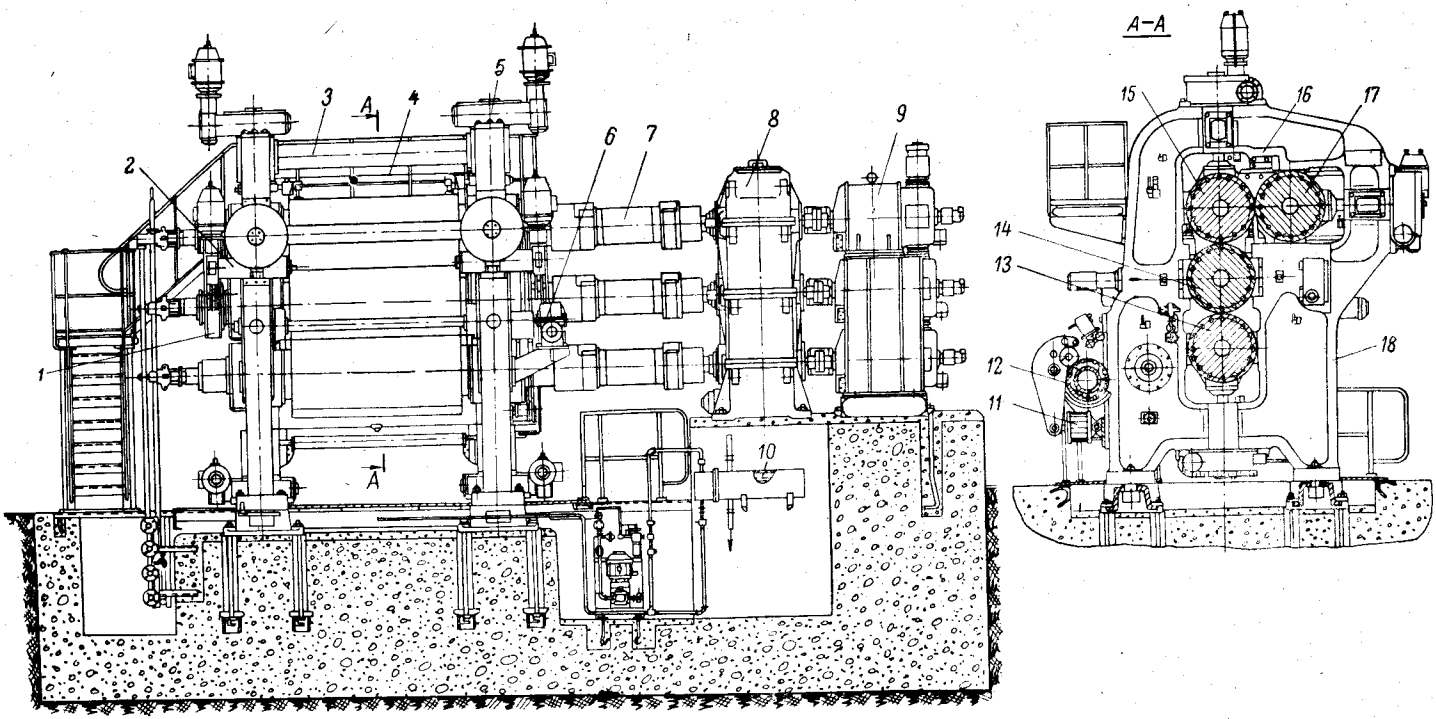


Рис. V.12. Четырехвалковый каландр для производства поливинилхлоридной пленки:

1 — механизм для выбора люфтов в подшипниках; *2* — гидроцилиндр; *3* — траверса; *4* — предохранительное устройство; *5* — механизм для регулирования зазора; *6* — устройство для перекрещивания валка; *7* — шпиндель; *8* — блок-редуктор; *9* — электродвигатель; *10* — автоматическая станция; *11* — охлаждающее устройство; *12* — барабан; *13—15, 17* — валки; *16* — питатель; *18* — станина.

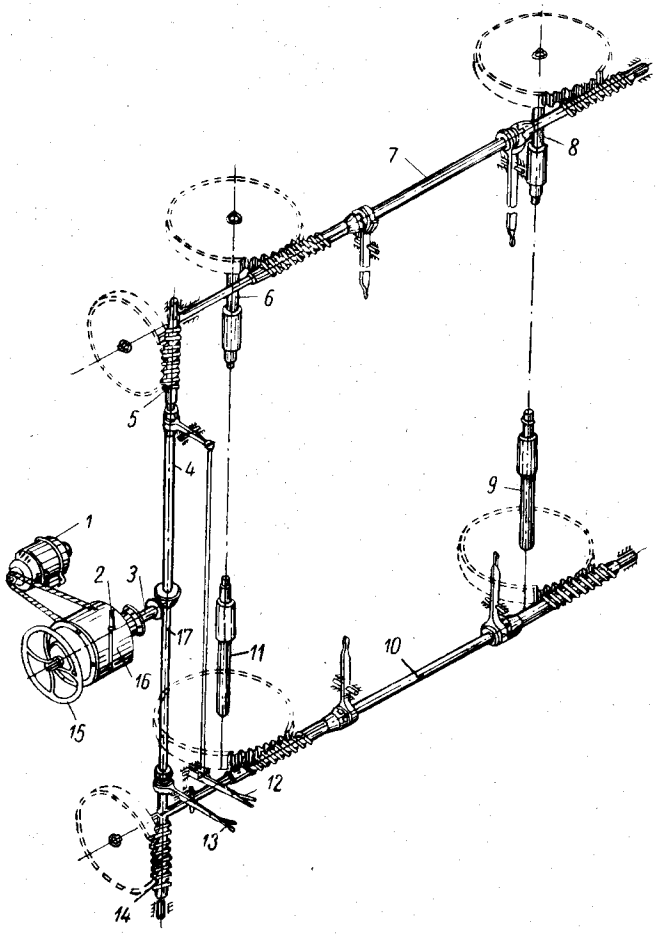


Рис. V.13. Привод механизма регулирования зазора в трехвалковом каландре:

1 — электродвигатель; *2* — рукоятка; *3* — валик; *4*, *17* — вертикальные валы; *5*, *14* — червячные передачи; *6*, *8*, *9*, *11* — регулировочные винты; *7*, *10* — горизонтальные валы; *12*, *13* — муфты; *15* — маховик; *16* — коническая передача.

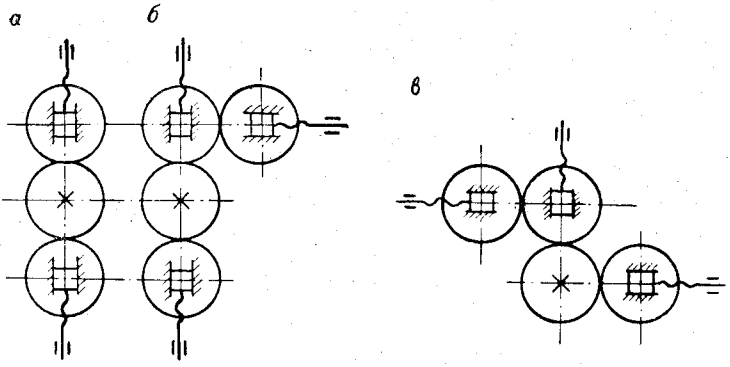


Рис. V.14. Схемы расположения механизмов для регулирования зазора:

а — на трехвалковом вертикальном каландре; *б* — на четырехвалковом Г-образном каландре; *в* — на Z-образном каландре.

переработке поливинилхлорида составляет 180 ± 1,5° С. Заданная точность поддерживается станцией *10* (см. рис. V.12), состоящей из четырех (по числу валков) установок. Для проведения нормального процесса каландрования необходимо подводить, а не удалять тепло от рабочих поверхностей валков. Это объясняется высокой производительностью каландров при однократном прохождении материала и сравнительно небольшой деформацией материала по высоте.

Уравнение теплового баланса для данного процесса будет иметь вид:

$$Q_в = G_м (i_{кон} - i_{нач}) + Q_{пот} - Q_N \qquad (V.32)$$

где $Q_в$ — количество тепла, подводимого к валку жидким теплоносителем или паром; $Q_{пот}$ — количество тепла, уходящего от валков в окружающую среду (потери); Q_N — количество тепла, получаемого за счет превращения механической энергии в тепловую при деформации материала; $G_м$ — количество материала, поступающего на переработку; $i_{нач}$, $i_{кон}$ — энтальпия полимера при начальной и конечной температурах каландрования соответственно.

Величину $Q_в$ можно определить по формуле:

$$Q_в = G_т c_т (t'_{нач} - t'_{кон}) \qquad (V.33)$$

где $G_т$ — расход жидкого теплоносителя; $c_т$ — удельная теплоемкость теплоносителя; $t'_{нач}$, $t'_{кон}$ — начальная и конечная температуры теплоносителя (на входе в валок и выходе из него) соответственно.

Расход теплоносителя находится следующим образом:

$$G_т = F_{кан} v_т \qquad (V.34)$$

где $F_{кан}$ — площадь поперечного сечения канала (или каналов); $v_т$ — скорость теплоносителя в канале валка.

Когда теплоносителем является насыщенный пар, величина $Q_в$ рассчитывается по уравнению:

$$Q_в = G_п (i_п - i_{конд}) \qquad (V.35)$$

где $G_п$ — количество поступающего для обогрева пара; $i_п$ — энтальпия пара при выбранном давлении; $i_{конд}$ — энтальпия конденсата.

Площадь соприкосновения валка каландра с обрабатываемым материалом будет равна:

$$F = \Theta \frac{2\pi R}{360} L \qquad (V.36)$$

где R — радиус бочки (рабочей части) валка; L — длина бочки валка; Θ — центральный угол обхвата валка перерабатываемым материалом.

Величина F может быть использована затем при расчете количества тепловой энергии, которая передается от теплоносителя полимеру.

Привод каландра (см. рис. V.12) для каждого валка — индивидуальный. Он осуществляется от электродвигателя *9* постоянного

тока через блок-редуктор *8* и универсальные шпиндели *7*. Индивидуальный привод на каждый валок обеспечивает переменную фрикцию между валками и скорость вращения валков в широком диапазоне (от 6 до 60 *м/мин*).

Мощность каждого электродвигателя составляет 75 *квт* при 1250 *об/мин*. Сначала на каландрах применялся центробежный электродвигатель с зубчатыми передатчиками ко всем валкам, затем — индивидуальный привод только к последнему валку (что позволило

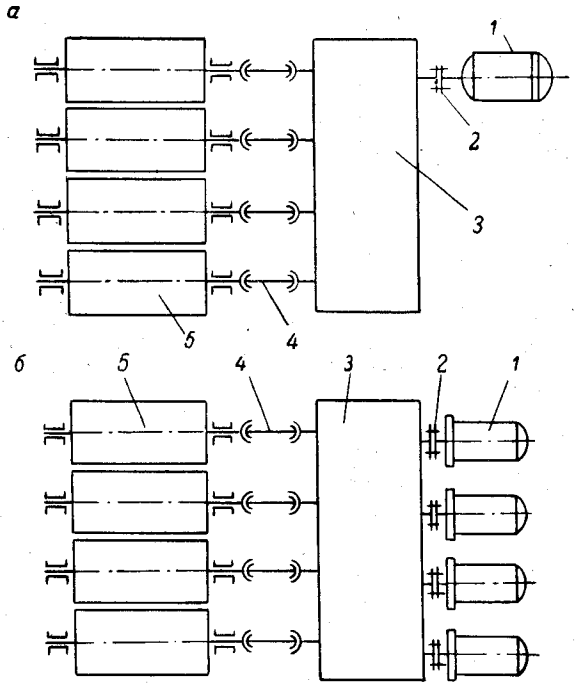


Рис. V.15. Кинематическая схема каландра с приводом от блок-редуктора:
1 — электродвигатель; *2* — муфта; *3* — блок-редуктор; *4* — универсальный шпиндель; *5* — валок.

устанавливать любую фрикцию между этим и предпоследним валками). Современный привод с блок-редукторами и универсальными шпинделями или шарнирными муфтами может быть с одним электродвигателем (рис. V.15, *а*) или с фланцевыми электродвигателями, передающими вращение каждому валку каландра через блок-редуктор (рис. V.15, *б*).

Схему привода с блок-редукторами в общем целесообразно выбирать для машин, производящих пленку.

При изготовлении толстых листов (например, линолеума) следует выбирать привод от электродвигателя с фрикционными зубчатыми колесами.

Ввиду того что при передаче крутящего момента зубчатыми колесами распорные усилия их дополнительно изгибают валки, каландры с передачей движения на валки с помощью фрикционных колес не обеспечивают достаточной точности и качества изделий.

Следует отметить еще ряд вопросов, связанных с эксплуатацией каландров.

Запуск каландров в работу осуществляется с помощью электродвигателей постоянного, а иногда переменного тока. Смазка подшипников валков каландра — циркуляционная. Применяется централизованная система, работающая на жидком масле (МК-22). В зависимости от режима эксплуатации масло либо подогревается, либо охлаждается. Давление масла может доходить до 0,5 $Мн/м^2$.

Каждый каландр снабжается рядом вспомогательных устройств: закаточными и раскаточными приспособлениями, питающими транспортерами, охлаждающими барабанами, ширительными валками (устанавливаемыми для предотвращения образования складок ленты), пудрильным устройством.

Для обеспечения нормальной работы каландра необходимо контролировать следующие параметры: 1) температуру валков и подшипников; 2) температуру перерабатываемой смеси; 3) скорость вращения валков; 4) величины зазоров между валками; 5) толщину (калибр) выпускаемого материала; 6) производительность машины; 7) мощность, потребляемую либо каждым валком (при раздельном приводе), либо всей машиной.

Температуры валков, корпусов подшипников и перерабатываемой смеси измеряются, как и в вальцах.

Толщина выпускаемого материала контролируется калибромерами (ручным, механическим, индукционным, пневматическим, емкостным) или радиоактивным толщиномером, обеспечивающим высокую точность.

В новейших конструкциях каландров предусмотрено автоматическое регулирование зазора. Система автоматического измерения и регулирования зазора состоит из калибромера, электронного регулятора и исполнительных механизмов передвижения валков каландра.

Внедрение в промышленность автоматических систем регулирования зазора дает большой экономический эффект.

Производительность каландра, выражаемая в метрах переработанного материала, определяется по показанию счетчика метража, который представляет собой механический интегратор оборотов с датчиком в виде колесика с калиброванной длиной окружности. Колесико вращается с окружной скоростью, равной скорости движения ленты материала.

Потребляемая мощность определяется по показаниям ваттметров или вольтметра и амперметров, установленных в цепи электродвигателей каждого валка.

Для аварийной остановки каландра предусмотрено специальное устройство, состоящее из тросов, соединенных с конечными выключателями. При нажиме на трос каландр останавливается.

§ 3. ВАЛКОВЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЛЕНОК

В настоящее время валковые установки широко применяются в промышленности. Они состоят из ряда машин с обязательным включением в технологическую цепь вальцев и каландров. Рассмотрим устройство двух валковых установок *.

Типовая валковая установка схематично представлена на рис. V.16.

Масса из смесителя *1* проходит двухвалковые вальцы *2* и в виде непрерывной ленты с более или менее постоянными размерами подается в червячную машину *3*, из которой затем попадает на четырехвалковый каландр *4*. В червячной машине смесь очищается

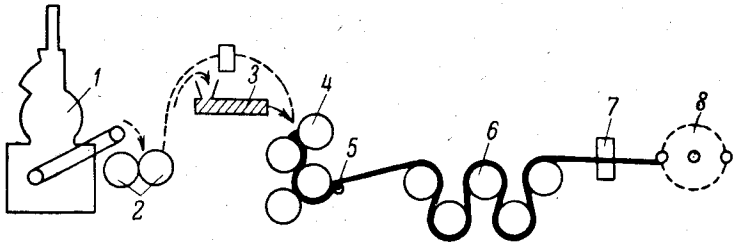


Рис. V.16. Схема валковой установки для получения термопластичной пленки:

1 — смеситель; *2* — вальцы; *3* — червячная машина; *4* — S-образный четырехвалковый каландр; *5* — натяжной ролик; *6* — охлаждающие барабаны; *7* — толщиномер; *8* — приемное устройство.

фильтрующими сетками. Поступающий материал проходит последовательно через три зазора. При этом происходит дополнительное смешение и образование пленки заданной толщины. Переход этой пленки с одного валка на другой является результатом совместного воздействия разности температур, окружных скоростей и различия в качестве обработки поверхности валков. Затем пленка отбирается вращающимся с большой окружной скоростью натяжным роликом *5*, который можно использовать для продольной вытяжки с целью дальнейшего уменьшения толщины пленки. Качество поверхности готовой пленки определяется качеством поверхности пары валков и каландра. Окончательная отделка может осуществляться также полирующим устройством, которое устанавливается между отборочным роликом и охлаждающими барабанами.

Ширина пленки определяется расстоянием между ножами на нижнем валке каландра. Толщина пленки контролируется при помощи датчиков. Для этого, помимо правильно установленного зазора,

---

* Описание заимствовано из книги: Ю. Е. Лукач, Д. Д. Рябинин, Б. Н. Метлов, Валковые машины для переработки пластмасс и резиновых смесей, Изд. «Машиностроение», 1967.

требуется точное соблюдение температурного режима. Рабочая скорость каландрования при производстве пленок достигает 30 *м/мин*.

Промышленная установка для производства поливинилхлоридной пленки (ширина 1600 *мм*, толщина 0,3 *мм*) и нанесения клеющего слоя на пленку показана на рис. V.17. Расход пластифицированного поливинилхлорида при максимальной скорости 60 *м/мин* составляет $\leqslant$750 *кг/ч*.

Дозированные по рецепту компоненты через бункер *3* и коллектор *19* поступают в двухстадийные смесители *2* для предварительного перемешивания. Из этих смесителей пластифицированная порошкообразная масса подается в бункер с перемешивающим устройством, откуда поступает в червячный осциллирующий смеситель *1*

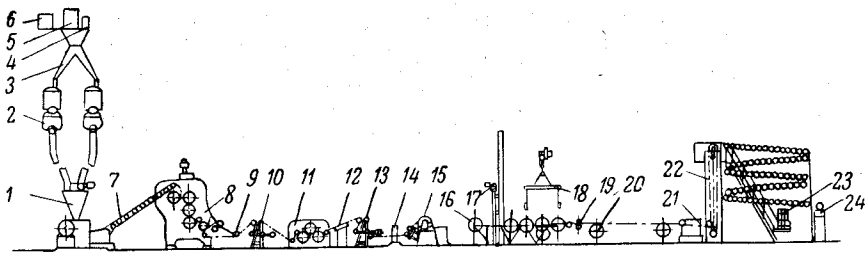


Рис. V.17. Валковая установка для получения пленок из поливинилхлорида с подклеивающим слоем:

1 — червячный осциллирующий смеситель (ЧОС-300-1); *2* — двухстадийный смеситель; *3* — бункер; *4—6* — автоматические дозировочные весы; *7* — качающийся транспортер-питатель; *8* — Г-образный четырехвалковый каландр 710 × 1800 *мм*; *9* — отклоняющий барабан; *10*, *13* — регулятор натяжения пленки; *11* — охлаждающее устройство; *12* — прибор для снятия статического электричества; *14* — радиоизотопный толщиномер РТП2-65; *15* — намоточное устройство; *16* — магнитный сепаратор; *17* — накопитель; *18* — грузозахватное устройство; *19* — коллектор; *20* — установка для нанесения клея и сушки пленки; *21* — автомат для намотки липкой пленки; *22* — стеллаж-конвейер для 48-часовой выдержки рулонов; *23* — станок для поперечной резки рулонов; *24* — загрузочный транспортер.

(ЧОС-300-1). Окончательно перемешанная масса движется непрерывно в виде жгута на качающийся питатель *7*, который равномерно загружает каландр *8*. На четырехвалковом Г-образном каландре происходит окончательная переработка массы и формование пленки.

С нижнего валка каландра пленка поступает на направляющий ролик (где происходит контроль толщины), а затем на тиснильное устройство или, минуя его, через регулятор натяжения пленки *10* на охлаждающее устройство *11*.

В устройстве *11* пленка постепенно охлаждается на трех барабанах, затем проходит установку *12* для съема электростатических зарядов, регулятор натяжения пленки *13*, радиоизотопную установку *14* для замера толщины пленки и поступает на намоточное устройство *15*. Пленка наматывается в рулоны диаметром 800 *мм*. Готовые рулоны тельфером подаются на накопитель *17* с дверью, откуда поступают на установку *20* для нанесения клея и сушки пленки.

Установка *20* представляет собой ленточный транспортер, помещенный в сушильную камеру тоннельного типа. В передней части

установки на раме транспортера монтируется устройство для размотки рулона. Рулон пленки помещают в центре размоточного устройства. С помощью тормоза создается определенное натяжение пленки. Для контроля наличия пленки на рулоне к нему постоянно прижимается ролик устройства контроля пленки, установленный на рычаге с противовесом. При достижении определенного диаметра разматываемого рулона рычаг воздействует на конечный выключатель ВКМ-811, дающий сигнал на остановку транспортера и станка намотки липкой пленки *21*, а также на прекращение подачи клея. Механизм для нанесения клея состоит из приводного ролика, ножа, стола, ограничительных ножей и рамы. Приводной ролик обогревается горячей водой с температурой 95° С. Нож, при помощи которого устанавливают толщину слоя клея на пленке, может регулироваться в трех направлениях. Клей на пленку подается из бака, расположенного над узлом нанесения клея. Бак обогревается горячей водой с целью поддержания постоянной температуры. Наличие клея в баке контролируется электрическим уровнемером, который включает насос подачи клея, если уровень падает ниже заданного. Для регулирования подачи клея из бака предусмотрен клапан КРП-15Т с пневматическим приводом. Управление клапаном — электрическое.

После того как на пленку нанесен слой клея, она поступает в сушильную камеру. Сушильная камера представляет собой сооружение длиной 13 *м* с сечением в свету 1900 × 3500 *мм*. Внутри ее имеется транспортер.

В сушильной камере происходит испарение растворителя (этилацетата) и придание требуемых качеств клеящему слою. Камера оснащена приточно-вытяжной вентиляцией. Предусмотрена аварийная вытяжная вентиляция, которая включается от импульса датчика сигнализатора взрывобезопасной концентрации паров растворителя. Температура в камере 60—80° С, скорость ленты транспортера 5 *м/мин*.

После сушильной камеры липкая пленка поступает на автомат намотки *21*. На раме намотки липкой пленки смонтированы пневматические цилиндры, которые осуществляют перезарядку автомата при достижении рулоном диаметра 250 *мм* и передают его на стеллаж-конвейер *9*.

Стеллаж-конвейер состоит из транспортера элеваторного типа и стеллажа. Он предназначен для приема липкой пленки, транспортирования и выдержки рулонов в течение 48 *ч*.

Снаружи стеллажа в месте выхода рулонов смонтирован отсекатель, предназначенный для автоматической передачи на загрузочный транспортер *24* одного рулона через заданный промежуток времени. Для обеспечения автоматического режима работы на стеллаже-конвейере установлены три конечных выключателя: в месте приемки рулона на элеватор, в месте перекладывания рулона с элеватора на стеллаж и в месте выхода рулона со стеллажа на загрузочный транспортер. Загрузочный транспортер автоматически подает рулоны в накопитель.

Из накопителя загрузочного транспортера рулоны поступают в станок *23* для поперечной резки, а затем бобины пленки подаются на упаковочный станок.

Общая мощность электродвигателей равна 1060 *квт* при длине установки 53 *м*.

* * *

При работе на валковом оборудовании необходимо подавать предупредительный сигнал о пуске агрегата. Машины должны быть оснащены устройствами для удаления статического электричества и иметь исправные ограждения и надежные блокировочные механизмы. Для уменьшения тепловыделений в производственных помещениях все нагревательные устройства, паропроводы и трубы для жидкого теплоносителя должны иметь тепловую изоляцию.

§ 4. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ ВАЛКОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

К основным узлам валкового оборудования относятся: валки, подшипники, фундаментные плиты и станины.

В а л к и являются основными рабочими узлами вальцев и каландров. При работе они подвергаются значительному истиранию по поверхности и действию больших распорных усилий. Средняя часть валка, соприкасающаяся с перерабатываемым материалом, называется бочкой. По обе стороны ее расположены шейки (цапфы) валка, которыми он опирается на подшипники. Концевые цилиндрические части валка, предназначенные для соединения с зубчатым колесом, муфтой или шпинделем, имеют шлицевые или шпоночные канавки. В зависимости от назначения поверхность валков выполняется гладкой или рифленой.

В каландрах последних конструкций для ускорения нагрева наружной поверхности, улучшения регулирования теплового режима и уменьшения тепловой инерции каналы высверлены по периферии валков. Они расположены равномерно по окружности на расстоянии 25—40 *мм* от поверхности валка. Диаметр каналов 30—40 *мм*.

Для некоторых вальцев, например рафинировочных, валки изготавливают с бомбировкой (бочкообразные). Величина бомбировки составляет 0,075—0,375 *мм*. Бомбированные валки требуют более внимательного ухода, так как работают в более тяжелых условиях. Из-за быстрого износа бомбировки валки необходимо периодически перешлифовывать.

Средняя часть валка каландра также имеет бочкообразную форму для компенсации прогиба от распорных усилий, но может быть и цилиндрической (при использовании других методов компенсации).

Валки вальцев и каландров выполняются полыми, их внутренние поверхности растачиваются. Теплоноситель подводится во внутреннюю полость валка.

Рабочая поверхность валков шлифуется, а в некоторых случаях валки каландров полируются, так как выпускаемые на каландре изделия (листы, пленки) должны быть гладкими.

Валки изготавливают в основном из серого чугуна СЧ 15-32 с отбеленной рабочей поверхностью бочки (твердость HRC = 43 ÷ 60, глубина отбеленного слоя 8—18 *мм*).

Размеры валков вальцев и каландров (диаметр бочки и ее длины) нормализованы.

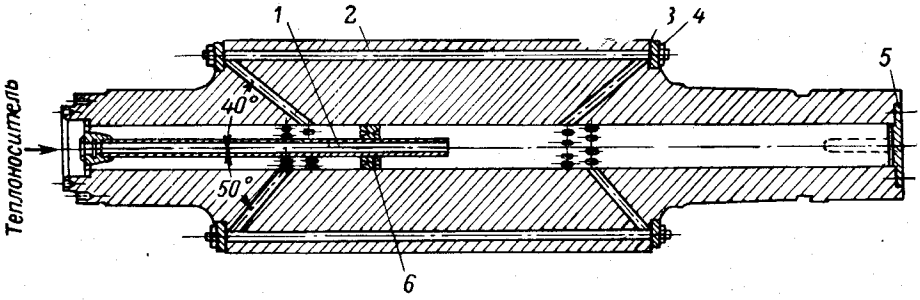


Рис. V.18. Валок с периферийными отверстиями в сборе:

1— труба; *2* — каналы; *3* — прокладка; *4* — кольцо; *5* — заглушка; *6* — уплотнительный поршень.

Рассмотрим типовые конструкции валков.

Валок в сборе изображен на рис. V.18. Каналы *2* в валке — периферийные. Правая сторона валка закрыта заглушкой *5*. Во внутреннюю полость валка введена труба *1* (с уплотнительным поршнем *6*) для подачи теплоносителя с левой стороны. Теплоноситель поступает

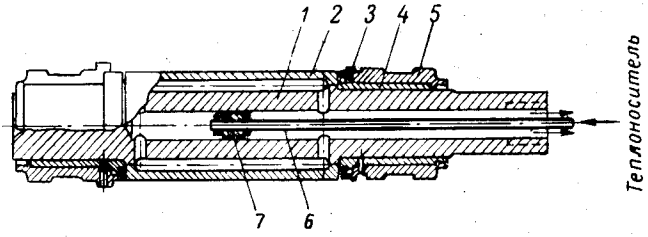


Рис. V.19. Валок составной:

1 — корпус; *2* — рубашка; *3* — кольцо; *4* — корпус подшипника; *5* — втулка подшипника; *6* — труба; *7* — уплотнительное кольцо.

внутрь трубы и далее движется по наклонным каналам, просверленным в корпусе валка. Каждый такой канал соединен с горизонтальным каналом охлаждения. Пройдя по этим каналам, теплоноситель попадает в левые наклонные каналы и по межтрубному пространству идет на слив.

С торца бочки валка каналы закрыты кольцом *4* и уплотнительной прокладкой *3*.

Составные валки (рис. V.19) широко применяются в конструкциях лабораторных каландров. Интенсивная циркуляция теплоносителя в кольцевом пространстве между стальным корпусом *1* валка и рубашкой *2* позволяет уменьшить тепловую инерцию, повысить коэффициент теплоотдачи и способствует более равномерному распределению температуры на поверхности валка. Рубашка изготавливается из стали и подвергается закалке.

Профильные валки (рис. V.20), используемые в конструкциях профильных каландров, обычно делаются сборными (для уменьшения простоя каландра при переходе на выпуск листов с другим профилем или рисунком поверхности).

Сменная оболочка может быть цельной (стакан) или разъемной (скорлупа). В последнем случае скорлупа *3* имеет разъем по диаметральной плоскости. Проворачиванию ее на корпусе *5* препятствуют длинные шпонки *4* на каждой половине скорлупы. Закрепление скорлупы на корпусе валка осуществляется посредством кольцевой гайки

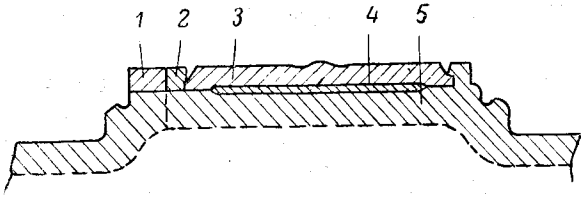


Рис. V.20. Валок профильный:

1 — контргайка; *2* — кольцевая гайка; *3* — скорлупа; *4* — шпонка; *5* — корпус.

2 с контргайкой *1*, прижимающих скорлупу к специальному борту корпуса. Во избежание отвертывания гайки резьба на корпусе имеет направление, обратное вращению.

Профильные валки обычно изготавливают из стали (чугун не пригоден, поскольку он не дает достаточно тонкого рисунка при гравировке и трудно обрабатывается при создании профиля).

Интенсивность охлаждения валков влияет на многие технологические факторы и работу установки в целом.

Различают два способа охлаждения валков: открытый и закрытый. При открытом способе (рис. V.21, *а*) охлаждающая вода подводится по трубопроводу *3*, проходящему во внутреннюю полость валка *2*. Для выхода воды на внутреннем участке трубопровода по всей длине рабочей части валка и на определенном расстоянии друг от друга имеются отверстия или форсунки, через которые вода со скоростью 6—12 *м/сек* разбрызгивается, орошая поверхность валков (обычно со стороны зазора). Далее вода собирается внизу и заполняет полость валка. Через внутреннее отверстие вода попадает в сливную воронку, затем в сборник и канализацию. Центровка трубы *3* обеспечивается втулкой *4* и заглушкой *1*.

Применение форсунок в случае загрязненной воды нецелесообразно, так как они быстро засоряются и уменьшают степень охлажде-

ния валка по сравнению с обычным разбрызгиванием воды через отверстия. Благодаря простоте устройства и возможности интенсивного охлаждения валков этот способ получил очень широкое применение в резиновом производстве.

Закрытый способ (рис. V.21, *б*) позволяет производить охлаждение валков водой либо обогрев их паром. Охлаждающая вода поступает по трубе, полностью заполняет внутреннюю полость валка и отводится тоже по трубе. Отвод воды от внутренней поверхности валка осуществляется при меньшей, по сравнению с открытым способом, скорости. Это приводит к снижению скорости охлаждения валка.

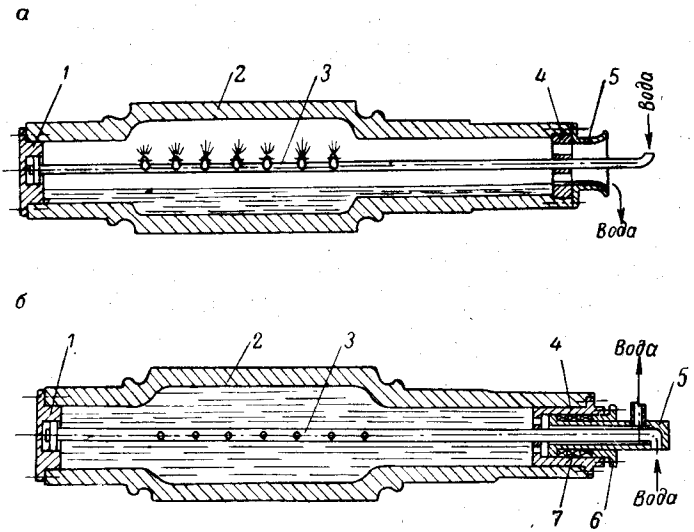


Рис. V.21. Открытый (*а*) и закрытый (*б*) способы охлаждения валков:

1 — заглушка; *2* — валок; *3* — труба с отверстиями; *4* — направляющая втулка; *5* — распределитель; *6* — сальниковая втулка; *7* — сальник.

Сложность конструкции и малая интенсивность охлаждения валков затрудняют широкое использование такого способа. Он применяется лишь в тех случаях, когда необходимо не только охлаждать, но и обогревать валки.

Как было отмечено выше, конструкции валков позволяют в некоторых случаях компенсировать прогиб.

Прогиб валков, точнее разность прогибов Δy, в середине бочки и у ее краев (рис. V.22) определяется по формуле:

$$\Delta y = \frac{Pb}{8}\left[\frac{b\,(12a-7b)}{48E_{в}I}+\frac{1}{G_{сдв}F}\right] \qquad (V.37)$$

где P — распорное усилие; a — расстояние между опорами подшипников; b — ширина ленты; $E_{в}$ — модуль упругости материала валка; I — момент инерции сечения бочки; $G_{сдв}$ — модуль сдвига; F — площадь поперечного сечения бочки.

Существует три основных способа компенсации прогиба: бомбировка, контризгиб валков, перекрещивание валков.

Наиболее распространен метод бомбировки. В данном случае диаметр средней части валка несколько больше, чем на его концах.

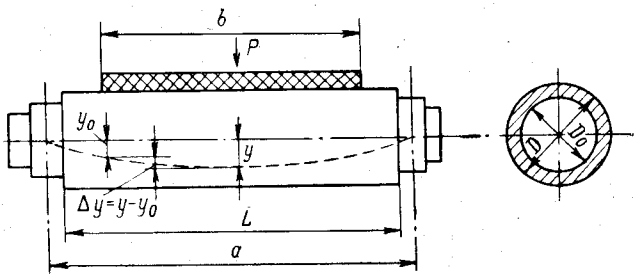


Рис. V.22. Схема прогиба валка.

Недостаток бомбировки состоит в том, что она компенсирует только определенный прогиб, установленный для данного каландра. Изменение технологических параметров процесса неизбежно вызывает декомпенсацию.

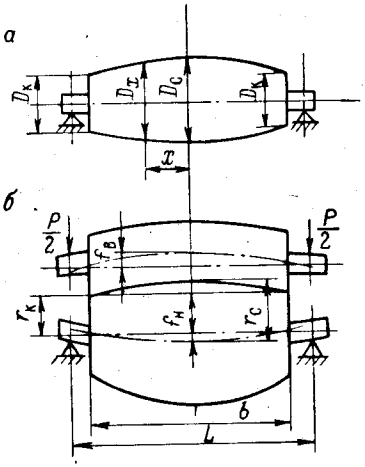


Рис. V.23. Расчетные схемы бомбировки:

а — величина бомбировки; *б* — прогиб валков под действием распорного усилия.

Рассмотрим расчетные схемы бомбировки. Из рис. V.23, *а* следует, что в любом сечении вала, отстоящем на расстоянии x от его середины, величина бомбировки равна:

$$\Delta D = D_c - D_x \qquad \text{(V.38)}$$

Бомбировка валков машины должна обеспечить одинаковое удельное давление по всей длине бочки валка. При этом, как показано на рис. V.23, *б*, середина верхнего валка прогибается вверх относительно его концов на величину $f_в$ под действием равномерно распределенной нагрузки, обусловленной распорным усилием P. Для того чтобы удельное давление по длине рабочей части валков было равномерным, радиус бомбированного валка (на рисунке — нижнего) $r_c = D_c/2$ должен быть больше радиуса $r_к = D_к/2$ на суммарную величину прогибов:

$$r_c = r_к + f_н + f_в$$

Отсюда

$$D_c = D_к + 2(f_н + f_в)$$

Учитывая уравнение (V.38), имеем:

$$\Delta D = 2(f_н + f_в) \qquad \text{(V.39)}$$

Распределение бомбировки между валками влияет на величину скольжения материала, обусловленную бомбировкой, а также на соотношение скорости листа в средней его части и по краям. Окружная скорость — наименьшая по краям, наибольшая — по середине валка. Если распределение бомбировки между валками произвести пропорционально их диаметрам, то не будет скольжения, обусловленного бомбировкой. Для этого следует соблюдать следующие соотношения:

$$\Delta D_{н} = \Delta D \frac{D_{в}}{D_{н} + D_{в}}; \quad \Delta D_{в} = \Delta D \frac{D_{н}}{D_{н} + D_{в}} \tag{V.40}$$

где $\Delta D_{н}$, $\Delta D_{в}$ — бомбировка нижнего и верхнего валка соответственно.

Для бочкообразных валков величина бомбировки обычно составляет 0,3—0,4 *мм*.

В многовалковом каландре неравенство прогибов потребовало бы различной величины бомбировки всех валков (рис. V.24). Поэтому разработаны другие методы, обеспечивающие более широкие возможности регулирования профиля изделия.

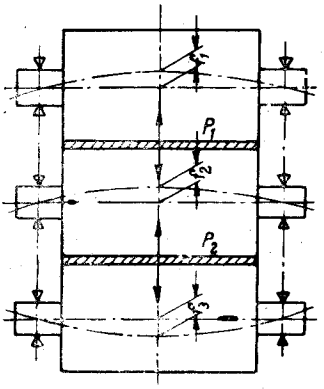


Рис. V.24. Схема прогибов валков при работе трехвалкового каландра.

При использовании метода контризгиба валков к их концам консольно прикладываются дополнительные силы, изменяемые по величине и направлению. В зависимости от направления рабочая часть валка прогнется либо вверх, либо вниз. Конструктивно эта схема выполняется следующим образом: по концам валков консольно устанавливаются дополнительные подшипники, на которые с помощью гидроцилиндра с плунжерами прикладываются определенные усилия.

Недостаток метода контризгиба валков состоит в значительной величине прикладываемого усилия, что вызывает дополнительные затраты мощности для преодоления трения в подшипниках и ухудшает условия работы машины. Поэтому данный метод не нашел широкого применения в производственных условиях.

Метод перекрещивания валков, наиболее широко применяемый в современных конструкциях каландров, лишен указанных выше недостатков. В данном случае валки устанавливают один относительно другого непараллельно (рис. V.25), при этом величина зазора будет минимальной в центре, а максимальной — в концевых сечениях.

Из рис. V.25 следует, что

$$(R + l)^2 = R^2 + x^2 \tag{V.41}$$

или

$$R^2 + 2Rl + l^2 = R^2 + x^2 \tag{V.42}$$

Величина R — полусумма диаметров валков:

$$R = \frac{D_н + D_в}{2}$$

В приведенных выше формулах приняты следующие обозначения: x — смещение концевых сечений в горизонтальной плоскости; l — зазор между валками в концевых сечениях.

Если величиной l^2 пренебречь, то из уравнения (V.42) получим:

$$l = \frac{x^2}{2R} = \frac{x^2}{D_н + D_в} \qquad (V.43)$$

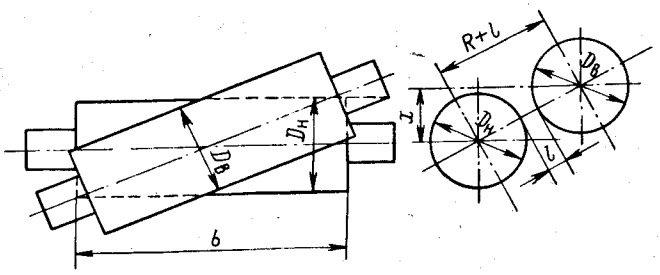


Рис. V.25. Схема перекрещивания валков.

Кроме того, $l = f_в + f_н$, следовательно

$$f_в + f_н = \frac{x^2}{D_н + D_в} \qquad (V.44)$$

где $f_н$ — прогиб рабочей части нижнего валка; $f_в$ — прогиб рабочей части верхнего валка.

Величина горизонтального смещения валков равна:

$$x = \sqrt{(f_н + f_в)(D_н + D_в)} \qquad (V.45)$$

Конструктивно перекос оси осуществляется смещением ее в плоскости, нормальной к плоскости расположения осей валков, или пространственным смещением оси одного валка относительно другого.

В первом случае механизм перекоса расположен в плоскости, нормальной к плоскости расположения осей валков.

В некоторых современных конструкциях каландров перекос валков осуществляется специальными клиновыми устройствами.

Во втором случае перекос осуществляется специальной конструкцией корпуса подшипника (рис. V.26). В наружный корпус *2* закрепляют внутренний корпус *1* со сферической поверхностью и небольшим эксцентриситетом относительно наружного. Вследствие этого ось валка при повороте внутреннего корпуса меняет свое пространственное положение. Наличие сферического корпуса делает цапфу самоустанавливающейся.

Подшипниковые узлы должны быть достаточно компактными, так как они размещаются в окнах станины, размеры кото-

рых ограничены условиями прочности и жесткости. Подшипники валков несут значительные радиальные нагрузки от распорных усилий.

Раньше широко применялись подшипники скольжения — с бронзовыми, текстолитовыми или комбинированными вкладышами.

Основным недостатком подшипников скольжения (помимо значительного тепловыделения) является возможность перекоса и защемления цапф во вкладышах при прогибе валков от распорного усилия. Для предотвращения этого зазор в подшипнике приходится несколько

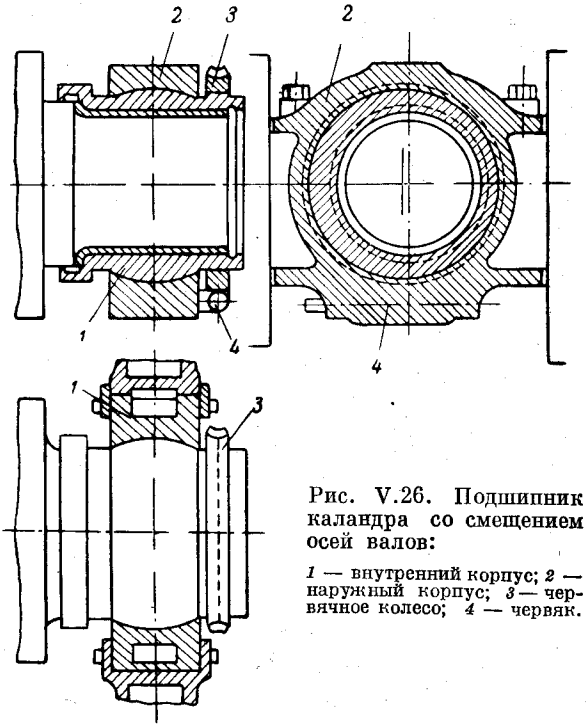


Рис. V.26. Подшипник каландра со смещением осей валов:

1 — внутренний корпус; *2* — наружный корпус; *3* — червячное колесо; *4* — червяк.

увеличивать, что ухудшает условия смазки. В связи с этим валковые машины в последнее время проектируются и изготовляются в подавляющем большинстве случаев с самоустанавливающимися подшипниками качения. Применение сферических роликоподшипников для валков и роликовых подшипников для приводного вала повышает надежность вальцев в эксплуатации и снижает потребляемую мощность на 20% при работе машины под нагрузкой и на 50% при холостом ходе.

Подшипниковый узел вальцев со стандартным сферическим роликоподшипником показан на рис. V.27. Осевые зазоры в лабиринтовых уплотнениях регулируются при помощи разрезных гаек *5*, которые затем стопорятся на резьбовой втулке *4* при помощи болтов. В нижней

части корпуса подшипника предусмотрены отверстия для промывки роликоподшипников.

Станины валковых машин воспринимают возникающие при работе статические и динамические нагрузки, обеспечивают неизменность относительного положения смонтированных на ней узлов и деталей, снижают амплитуды колебаний до допустимых пределов

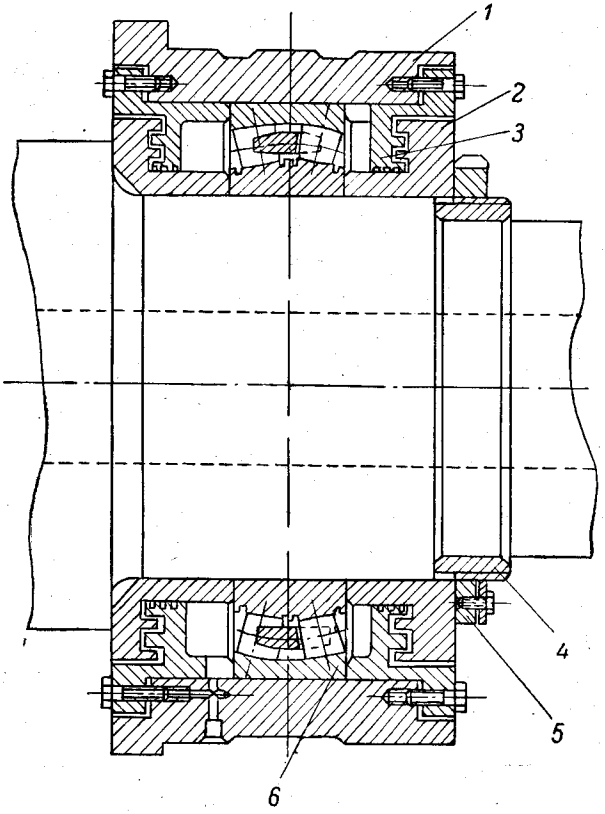


Рис. V.27. Подшипниковый узел современных валков:

1 — правый корпус подшипника; *2* — кольца; *3* — крышки; *4* — резьбовая втулка; *5* — разрезная гайка; *6* — сферический роликоподшипник.

и передают нагрузки на опорную плиту. Материалом станины в большинстве случаев является серый чугун марок СЧ 15-32 и СЧ 18-36, а иногда — сталь. Станины машин могут быть закрытыми и открытыми.

Закрытые станины представляют собой цельную чугунную отливку с обработанными поверхностями для установки и перемещения подшипников с валками. Основной недостаток станины такого типа — необходимость полного демонтажа вальцев в случае поломки верхней

поперечины. Вследствие этого вальцы с закрытым типом станин изготавливаются редко.

Открытая станина состоит из основания и верхней поперечины (траверсы), скрепляемых болтами. Обе стойки станины устанавливаются на общей фундаментальной плите и скрепляются поперечными стяжками.

Фундаментные плиты, воспринимающие статические и динамические нагрузки от станин, отливаются обычно из серого чугуна. В последние годы для машин малых размеров применяются железобетонные плиты. Фундаментная плита каландра должна иметь более развитую поверхность и быть более жесткой, массивной по сравнению с плитой для вальцев, чтобы выдержать вес каландра и его динамическую нагрузку.

ЛИТЕРАТУРА

Н. Г. Бекин, Н. П. Шанин, Оборудование заводов резиновой промышленности, Изд. «Химия», 1969.

Ю. Е. Лукач, Д. Д. Рябинин, Б. Н. Метлов, Валковые машины для переработки пластмасс и резиновых смесей, Изд. «Машиностроение», 1967.

Э. А. Спорягин, В. Н. Красовский, Оборудование заводов резиновой промышленности, Изд. «Вышэйшая школа», Минск, 1971.

Глава VI

ЭКСТРУЗИОННЫЕ МАШИНЫ И УСТАНОВКИ

§ 1. ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ, НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Экструзионные машины (экструдеры) и технологические установки на их основе применяются для производства пленок, листов, шлангов, труб и профильных (так называемых «погонажных») изделий из ненаполненных и наполненных термопластов (реже — реактопластов), а также вспененных материалов. Помимо этого с помощью экструдеров производится нанесение тонкослойных покрытий на бумагу, ткани, картон, дублирование пленок, нанесение пластмассовой изоляции на провода и кабели. Экструдеры применяются также для дегазации, окрашивания, обезвоживания, смешения, пластикации и пластификации термопластов, реактопластов, эластомеров.

Рассмотрим основные особенности экструзионной машины на примере одночервячного экструдера (рис. VI.1).

Вращаемый электродвигателем *2* через два клиновых шкива и зубчатый редуктор *4* червяк *10* захватывает из загрузочной воронки *8* материал, перемешивает его, пластицирует, сжимает и перемещает по своему винтовому каналу вдоль цилиндра *11*. С помощью червяка обеспечивается однородность (гомогенность) расплава и выдавливание через фильтрующие решетки (сетки) и экструзионную головку, устанавливаемые за фланцем *14* (слева).

Для регулирования давления расплава в головке и цилиндре экструдера применяют дроссельный клапан, расположенный обычно между головкой и передней частью червяка (на рисунке не показан). Цилиндр *11* разделен на несколько зон, в которых осуществляется автономный автоматический контроль и регулирование температуры. Каждая зона подключена к системам обогрева и охлаждения. Обогрев цилиндра осуществляется электрическими нагревателями *13* или жидким теплоносителем. Для охлаждения зон цилиндра водой предусмотрены каналы *9* и *12*. Охлаждение цилиндра может производиться также воздухом, нагнетаемым вентиляторами в кожухи цилиндра. Усилия, возникающие при вращении червяка, воспринимаются радиальными *6* и упорными *7* подшипниками. Для охлаждения в червяке просверлен продольный канал, в который вставлена

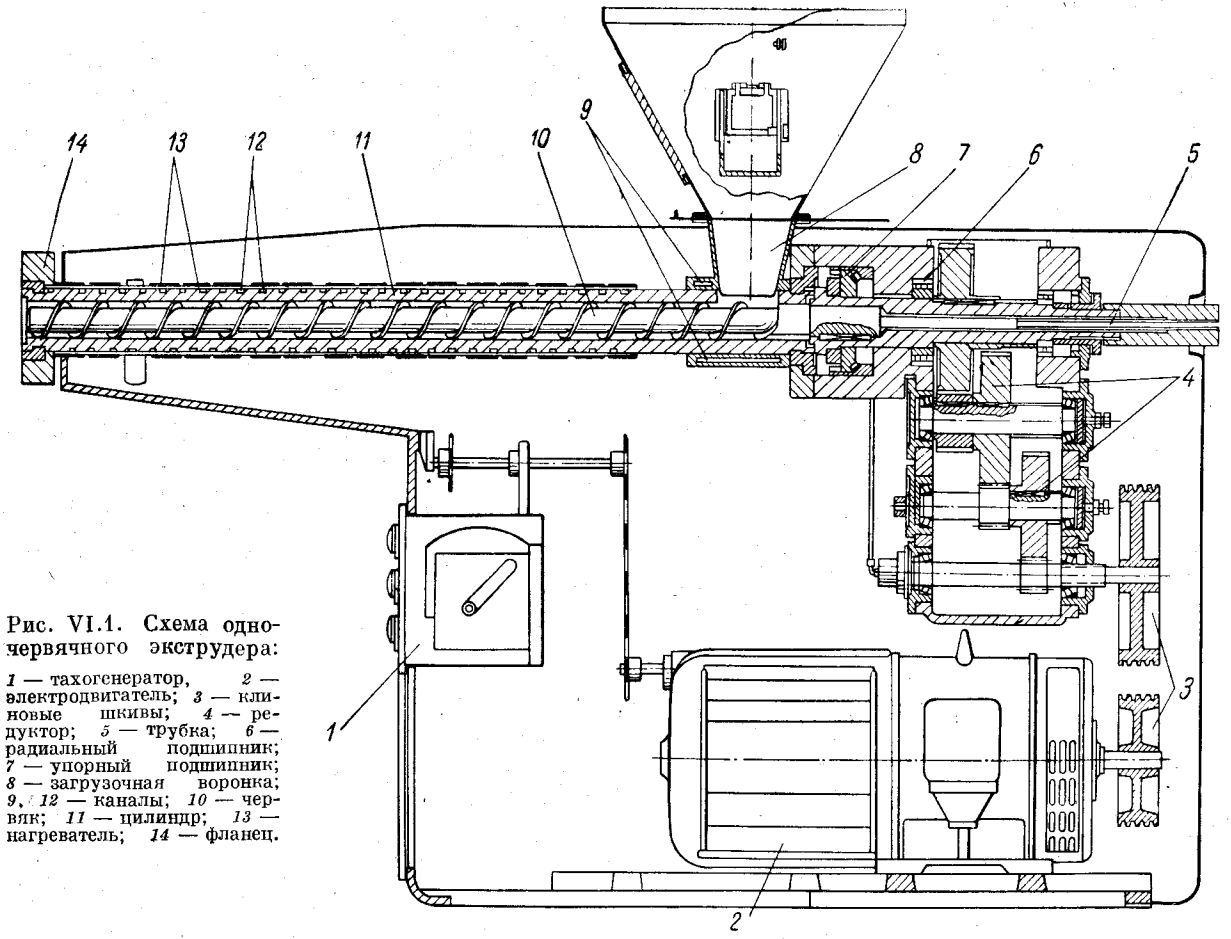


Рис. VI.1. Схема одночервячного экструдера:

1 — тахогенератор, *2* — электродвигатель; *3* — клиновые шкивы; *4* — редуктор; *5* — трубка; *6* — радиальный подшипник; *7* — упорный подшипник; *8* — загрузочная воронка; *9*, *12* — каналы; *10* — червяк; *11* — цилиндр; *13* — нагреватель; *14* — фланец.

трубка *5*. Измерение чисел оборотов червяка осуществляется тахогенератором *1*.

Нагнетающее действие червяка зависит от скорости его вращения, угла подъема винтовой линии и коэффициентов трения материала о стенки цилиндра и поверхность червяка. Эти коэффициенты зависят главным образом от свойств перерабатываемого материала и температуры поверхности цилиндра и червяка. Наиболее эффективное нагнетание происходит при одновременном максимальном трении материала о стенки цилиндра и минимальном трении о поверхность червяка (для достижения последнего условия червяк обычно охлаждают водой, однако следует помнить, что чрезмерное охлаждение снижает температуру экструдируемого материала, уменьшает развиваемое червяком давление и производительность экструдера).

Большое влияние на процесс экструзии оказывает температура цилиндра. Перегрев цилиндра вызывает термическую деструкцию прилегающих к поверхности цилиндра слоев материала, а повышение температуры загрузочной зоны цилиндра может привести к подплавлению материала, а это уменьшает возможность захватывания и подачи материала начальными витками червяка. Поэтому загрузочную зону цилиндра обычно также охлаждают водой, циркулирующей по каналам.

Кроме червяка, являющегося основным рабочим органом, все необходимые превращения материала могут осуществляться в экструдере с помощью поршня или диска.

По указанному признаку экструдеры разделяются на червячные *, поршневые, бесчервячные (дисковые, гидродинамические), а также комбинированные (дисково-червячные, червячные с плавильной плитой и т. д.).

Экструдеры могут быть с электрическим обогревом (омическим или индукционным), с обогревом при помощи теплоносителя (воды, пара, минерального масла) и без наружного обогрева.

В некоторых случаях конструкция цилиндра экструдера может предусматривать возможность применения вакуумного отсоса летучих веществ.

Привод червячных экструдеров осуществляется с помощью: электродвигателей переменного тока с вариатором или коробкой скоростей; коллекторных электродвигателей переменного тока с бесступенчатой регулировкой чисел оборотов; электродвигателей постоянного тока, включенных по схеме генератор — двигатель; гидравлических двигателей. Для регулирования чисел оборотов червячного экструдера применяются также электромагнитные муфты с электрическим управлением, работающие на принципе использования вихревых токов.

Выбор привода зависит от потребляемой мощности и типа экструдируемых изделий или характера осуществляемого технологического

---

* Червячные экструдеры называют также червячными (шнековыми) прессами или машинами.

процесса. При изготовлении пленки, листов, труб, а также при нанесении тонкослойных покрытий необходимо обеспечить стабильное равномерное выдавливание материала и плавное регулирование режима экструзии. Для этой цели применяют приводы, обеспечивающие бесступенчатое регулирование скорости вращения червяка. При смешении и пластикации материала допускается пульсирующая подача материала.

Механические вариаторы обычно применяются, если мощность электродвигателя не превышает 35 *квт*. Электродвигатели переменного и постоянного тока с регулируемыми числами оборотов устанавливаются на экструдерах различной мощности. Для уменьшения чисел оборотов применяются редукторы с цилиндрическими прямозубыми, шевронными или геликоидальными зубчатыми колесами, с червячными, цепными и клиноременными передачами.

Поршневые и дисковые экструдеры имеют ограниченное применение: первые — вследствие низкой производительности, вторые — из-за недостаточного давления, развиваемого дисковым рабочим органом машины. Поршневые экструдеры используются преимущественно для выдавливания стержней и шлангов из фторопластов.

Наибольшее распространение благодаря универсальности, высокой производительности и непрерывности автоматизированного процесса получили червячные экструдеры. Основными параметрами червячного экструдера является диаметр червяка, отношение его длины к диаметру (L/D), скорость вращения червяка, геометрические характеристики червяка: профиль винтового канала, гребня и головки, наличие канала для охлаждения, количество зон и т. д. Для переработки пластмасс используются экструдеры с диаметром червяка 9—500 *мм* и отношением $L/D = 6 \div 40$. Большинство универсальных одночервячных экструдеров, выпускаемых в СССР и за рубежом, имеют отношение $L/D = 20 \div 25$.

Червячные экструдеры классифицируются по ряду признаков и разделяются следующим образом: одночервячные и многочервячные; одностадийные и многостадийные; одноцилиндровые и многоцилиндровые; с простым профилем червяка (цилиндрический червяк с постоянным или переменным шагом, с переменной или постоянной глубиной канала) и со сложным профилем червяка (ступенчатым, прерывистым, коническим, параболическим, с винтообразными лопастями и кулачками и т. д.).

По величине скорости вращения червяка различаются нормальные экструдеры (до 150 *об/мин*), работающие обычно в политропическом режиме, и скоростные (свыше 150 *об/мин*), работающие в адиабатическом, точнее, автотермическом режиме. На большинстве экструдеров червяки неподвижны в осевом направлении, однако на некоторых машинах кроме вращательного движения червяк осуществляет и возвратно-поступательное (осциллирующее) движение.

В червячных экструдерах применяется воздушное, водяное или смешанное охлаждение. В зависимости от конструктивного исполнения различаются экструдеры горизонтальные и вертикальные,

стационарные и вращающиеся. Помимо универсальных, применяются также специальные червячные экструдеры.

Учитывая значение и распространенность в промышленности червячных экструдеров и установок, ниже рассматриваются конструкции их основных узлов (см. § 3 данной главы).

§ 2. РАСЧЕТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Расчет технологических параметров процесса экструзии следует начинать с анализа дозирующей зоны червяка.

В дозирующей зоне имеются три потока: прямой и обратный потоки (вдоль винтового канала червяка) и поток утечки через радиальные зазоры между гребнями червяка и внутренней поверхностью цилиндра. Поток утечки по сравнению с двумя другими потоками незначителен, поэтому в расчетах производительности им часто пренебрегают. В общем виде производительность дозирующей зоны определяют как разность между прямым потоком и суммой обратного потока и утечки.

Прямой поток обычно называют вынужденным, а обратный —потоком под давлением. Прямой поток расплава образуется вследствие относительного перемещения червяка и цилиндра. Материал, находящийся в замкнутом пространстве между сердечником *2* (рис. VI.2, *а*) червяка и внутренней поверхностью цилиндра *1*, подвергается деформации сдвига, и в результате воздействия стенок винтового канала (т. е. боковых поверхностей ребер *3*) на материал возникает его поступательное движение по каналу (прямой поток). Интенсивность прямого потока определяется в основном глубиной и шириной канала, диаметром червяка и скоростью его вращения.

Обратный поток по винтовому каналу червяка возникает под действием давления расплава перед головкой экструдера. Поскольку прямой поток обычно значительно больше обратного, наблюдается только уменьшение прямого потока на величину обратного потока и в канале не возникает поток материала в обратном направлении. Величина обратного потока зависит от глубины винтового канала, диаметра червяка, длины зоны выдавливания, величины давления расплава перед головкой и вязкости расплава.

Для определения объемной производительности необходимо математическое описание работы винтового насоса (упрощенной модели червячного экструдера), которое может быть получено при совместном решении уравнений, выражающих законы сохранения массы, энергии и количества движения, с уравнениями, описывающими физическое состояние нагнетаемой жидкости (расплава).

На рис. VI.2, *а* показан участок цилиндра с двухзаходным червяком. Хотя по конструктивным соображениям на большинстве экструдеров предусматривается вращение червяка при неподвижном цилиндре, для удобства рассуждений сделано допущение, что вращается цилиндр, а червяк неподвижен. При этом вдоль оси червяка перемещается в основном материал, который стремится «вращаться»

вместе с цилиндром, а не тот материал, который прилипает к червяку.

Положительные направления осей x, y, z неподвижной системы координат и вспомогательной оси l отмечены на рисунке стрелками. Ось y перпендикулярна плоскости разреза, ось z направлена вдоль, а ось x — поперек винтового канала, ось l — вдоль оси червяка.

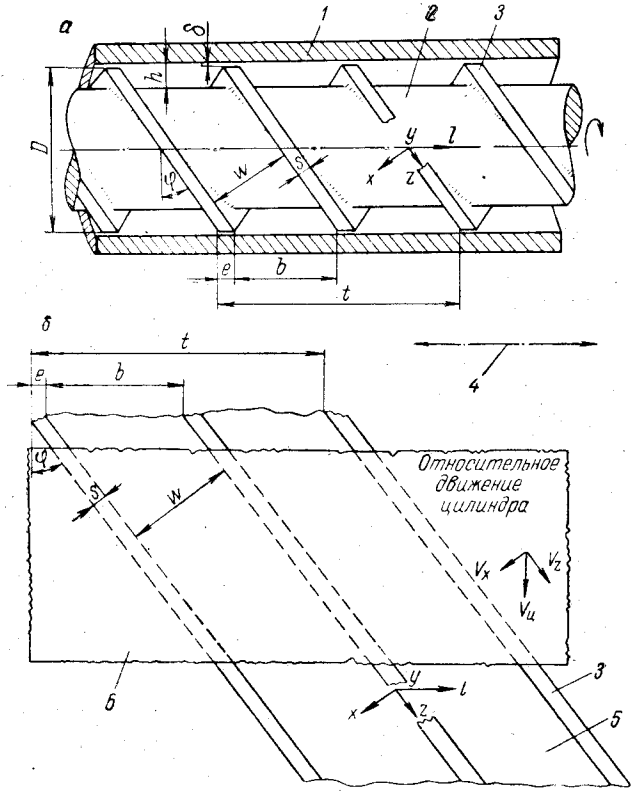


Рис. VI.2. Участок цилиндра экструдера с двухзаходным червяком:

а — общий вид; *б* — развернутая плоская схема; *1* — цилиндр; *2* — сердечник червяка; *3* — ребра; *4* — ось червяка; *5* — развернутые каналы червяка; *6* — развернутая в плоскость поверхность цилиндра.

Угол подъема винтовой линии канала φ увеличивается от минимального значения на наружном диаметре до максимального у сердечника червяка. Величина φ находится по зависимости:

$$\varphi = \operatorname{arc\,tg}\,(t/\pi D_x) \qquad \text{(VI.1)}$$

где D_x — переменный диаметр канала; t — шаг нарезки червяка.

В дальнейшем для упрощения учитывается только минимальное значение угла подъема, соответствующее наружному диаметру червяка,

так как для червяков с небольшой глубиной винтового канала углы подъема отличаются незначительно. Если пренебречь кривизной канала, его можно развернуть на плоскость (рис. VI.2, *б*). При этом цилиндр экструдера изображается в виде бесконечной плоскости *6*, движущейся под развернутыми каналами *5* и ребрами *3* червяка в перпендикулярном к оси *4* червяка направлении. Окружную скорость цилиндра $V_ц$ можно разложить на две взаимно перпендикулярные составляющие V_z и V_x, направленные вдоль и поперек канала червяка. Скорость расплава в любой точке винтового канала характеризуется аналогичными составляющими v_z и v_x.

Наличие скорости поперечного сечения v_x (при соблюдении условия неразрывности, или сплошности потока), вызывает течение расплава в направлении оси y со скоростью v_y. Эта скорость больше (чем в средней части канала) у передней и задней стенок канала, где текущий в поперечном направлении расплав изменяет направление течения. Поскольку скорость v_y возникает только вследствие изменения скорости v_x поперечного течения, влияние ее на величину объемной производительности можно не учитывать. Поэтому в дальнейших расчетах принимается, что $v_y = 0$. Роль поступательной скорости v_z и поперечной скорости v_x в процессе экструзии весьма различна, поэтому их влияние на течение расплава рассматривается независимо друг от друга.

Для стационарного ламинарного потока несжимаемой изотропной жидкости уравнение движения в направлении оси z может быть записано в следующем общем виде:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \mu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial v_z}{\partial x} \cdot \frac{\partial \mu}{\partial x} + \frac{\partial v_z}{\partial y} \cdot \frac{\partial \mu}{\partial y} \qquad \text{(VI.2)}$$

Обычно вязкость расплава μ очень мало изменяется вдоль оси в поперечном сечении канала, так как температура материала в канале и величина градиента скорости при переходе от одной стенки гребня канала к другой почти не меняется. Вследствие этого частную производную $\partial\mu/\partial x$ можно приравнять нулю. Тогда уравнение (VI.2) примет вид:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \mu \left(\frac{\partial^2 v_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v_z}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial v_z}{\partial y} \cdot \frac{\partial \mu}{\partial y} \qquad \text{(VI.3)}$$

Уравнение (VI.3) описывает неизотермическое течение неньютоновской жидкости в канале червяка для всех практических случаев. Общее аналитическое решение этого уравнения весьма сложно. Однако получены частные решения, описывающие изотермический и адиабатический режимы работы для червяков с определенными геометрическими параметрами при экструзии жидкости с известными реологическими свойствами.

Поскольку вязкость расплава по высоте канала в зоне дозирования меняется незначительно, можно допустить, что $\partial\mu/\partial y = 0$. Это допущение справедливо в том случае, если температура червяка не меняется настолько, чтобы это повлекло изменение вязкости находя-

щегося в канале расплава, и если теплоотдача от цилиндра к расплаву незначительна. Сделанные допущения не накладывают никаких ограничений на изменение вязкости по длине канала червяка в направлении оси z.

Последнее упрощение основывается на том, что влияние стенок винтового канала на распределение скорости незначительно. Таким образом, можно допустить, что частная производная $\partial v/\partial x = 0$. В результате допущенных упрощений уравнение (VI.3) примет вид:

$$\frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = \frac{1}{\mu}\left(\frac{dp}{dz}\right) \qquad \text{(VI.4)}$$

Решение этого дифференциального уравнения, удовлетворяющее существующим в винтовых насосах граничным условиям, можно найти в специальной литературе *.

После двойного интегрирования уравнения (VI.4) получим распределение скорости в любой точке канала червяка:

$$v = \frac{Vy}{h} + \frac{(y^2 - hy)}{2\mu}\left(\frac{dp}{dz}\right) \qquad \text{(VI.5)}$$

Постоянные величины при интегрировании были определены из граничных условий: на поверхности цилиндра ($y = h$) скорость расплава относительно червяка $v = V$, а у сердечника червяка ($y = 0$) скорость $v = 0$. Первый член правой части уравнения (VI.5) является скоростью прямого потока, а второй — скоростью обратного потока под давлением. Эпюры скоростей этих потоков приведены на рис. VI.3. В прямом потоке *1* скорость изменяется прямолинейно по глубине винтового канала червяка, в обратном же потоке *2* — по параболическому закону (рис. VI.3, *а*). Сложением этих двух эпюр получают истинную скорость в любой точке (рис. VI.3, *б*), в том числе при свободном выходе материала ($a = 0$) и при закрытом выходе ($a = 1$).

Уравнение объемной производительности червячного экструдера может быть получено из зависимости (VI.5) путем интегрирования произведения скорости на элементарный участок площади в пределах всего поперечного сечения винтового канала червяка:

$$Q = \int_0^h vw\, dy \qquad \text{(VI.6)}$$

$$Q = w\int_0^h \left[\frac{V_z y}{h} + \frac{(y^2 - hy)}{2\mu}\left(\frac{dp}{dz}\right)\right] dy \qquad \text{(VI.7)}$$

$$Q = \frac{V_z wh}{2} - \frac{wh^3}{12\mu}\left(\frac{dp}{dz}\right) \qquad \text{(VI.8)}$$

Здесь Q — объемная производительность; h — глубина винтового канала; v — скорость частицы массы в винтовом канале в точке

* См., например, Э. Бернхардт, Переработка термопластичных материалов, Изд. «Химия», 1965.

(x, y); w — ширина винтового канала; V_z — составляющая окружной скорости вдоль винтового канала; $V_ц = \pi Dn$ — окружная скорость цилиндра относительно червяка (D — наружный диаметр червяка; n — число оборотов червяка в единицу времени).

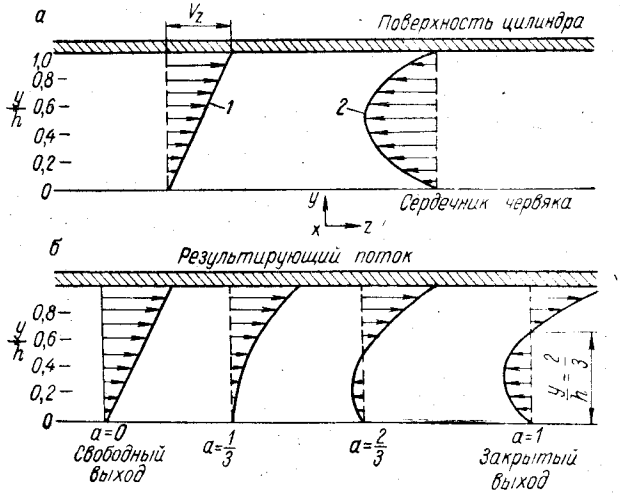


Рис. VI.3. Эпюры скоростей потока, направленного по оси винтового канала:

а — прямого и обратного потока; *б* — результирующего потока;
1 — прямой поток; *2* — обратный поток.

Пользуясь схемой, представленной на рис. VI.2, можно составить общие уравнения для червяков с любым количеством заходов:

$$V_z = V_ц \cos\varphi = \pi Dn \cos\varphi \qquad \text{(VI.9)}$$

$$mw = (t - me)\cos\varphi \qquad \text{(VI.10)}$$

$$w = \left(\frac{t}{m} - e\right)\cos\varphi \qquad \text{(VI.11)}$$

$$dz = dl/\sin\varphi \qquad \text{(VI.12)}$$

где m — число заходов червяка; e — толщина гребня червяка; l — текущая координата в направлении оси червяка.

Подставляя уравнения (VI.9), (VI.11) и (VI.12) в уравнение (VI.8) и учитывая число заходов червяка, получаем основное уравнение упрощенной теории потока:

$$Q = \frac{\pi mDnh\left(\frac{t}{m} - e\right)\cos^2\varphi}{2} - \frac{mh^3\left(\frac{t}{m} - e\right)\sin\varphi\cos\varphi}{12\mu}\left(\frac{dp}{dl}\right) \qquad \text{(VI.13)}$$

Не учитывая толщины гребня и подставляя $t = \pi D \operatorname{tg} \varphi$, имеем для однозаходного червяка:

$$Q = \frac{\pi^2 D^2 n h \sin \varphi \cos \varphi}{2} - \frac{\pi D h^3 \sin^2 \varphi}{12\mu} \left(\frac{dp}{dl} \right) \qquad \text{(VI.14)}$$

При винтовом канале червяка с постоянными размерами и при постоянной вязкости градиент давления по длине канала не изменяется. Следовательно

$$\frac{dp}{dl} = \frac{\Delta p}{\Delta l} = \frac{\Delta P}{L} \qquad \text{(VI.15)}$$

где L — длина нарезной части червяка.

После совместного решения уравнений (VI.13) и (VI.15) получим:

$$Q = \alpha n - \beta \frac{\Delta p}{\mu} \qquad \text{(VI.16)}$$

Здесь α и β — константы прямого и обратного потоков, зависящие только от размеров червяка:

$$\alpha = \frac{\pi m D h \left(\frac{t}{m} - e \right) \cos^2 \varphi}{2} \qquad \text{(VI.17)}$$

$$\beta = \frac{m h^3 \left(\frac{t}{m} - e \right) \sin \varphi \cos \varphi}{12 L} \qquad \text{(VI.18)}$$

До сих пор в уравнениях производительности не учитывалась утечка через радиальный зазор между гребнем червяка и цилиндром. Утечка рассматривается как поток под давлением, проходящий через длинную узкую щель. При неизменной температуре расплава и постоянных размерах канала червяка утечка также постоянна во всех точках на гребне. Таким образом, общая утечка может быть рассчитана по утечке в радиальном зазоре на участке одного шага червяка.

Утечка прямо пропорциональна длине $e \cos \varphi$ и ширине δ щели и обратно пропорциональна длине пути $\pi D / \cos \varphi$ потока. Следовательно, утечка будет равна:

$$Q_y = \frac{\pi D \delta^3 E \Delta p}{12 \mu e \cos^2 \varphi} \qquad \text{(VI.19)}$$

где Δp — перепад давления на разных сторонах одного витка; E — коэффициент эксцентриситета (обычно $E = 1{,}2$).

Перепад давления Δp удобнее выразить через общий перепад давления ΔP червяка, для чего вначале рассчитываем падение давления $\Delta p_ш$ по длине винтового канала на участке одного шага:

$$\Delta p_ш = \frac{\Delta P}{z_ш} = \frac{t \Delta P}{L} = \frac{\pi D \operatorname{tg} \varphi \Delta P}{L} \qquad \text{(VI.20)}$$

где $z_ш$ — количество витков. Поэтому

$$\Delta p = \frac{\pi D \operatorname{tg}\varphi \Delta P}{L} \cdot \frac{\dfrac{\pi D}{\cos\varphi} - \pi D \sin\varphi \operatorname{tg}\varphi}{\pi D/\cos\varphi} = \frac{\pi D \operatorname{tg}\varphi \cos^2\varphi \Delta P}{L} \qquad \text{(VI.21)}$$

Подставив уравнение (VI.21) в выражение (VI.19) при $E = 1{,}2$, имеем:

$$Q_y = \frac{\pi^2 D^2 \delta^3 \operatorname{tg}\varphi \Delta P}{10 \mu e L} = \gamma\left(\frac{\Delta P}{\mu}\right) \qquad \text{(VI.22)}$$

где γ — константа потока утечки.

В результате совместного решения уравнений (VI.22) и (VI.16) получим полное уравнение потока:

$$Q = \alpha n - \beta\left(\frac{\Delta P}{\mu}\right) - \gamma\left(\frac{\Delta P}{\mu}\right) \qquad \text{(VI.23)}$$

Обычно размеры винтового канала червяка изменяются по его длине. В таких случаях угол φ и глубина канала h должны быть выражены как функция l, при этом уравнение (VI.14) примет вид:

$$Q = Ah(l) \sin\varphi(l) \cos\varphi(l) - \frac{\psi}{\mu}[h(l)]^3 [\sin\varphi(l)]^2 \left(\frac{dp}{dl}\right) \qquad \text{(VI.24)}$$

где

$$A = \frac{\pi^2 D^2 n}{2}; \qquad \psi = \frac{\pi D}{12}$$

Поскольку величина действительного потока Q постоянна по длине червяка, после интегрирования уравнения (VI.24) найдем значение разности давлений по всей длине червяка:

$$\Delta P = \int_0^L dp = \int_0^L \left\{ \frac{A\mu h(l) \sin\varphi(l) \cos\varphi(l) - Q\mu}{\psi [h(l)]^3 [\sin\varphi(l)]^2} \right\} dl \qquad \text{(VI.25)}$$

Работа червячного экструдера зависит не только от червяка, но и от экструзионной головки. Объемная скорость потока Q ньютоновских жидкостей через головку:

$$Q = K\left(\frac{\Delta P}{\mu}\right) \qquad \text{(VI.26)}$$

где K — общий коэффициент (или константа геометрической формы головки), зависящий от конфигурации и размеров отдельных элементов головки.

Используя условие неразрывности (сплошности) потока в каналах червяка и в головке, ΔP можно выразить через Q [уравнение (VI.26)] и проинтегрировать уравнение (VI.25) относительно Q. В результате

получим уравнение объемной производительности с изменяющимся углом φ и глубиной канала h по длине червяка:

$$Q = \frac{A \int_0^L \frac{\operatorname{ctg} \varphi(l)}{[h(l)]^2} dl}{\frac{\psi}{K} + \int_0^L \frac{[\operatorname{cosec} \varphi(l)]^2}{[h(l)]^3} dl} \qquad \text{(VI.27)}$$

У червяков с переменными шагом и нарезкой функции $\varphi(l)$ и $h(l)$ различны на разных участках. Общей закономерностью является то, что падение давления по длине червяка является суммой интегралов,

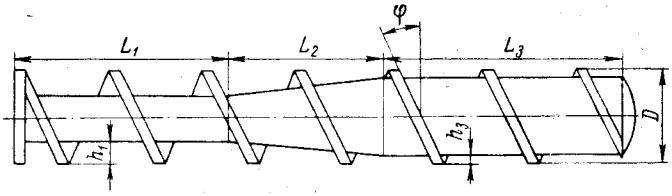


Рис. VI.4. Схема однозаходного червяка с тремя зонами.

где n_1 — число зон (участков) червяка. При замене ΔP и решении уравнения относительно Q получим более общую зависимость:

$$Q = \frac{A \sum_{i=1}^{n_1} \int_0^{L_i} \frac{\operatorname{ctg} \varphi_i(l)}{[h_i(l)]^2} dl}{\frac{\psi}{K} + \sum_{i=1}^{n_1} \int_0^{L_i} \frac{[\operatorname{cosec} \varphi_i(l)]^2}{[h_i(l)]^3} dl} \qquad \text{(VI.28)}$$

На каждом участке червяка l принимается как непрерывная переменная величина, причем L_i является длиной отдельных участков. Для переработки пластмасс обычно применяются одностадийные червяки с постоянным шагом и переменной глубиной канала, состоящие из зон питания, сжатия и выдавливания (рис. VI.4). У такого червяка функция $\varphi(l)$ постоянна и не зависит от l так же, как функции $h_1(l)$ и $h_3(l)$ в зонах питания и выдавливания, где глубина канала обычно не меняется. Для такого червяка при константе K экструзионной головки производительность равна:

$$Q = \frac{A \operatorname{ctg} \varphi \left(\frac{L_1}{h_1^2} + \frac{L_2}{h_1 h_3} + \frac{L_3}{h_3^2} \right)}{\frac{\psi}{K} + \operatorname{cosec}^2 \varphi \left[\frac{L_1}{h_1^3} + \frac{L_2 (h_1 + h_3)}{2 h_1^2 h_3^2} + \frac{L_3}{h_3^3} \right]} \qquad \text{(VI.29)}$$

При определении константы K головку условно разделяют на ряд участков различной конфигурации и для каждого участка определяют константу k_i. Для цилиндрического канала:

$$k_1 = \frac{\pi d^4}{128 L_к} \tag{VI.30}$$

где d — диаметр канала; $L_к$ — длина канала.

Для фильтрующей решетки:

$$k_2 = \frac{\pi n_р d_р^4}{128 b} \tag{VI.31}$$

где $n_р$ — количество отверстий в решетке; $d_р$ — диаметр отверстий в решетке; b — толщина решетки.

Для конического канала с уменьшающимся диаметром на выходе материала:

$$k_3 = \frac{3\pi\, d_0^3 d_1^3}{128 L_к (d_0^2 + d_0 d_1 + d_1^2)} \tag{VI.32}$$

где d_0, d_1 — диаметры конуса на входе и выходе материала.

Для кольцевого цилиндрического канала:

$$k_4 = \frac{\pi}{8 L_к}\left[R_н^4 - R_в^4 - \frac{(R_н^2 - R_в^2)^2}{2{,}3 \lg \frac{R_н}{R_в}} \right] \tag{VI.33}$$

где $R_н$, $R_в$ — наружный и внутренний радиусы кольцевого канала.

Для кольцевого конического канала:

$$k_5 = \frac{\pi (R_0 \delta_2 - R_1 \delta_1)}{6 L_к m_0} \tag{VI.34}$$

Здесь m_0 — коэффициент, определяемый по формуле

$$m_0 = \frac{2{,}3 (R_0 - R_1)^2}{(R_0 \delta_2 - R_1 \delta_1)^2} \lg \frac{R_0 \delta_2}{R_1 \delta_1} - \frac{(R_0 - R_1)(\delta_1 - \delta_2)}{(R_0 \delta_2 - R_1 \delta_1)\, \delta_1 \delta_2} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2 \delta_1^2 \delta_2^2} \tag{VI.35}$$

где R_0, R_1 — средние радиусы окружности на входе и выходе кольцевой щели; δ_1, δ_2 — толщина щели на входе и выходе материала.

Для щелевого канала прямоугольного и клиновидного сечения:

$$k_6 = \frac{b_0 h_0^3}{12 L_к} \tag{VI.36}$$

$$k_7 = \frac{b_1 h_1^2 h_2^2}{6 L_к (h_1 + h_2)} \tag{VI.37}$$

где b_0 — ширина прямоугольной щели; h_0 — толщина прямоугольной щели; b_1 — ширина клиновидной щели; h_1, h_2 — толщина клиновидной щели на входе и выходе материала.

Для канала с произвольным поперечным сечением:

$$k_8 = \frac{F^3}{2 L_1 P_к} \tag{VI.38}$$

где F — площадь поперечного сечения канала; $P_к$ — периметр сечения канала; L_1 — длина выпрямленного канала.

Общую константу головки определяют как сумму сопротивлений отдельных участков:

$$K = \frac{1}{\sum \frac{1}{k_1} + \sum \frac{1}{k_2} + \ldots + \sum \frac{1}{k_i}}. \qquad \text{(VI.39)}$$

Таким образом, производительность экструдера зависит от параметров червяка и головки. На рис. VI.5, *а* показана зависимость объемной производительности от давления в головке для двух

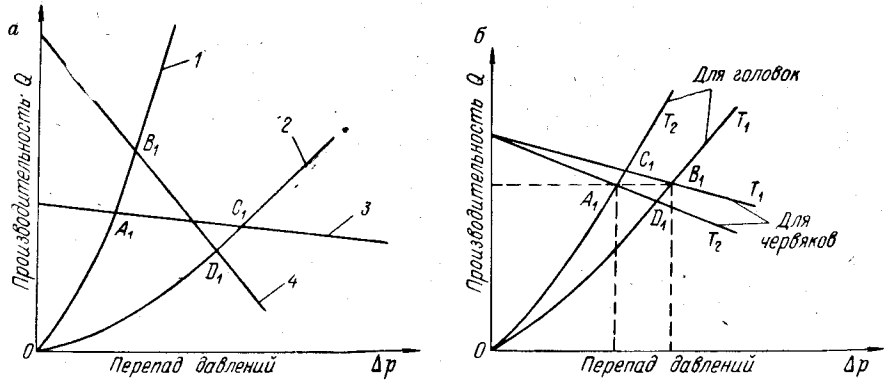


Рис. VI.5. Графические зависимости объемной производительности экструдера от давления в профилирующей головке (*а*), а также давления в головке и объемной производительности от температуры материала (*б*):

1 — для головки с большим сечением; *2* — для головки с малым сечением; *3* — для червяка с мелким каналом; *4* — для червяка с глубоким каналом.

червяков *3* и *4* с мелким и глубоким винтовыми каналами. Кривые *1* и *2* характеризуют экструзионные головки с большим и малым сечениями.

Для головки с большим сечением профилирующей щели точка A_1 определяет режим работы червяка с мелким каналом, а точка B_1 — червяка с глубоким каналом. Червяк с глубоким каналом обеспечивает более высокую производительность, поскольку сопротивление головки невелико.

Для головки с малым сечением профилирующей щели, отличающейся высоким сопротивлением, точки C_1 и D_1 определяют соответственно режимы работы червяков с мелким и глубоким каналами. Производительность червяка с глубоким каналом резко уменьшается вследствие увеличения обратного потока. Червяк с мелким каналом создает более высокое давление и препятствует увеличению обратного потока. Таким образом, каждой головке соответствует червяк определенной геометрической формы, который обеспечивает максимальную производительность экструдера.

Влияние изменений температуры материала в головке и каналах червяка на давление в головке и производительность (температура $T_2 > T_1$) показано на рис. VI.5, *б*. В том случае, когда температура материала в канале червяка и головке одинакова и равна T_2, режим работы экструдера определяется точкой A_1. При уменьшении температуры в головке и червяке до T_1 давление в головке увеличится до значения, определяемого точкой B_1, но производительность практически не изменяется.

Если температура материала в канале червяка равна T_2, а температура в головке понизится до T_1, производительность уменьшится до значения, определяемого точкой D_1. Если же температура в головке равна T_2, а в червяке T_1, производительность повысится до значения, соответствующего точке C_1. Следовательно, производительность длинных червяков и червяков с мелким каналом значительно меньше зависит от температуры расплава, чем производительность коротких и более глубоких червяков.

При экструзии термопластов поверхность выдавливаемых изделий зависит от величины напряжения сдвига. При повышенных напряжениях сдвига поверхность изделий получается шероховатой и искривленной. Градиент скорости расплава в направлении течения равен:

$$-\frac{dv}{dr} = k\tau^{\nu} \qquad \text{(VI.40)}$$

где r — радиальное расстояние, перпендикулярное направлению течения; k — реологический параметр расплава; τ — напряжение сдвига в любой точке потока; ν — показатель степени, характеризующий свойства материала.

Показатель степени ν численно равен значению первой производной функции, определяющей зависимость логарифма градиента скорости от логарифма напряжения сдвига. Для неньютоновских жидкостей $\nu = 1 \div 4$.

Для описания всей кривой течения термопластов применяется двучленное степенное уравнение:

$$-\frac{dv}{dr} = \frac{\tau}{\mu_0}(1 + C\tau^{\nu+1}) \qquad \text{(VI.41)}$$

где μ_0 — предельное значение вязкости при минимальном напряжении сдвига; C — константа, не зависящая от температуры.

При интегрировании уравнения (VI.40) могут быть определены параметры k и k' из зависимостей истинного и эффективного градиентов скоростей от напряжения сдвига. Параметр k', определенный при значении $\nu > 1$, отличается от k:

$$k' = \frac{4k}{\nu + 3} \qquad \text{(VI.42)}$$

Для определения объемного расхода через экструзионную головку необходимо знать эффективную вязкость расплава $\mu_э$, т. е. вязкость при определенных скоростях сдвига:

$$Q = \frac{\Delta P K}{\mu_э} \tag{VI.43}$$

Скорости сдвига определяются для тех же участков головки, что и константы геометрической формы $k_1, k_2, k_3, \ldots, k_l$. Скорости сдвига v_i (в $сек^{-1}$) могут быть определены по формулам:
для цилиндрического канала

$$v_1 = \frac{32Q}{\pi d^3} \tag{VI.44}$$

для конического канала

$$v_2 = \frac{256Q}{\pi (d_0 + d_1)^3} \tag{VI.45}$$

для кольцевого цилиндрического канала

$$v_3 = \frac{5{,}58Q}{\pi (R_н + R_в)(R_н - R_в)^2} \tag{VI.46}$$

для кольцевого конического канала

$$v_4 = \frac{22{,}32Q}{\pi (R_0 + R_1)(\delta_1 + \delta_2)^2} \tag{VI.47}$$

для прямоугольного щелевого канала

$$v_5 = \frac{5{,}58Q}{bh^2} \tag{VI.48}$$

для клиновидного щелевого канала

$$v_6 = \frac{11{,}16Q}{b (h_1 + h_2)^2} \tag{VI.49}$$

для канала произвольной формы

$$v_7 = \frac{2QP_к}{F} \tag{VI.50}$$

Обозначения, принятые в формулах (VI.44)—(VI.50), аналогичны приведенным в формулах (VI.30), (VI.32)—(VI.34) и (VI.36)—(VI.38).

Эффективную вязкость $\mu_э$ определяют по скорости сдвига из графиков, построенных для различных материалов в зависимости от температуры (рис. VI.6). Вязкость термопластов зависит от температуры и молекулярного веса, уменьшаясь при нагревании материала и снижении молекулярного веса. При отсутствии указанных графических зависимостей для перерабатываемого материала эффективную

вязкость определяют по формулам. При выдавливании пластифицированного поливинилхлорида через цилиндрический канал головки:

$$\mu_э = \frac{\mu_в R^{1-\nu_0}}{V_{ср}^{1-\nu_0}\left(\frac{1}{\nu_0}+3\right)^{1-\nu_0}} \qquad \text{(VI.51)}$$

где $\mu_в$ — вязкость при температуре выдавливания; R — радиус канала; $V_{ср}$ — средняя скорость выдавливания; ν_0 — реологическая константа материала (для пластифицированного поливинилхлорида $\nu_0 = 0{,}303$).

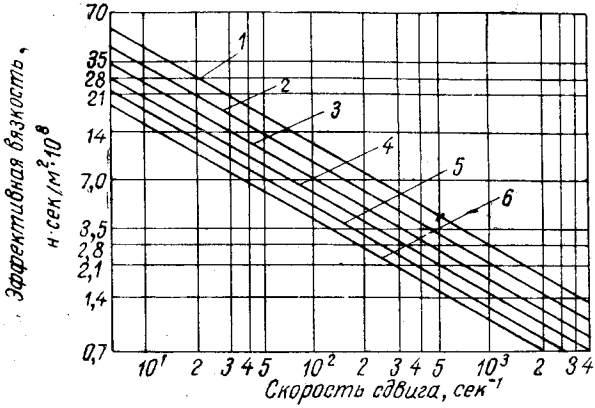


Рис. VI.6. Зависимость эффективной вязкости полиэтилена низкой плотности от скорости сдвига при различных температурах:

1 — 130° С; *2* — 150° С; *3* — 170° С; *4* — 190° С; *5* — 210° С; *6* — 230° С.

При выдавливании поливинилхлорида через плоскощелевую головку:

$$\mu_э = \frac{\mu_в h_{щ}^{1-\nu_0}}{2^{1-\nu_0} V_{ср}^{1-\nu_0}\left(\frac{1}{\nu_0}+2\right)^{1-\nu_0}} \qquad \text{(VI.52)}$$

где $h_{щ}$ — толщина щели.

Для практических расчетов удобна формула, полученная в результате совместного решения уравнений (VI.23) и (VI.26):

$$Q = \left(\frac{\alpha K}{K+\beta+\gamma}\right) n \qquad \text{(VI.53)}$$

где α, β, γ — константы прямого и обратного потоков и потока утечки, определяемые по формулам (VI.17), (VI.18) и (VI.22); K — общая константа геометрической формы головки; n — число оборотов червяка в единицу времени.

Пример. На экструдере с диаметром червяка $D = 63$ *мм* и длиной $L = 1580$ *мм*, радиальным зазором между гребнем червяка и цилиндром

$\delta = 0{,}1$ *мм*, шириной гребня $e = 6$ *мм*, шагом винтового канала $t = 63$ *мм* и глубиной канала $h = 5$ *мм*, общим сопротивлением профилирующей головки $K = 105$ *мм*^{3} при скорости вращения червяка $n = 70$ *об/мин* изготовляются трубы из полиэтилена высокой плотности. Определить объемную производительность экструдера при постоянных ширине и глубине канала однозаходного червяка ($m = 1$).

Р е ш е н и е. Угол наклона винтовой линии червяка:

$$\varphi = \operatorname{arc\,tg}\frac{t}{2\pi R_{ср}} = \operatorname{arc\,tg}\frac{t}{\pi(2R_1 - h)} = \operatorname{arc\,tg}\frac{6{,}3}{3{,}14\,(6{,}3 - 0{,}5)} = \operatorname{arc\,tg}\,0{,}246$$

$$\varphi = 19°;\ \sin\varphi = 0{,}326;\ \cos\varphi = 0{,}946$$

Константы потоков α, β и γ определяем по формулам (VI.17), (VI.18) и (VI.22):

$$\alpha = \frac{3{,}14 \cdot 1 \cdot 6{,}3 \cdot 0{,}5\left(\frac{6{,}3}{1} - 0{,}6\right)0{,}946^2}{2} = 25{,}2\ см^3$$

$$\beta = \frac{1 \cdot 0{,}5^3\left(\frac{6{,}3}{1} - 0{,}6\right)0{,}326 \cdot 0{,}946}{12 \cdot 158} = 1{,}16 \cdot 10^{-4}\ см^3$$

$$\gamma = \frac{3{,}14^2 \cdot 6{,}3^2 \cdot 0{,}01^3 \cdot 0{,}346}{10 \cdot 0{,}6 \cdot 158} = 1{,}42 \cdot 10^{-7}\ см^3$$

Производительность экструдера находим по формуле (VI.53):

$$Q = \frac{25{,}2 \cdot 0{,}105 \cdot 70}{0{,}105 + 1{,}16 \cdot 10^{-4} + 1{,}42 \cdot 10^{-7}} = 1760\ см^3/мин$$

При плотности полиэтилена 0,0009 *кг/см*^{3} получим $Q = 95$ *кг/ч*.

Бернхардтом, Шенкелем, Мак-Келви, Балашовым и другими исследователями предложены уравнения объемной производительности одночервячного экструдера применительно к изотермическому или адиабатическому процессу. Эти уравнения в известной степени учитывают аномалию вязкости расплава, но не учитывают особенностей реального процесса экструзии — наличия теплообмена и влияния параметров процесса на длину зоны дозирования с учетом фазовых переходов материала.

Фактическая длина зоны дозирования определяется кинетикой процессов плавления и существенно зависит от температурного режима и производительности экструдера. Модельный процесс экструдера в соответствии с взглядами Тадмора и его школы может быть представлен следующим образом. Сначала для выбранного режима рассчитывается объемная производительность зоны дозирования. Затем по определенной производительности при заданной температуре цилиндра определяется суммарная длина зон плавления и питания. После этого определяется давление и температура расплава на выходе из червяка.

Большой интерес представляют выведенные Торнером основные уравнения статики политропического процесса экструзии, учитывающие аномалию вязкости расплава полимеров, наличие процессов

теплообмена, зависимость вязкости расплава от температуры и существование фазовых переходов, связанных с плавлением гранулированного материала *.

К сожалению, сложность математического аппарата, применяемого при выводе указанных уравнений, не позволяет рассмотреть их в настоящей главе.

При расчете необходимой для работы экструдера мощности, потребляемой в зоне дозирования, рассмотрим вначале участок развернутого червяка длиной dz в направлении оси z с вязкостью материала μ. Мощность, расходуемая на этом участке, определяется по уравнению:

$$dN_1 = V\,dF_1 \tag{VI.54}$$

где V — скорость перемещения цилиндра относительно червяка; dF_1 — сила, необходимая для движения частицы материала по направлению вектора скорости.

Сила dF_1 равна произведению сдвигающих напряжений и элементарной площади dA_1, на которую действуют эти напряжения. При этом составляющая силы, действующей в направлении оси z винтового канала, может быть найдена по уравнению:

$$dF_z = dF_1 \cos\varphi = S\,dA_1 \tag{VI.55}$$

где S — напряжение сдвига. Для ньютоновских жидкостей

$$S = \mu\left(\frac{dv}{dy}\right) \tag{VI.56}$$

В результате совместного решения уравнений получим:

$$dN_1 = \frac{V\mu}{\cos\varphi}\left(\frac{dv}{dy}\right)dA_1 \tag{VI.57}$$

Для удобства практических расчетов целесообразно площадь dA_1 и скорость сдвига dv/dy выразить в зависимости от геометрических параметров червяка и переменных эксплуатационных величин. Поскольку при вращающемся цилиндре и неподвижном червяке необходимый для вращения крутящий момент определяется скоростью сдвига у поверхности цилиндра ($y = h$), можно не учитывать ее изменение по глубине винтового канала.

В результате дифференцирования уравнения (VI.5), определяющего скорость в любой точке червяка, получим общее уравнение для скорости сдвига или градиента скорости на любой глубине:

$$\left(\frac{dv}{dy}\right)_{y=h} = \frac{V_z}{h} + \frac{h}{2\mu}\left(\frac{dp}{dz}\right) \tag{VI.58}$$

Элементарная площадь dA_1 равна:

$$dA_1 = w\,dz = \pi D \sin\varphi\,dz \tag{VI.59}$$

---

* Р. В. Торнер, Математическая модель политропической экструзии полимеров, «Механика полимеров», № 6, 1095 (1970).

Подставив в выражение (VI.57) уравнения (VI.58) и (VI.59), получим:

$$dN_1 = \frac{\pi DVV_z \mu \sin\varphi}{h\cos\varphi}\,dz + \frac{\pi DV\sin\varphi}{\alpha\cos\varphi}\,dp \qquad \text{(VI.60)}$$

Для преобразования формулы (VI.60) необходимо выразить длину участка канала dz через длину червяка по оси dl и скорости V, V_z через скорость вращения червяка:

$$dz = dl/\sin\varphi \qquad \text{(VI.61)}$$

$$V_z = \pi Dn\cos\varphi \qquad \text{(VI.62)}$$

$$V = V_z/\cos\varphi \qquad \text{(VI.63)}$$

В результате уравнение мощности примет вид:

$$dN_1 = \frac{\pi^3 D^3 n^2 \mu}{h}\,dl + \frac{\pi^2 D^2 nh\sin\varphi\cos\varphi}{2\cos^2\varphi}\,dp \qquad \text{(VI.64)}$$

Во второй член уравнения (VI.64) входят все составляющие прямого потока, поэтому

$$dN_1 = \frac{\pi^3 D^3 n^2 \mu}{h}\,dl + \frac{Q_\text{п}}{\cos^2\varphi}\,dp \qquad \text{(VI.65)}$$

где $Q_\text{п}$ — величина прямого потока.

Для определения полной мощности dN необходимо рассчитывать также мощность dN_2, расходуемую в кольцевом зазоре δ между гребнем червяка и внутренней поверхностью цилиндра:

$$dN = dN_1 + dN_2 \qquad \text{(VI.66)}$$

Ширина гребня в направлении оси x равна $e\cos\varphi$. Если не принимать во внимание увеличение давления в зазоре, скорость сдвига равна V_z/δ. Таким образом:

$$dN_2 = \frac{\pi^2 D^2 n^2 e\mu}{\delta\,\mathrm{tg}\,\varphi}\,dl \qquad \text{(VI.67)}$$

Следовательно

$$dN = \frac{\pi^3 D^3 n^2 \mu}{h}\,dl + \frac{Q_\text{п}}{\cos^2\varphi}\,dp + \frac{\pi^2 D^2 n^2 e\mu}{\delta\,\mathrm{tg}\,\varphi}\,dl \qquad \text{(VI.68)}$$

В результате интегрирования уравнения (VI.68) получим:

$$N = \pi^3 n^2 \int_0^L \frac{D^3\mu}{h}\,dl + \int_0^L \frac{Q_\text{п}}{\cos^2\varphi}\,dp + \pi^2 n^2 \int_0^L \frac{D^2 e\mu}{\delta\,\mathrm{tg}\,\varphi}\,dl \qquad \text{(VI.69)}$$

Если червяк с постоянными размерами канала работает в изотермическом режиме, размеры червяка и вязкость постоянны по длине червяка. Таким образом:

$$N = \frac{\pi^3 D^3 n^2 \mu L}{h} + \frac{Q_\text{п}\,\Delta P}{\cos^2\varphi} + \frac{\pi^2 D^2 n^2 e\mu L}{\delta\,\mathrm{tg}\,\varphi} \qquad \text{(VI.70)}$$

Из уравнения (VI.70) следует, что при увеличении давления расход энергии возрастает. В большинстве случаев вязкость изменяется по длине червяка, однако построить кривую изменения вязкости очень трудно. Поэтому на практике уравнения объемной производительности и мощности определяют в зависимости от средней вязкости:

$$\mu_{ср} = \frac{\int_0^L \mu \, dl}{L} \qquad \text{(VI.71)}$$

После подстановки уравнения (VI.71) в выражение (VI.69) получим формулу мощности в зависимости от средней вязкости:

$$N = \left(\frac{\pi^3 D^3 n^2}{h}\right) L\mu_{ср} + \frac{Q_п \Delta P}{\cos^2 \varphi} + \left(\frac{\pi^2 D^2 n^2 e}{\delta \operatorname{tg} \varphi}\right) L\mu_{ср} \qquad \text{(VI.72)}$$

Необходимая для привода червяка мощность N (в *квт*) может быть также определена из энергетического баланса экструдера:

$$N = 32 \cdot 10^{-5} Qc\,(T_р - T_0) \qquad \text{(VI.73)}$$

где Q — производительность экструдера, *кг/ч*; c — теплоемкость материала, *дж/(кг·град)*; $T_р$ — температура расплава, °С; T_0 — температура загружаемого материала, °С.

Уравнение (VI.73) выведено из условия, что нагрев материала осуществляется только за счет работы сил трения и общий коэффициент полезного действия экструдера равен 80% (включая долю работы на повышение давления, равную 7%).

В современных скоростных (автотермических) экструдерах наружный обогрев используется главным образом для разогрева материала перед пуском экструдера в работу и для компенсации тепловых потерь в окружающую среду. Однако если скорость вращения червяка ниже уровня экономически целесообразной скорости вращения, то в тепловом балансе экструдера необходимо учитывать и наружный обогрев.

§ 3. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОСНОВНЫХ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ ЭКСТРУДЕРА

Ч е р в я к и. В зависимости от типа экструдируемого материала и конструкции изделия, изготовляются однозаходные и многозаходные червяки с постоянным и переменным шагом, с постоянной и переменной глубиной канала. Для переработки термопластов применяются главным образом червяки с постоянным шагом и переменной глубиной канала. Машины с такими червяками более производительны, чем экструдеры с червяками, имеющими переменный шаг. Кроме того, червяки с постоянным шагом более просты в изготовлении.

От конструкции червяка зависит величина степени сжатия материала, т. е. отношение объемов винтовых каналов на участках одного

шага в зонах питания и выдавливания. Обычно эта величина находится в интервале от 1,5 : 1 до 5 : 1. Для переработки полиолефинов и полиамидов необходимы более высокие значения степени сжатия, а при производстве кабельных изделий и пленки, когда требуется повышенное давление экструзии, применяют более низкую степень сжатия.

Для параметрического расчета червячных экструдеров применяется теория моделирования. Моделирование возможно при равенстве масштабов моделирования глубины каналов червяков и их числа оборотов (для модели и проектируемой машины). В этом случае достигается равенство градиентов скорости и вязкости расплавов в каналах червяков модели и машины, а также равенство масштабов моделирования в зонах сжатия, пластикации и выдавливания *.

Рекомендуемые для переработки полиэтилена параметры червяков приведены в табл. VI.1. Глубина винтового канала червяка, как и конструкция в целом, зависит от перерабатываемого материала и профилируемого изделия, а также от особенностей конкретного технологического процесса. Меньшая глубина канала рекомендуется для полиамидов и полиолефинов, а также при производстве труб, различных профилей, листов из термопластов. Глубокий канал следует применять при переработке поливинилхлорида и полистирола, а также при производстве гранул и кабельных изделий.

Таблица VI.1

Геометрические параметры червяков (в *мм*)

Диаметр червяка	Шаг	Глубина канала в зоне питания	Глубина канала в зоне выдавливания	Ширина гребня
32	32	6	1,9	3,8
45	45	8	2,1	5
63	63	9,6	2,4	6,3
90	90	11,2	2,8	9
125	125	13,5	3,2	12
160	160	15	3,7	15

Большое значение для обеспечения качественной работы экструдера имеет размер кольцевого зазора между гребнем червяка и внутренней поверхностью цилиндра. При увеличенном зазоре повышается эффективность смешения материала, но уменьшается величина подачи материала, так как возрастает противоток (утечка) материала. Обычно применяют червяки с постоянным диаметром при зазоре между червяком и цилиндром $0{,}002D$ (для больших) и $0{,}005D$ (для малых) диаметров червяка. При переработке материалов с низкой вязкостью расплава (полиамиды, некоторые сорта полиэтилена) зазор должен быть минимальным (до 0,1 *мм*).

* В. А. Силин, Моделирование червячных машин, Сб. «Оборудование для переработки полимеров», Киев, Изд. «Техніка», 1964.

Важным эксплуатационным фактором является величина L/D. Следует отметить, что при увеличении длины червяка повышается интенсивность и продолжительность теплового воздействия на материал, скорость вращения червяка и производительность экструдера при одновременном увеличении потребляемой приводом мощности. Более короткие червяки рекомендуются при изготовлении труб, выдувных изделий, непрерывных профилей, листов. Длинные червяки следует применять в быстроходных экструзионных установках, предназначенных для производства пленок, волокон, гранул, покрытия бумаги и ткани пленкой, а также для дублирования пленок и наложения пластмассовой изоляции на провода и кабеля. В большинстве случаев червяк имеет постоянный шаг, равный диаметру.

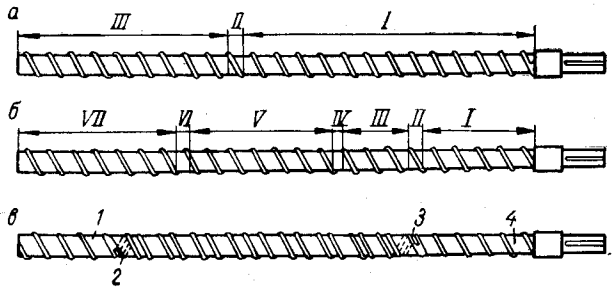


Рис. VI.7. Конструкции червяков для переработки пластмасс:

а — червяк с короткой зоной сжатия и длинными зонами питания и выдавливания; *б* — двухстадийный червяк с зоной декомпрессии; *в* — специальный червяк с двумя винтовыми каналами;
1 — выходной канал; *2* — конец входного канала; *3* — начало выходного канала; *4* — входной канал; *I* — зона питания (загрузки); *II* — зона сжатия; *III* — зона дозирования; *IV*, *V* — зона декомпрессии; *VI* — зона сжатия; *VII* — зона выдавливания.

В конструкции червяков различаются три зоны: питания, сжатия, выдавливания. На рис. VI.7, *а* показан распространенный червяк, имеющий протяженную зону питания *I* с постоянной глубиной винтового канала длиной $13D$; короткую зону сжатия *II*, длина которой составляет $(0{,}5 \div 1)D$ с переменной глубиной канала; зону выдавливания *III* длиной $10D$ с постоянной глубиной нарезки. Такой червяк применяется главным образом для переработки полиолефинов.

В одночервячных экструдерах используются преимущественно одностадийные червяки, у которых процесс пластикации и выдавливания материала осуществляется в одну стадию. Такие червяки тоже могут иметь все три названные выше зоны или только две зоны (питания-сжатия и выдавливания), или одну совмещенную зону.

Двухстадийные специальные червяки применяются обычно для дегазации и обезвоживания материала в процессе экструзии. Они имеют зоны декомпрессии и вакуумного отсоса в цилиндре (рис. VI.7, *б*), т. е. всего семь зон: питания *I*, сжатия *II*, дозирования *III*, декомпрессии *IV—V*, сжатия *VI* и выдавливания *VII*. Благодаря значительному увеличению объема винтовых каналов в зоне *V* отверстие для вакуумного отсоса в цилиндре экструдера не заби-

вается материалом. Степень декомпрессии, т. е. отношение объемов винтовых каналов на участке одного шага в зоне декомпрессии и в зоне выдавливания, обычно равна 3—5.

Как отмечалось выше, повышение производительности экструдеров может достигаться путем увеличения диаметра, длины и скорости вращения червяка. Одновременно с увеличением эффективной длины червяка обычно уменьшают глубину канала в зоне выдавливания. Охлаждение червяка позволяет усилить эффект этого конструктивного изменения, но переохлаждение приводит к снижению производительности экструдера и повышению удельной мощности привода. Вообще увеличение диаметра, длины и скорости вращения червяка вызывает значительное возрастание необходимой мощности привода.

Увеличение длины зоны выдавливания и уменьшение глубины каналов червяка способствует устранению или значительному уменьшению пульсации при подаче материала червяком.

Известно, что при экструзии материал необходимо полностью пластицировать до поступления в зону выдавливания. Для эффективного повышения качества экструдата при высокой производительности должны быть обеспечены заданные температурные градиенты и изменение текучести материала по длине червяка и глубине винтового канала, а также гомогенность расплава. Обычно частицы термопласта, соприкасающиеся с поверхностью червяка или цилиндра, нагреваются сильнее, чем частицы, удаленные от этих поверхностей. Скорость сдвига и поглощаемая материалом энергия больше у стенок цилиндра, чем в удаленных местах. Термические и механические воздействия на материал изменяются в зависимости от его положения по длине червяка. Для устранения указанных недостатков разработана новая конструкция червяка, обеспечивающая равномерный контакт с поверхностью цилиндра и червяка всех частиц перерабатываемого материала.

Входной винтовой канал *4* нарезки такого червяка (рис. VI.7, *в*) начинается в середине загрузочной воронки, постепенно сужается и заканчивается в позиции *2*. Выходной винтовой канал *1* начинается в позиции *3* на ребре третьего или четвертого витка (начиная от середины воронки) и заканчивается в головке червяка. Ширина входного канала постепенно и плавно уменьшается, в то время как ширина выходного канала постепенно увеличивается. Вследствие этого пластицированный во входном канале *4* материал может попасть в выходной канал *1* только через узкие радиальные зазоры между гребнем червяка и внутренней поверхностью цилиндра. Поскольку через этот зазор может проникать лишь хорошо пластицированный материал, по выходному каналу транспортируется однородный расплав без гелеобразных включений. По мере плавления во входном канале каждая частица подвергается аналогичному термомеханическому воздействию при прохождении через радиальный зазор. Кроме указанных положительных особенностей рассмотренной конструкции, в данном случае устраняется необходимость охлаждения червяка, а также установки решеток и клапанов в конце дозирующей зоны.

Распределение давления материала по зонам двухстадийного червяка с зоной декомпрессии показано на рис. VI.8. Вследствие сопротивления в зоне дозирования *III* давление возрастает уже в зоне питания *I*, достигая предельной для первой стадии величины в конце зоны сжатия *II*. В зоне дозирования давление снижается, достигая нулевого значения в зоне декомпрессии *V*. Отверстие для вакуумного отсоса летучих веществ не должны забиваться расплавом, поэтому необходимо, чтобы сопротивление клапана и экструзионной головки обеспечивало возрастание давления в зоне выдавливания *VII* по кривой *2*. При повышенном сопротивлении и давлении (кривая *1*) создается опасность затопления зоны декомпрессии пластицированным материалом. При пониженном давлении (кривая *3*) ухудшается гомогенизация материала.

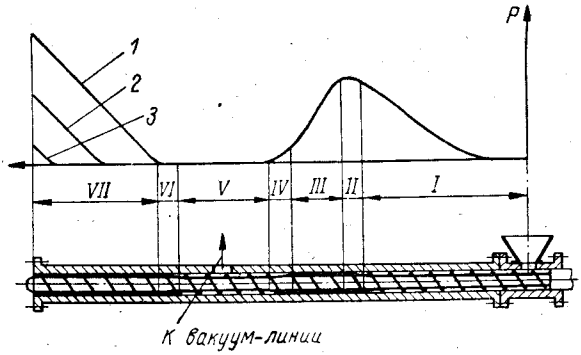


Рис. VI.8. Распределение давления по длине двухстадийного червяка:

1 — повышенное сопротивление головки; *2* — нормальное сопротивление головки; *3* — пониженное сопротивление головки. Обозначения зон те же, что и на рис. VI.7.

При переработке рыхлых порошкообразных и комкообразных материалов производительность экструдера резко уменьшается. Из-за неравномерной загрузки наблюдается пульсирующее выдавливание экструдата. Для таких материалов рекомендуется устройство, состоящее из двух конических червяков *4* (рис. VI.9, *а*) и конической загрузочной камеры *2*. Материал, загружаемый через воронку *3*, захватывается витками червяков, уплотняется и нагнетается к червяку *1*. Для облегчения подачи материала на входную коническую часть цилиндра обычно наносят продольные каналы.

Отделение зоны загрузки от остальных зон червяка с целью автономной регулировки пропускной способности этой зоны в зависимости от перерабатываемого материала обеспечивается «телескопическими» экструдерами, в которых применяется сдвоенный (ступенчатый) червяк с двумя различными диаметрами (рис. VI.9, *б*). Передний червяк *5* небольшого диаметра пластицирует, гомогенизирует и выдавливает материал. Червяк *7* увеличенного диаметра обеспечивает

питание экструдера рыхлым материалом и его уплотнение в конической переходной зоне *б*, соединяющей оба червяка. Червяки имеют независимый привод. При необходимости профиль загрузочного червяка можно изменять в зависимости от свойств перерабатываемого материала.

Специальные конструкции червяков создаются преимущественно для термочувствительных материалов (например, жесткого поливинилхлорида). При разработке таких червяков исходят из того, что

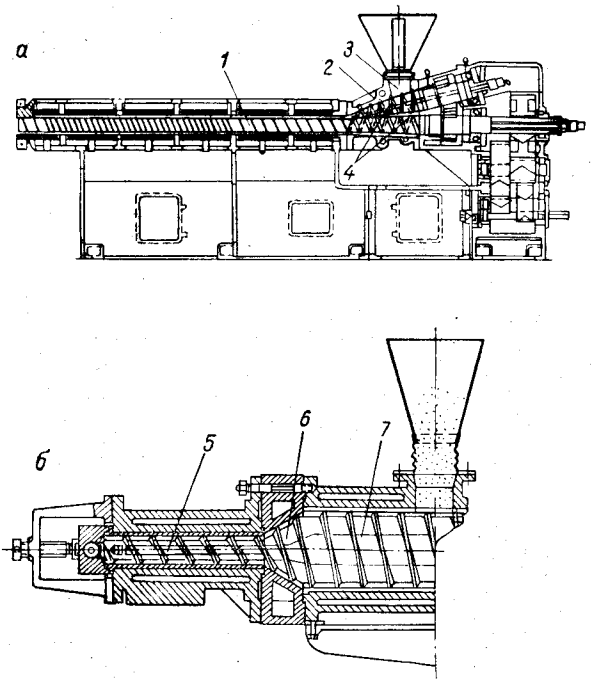


Рис. VI.9. Конструкции червяков, обеспечивающие переработку порошкообразных материалов и отходов пленки:

а — два конических червяка в зоне питания; *б* — сдвоенный червяк (с разными диаметрами); *1* — передний червяк; *2* — коническая загрузочная камера; *3* — воронка; *4* — конические червяки; *5* — передний червяк меньшего диаметра; *6* — коническая переходная зона; *7* — червяк большего диаметра.

материал, находящийся в канале червяка, пластицируется на рабочей стороне витка, в то время как внутри канала он остается недостаточно прогретым. Эта неоднородность возрастает при увеличении числа оборотов червяка. Она отрицательно влияет на увеличение производительности одночервячного экструдера. Чтобы избежать этого, в витках червяка делают прорези. Тот же эффект достигается применением многозаходных червяков в зоне загрузки.

Конструкция червяка должна обеспечивать возможность регулирования температуры в зависимости от количества воды, подаваемой через охлаждающее устройство

Для подвода охлаждающей воды в канал червяка хорошо зарекомендовали себя бессальниковые устройства (рис. VI.10). Охлаждающая жидкость нагнетается через штуцер *10* и трубку *9* в переднюю часть продольного канала червяка *5*, по которому жидкость возвращается в камеру *2*, после чего сливается через штуцер *1*. Шарикоподшипник *6* уплотняется прокладкой *4* и графитовой втулкой *3*, к которой пружиной *8* прижимается чаша *7*. Интенсивность охлаждения червяка контролируют по температуре сливаемой жидкости и регулируют при помощи вентиля, установленного на линии охлаждающей воды.

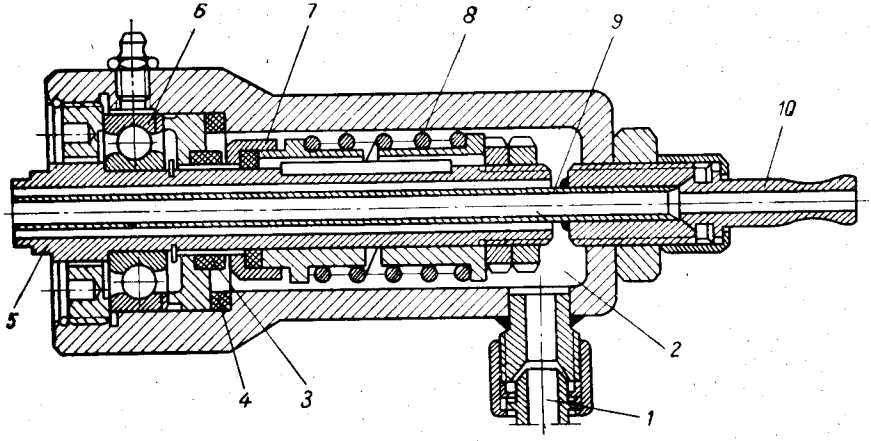


Рис. VI.10. Бессальниковое устройство для охлаждения червяка:

1, *10* — штуцеры; *2* — камера; *3* — втулка; *4* — прокладка; *5* — хвостовик червяка; *6* — шарикоподшипник; *7* — чаша; *8* — пружина; *9* — трубка.

Червяки рассчитывают на суммарное действие кручения и изгиба. Задачей расчета является проверка предварительно выбранных геометрических параметров червяка и определение максимально допустимого прогиба червяка *. Червяки должны хорошо переносить указанные нагрузки и обладать повышенной стойкостью к износу. Поэтому обычно их изготовляют из хромомолибденоалюминиевой (азотируемой), хромоникелевой, хромомолибденовой сталей марок 38ХМЮА, 4Х13, 40Х. Упрочнение поверхности червяков осуществляют методами термохимической обработки (азотирование, закалка), а также нанесением на поверхность червяка или его гребней хрома и твердых сплавов.

Упорные подшипники выбираются по величине осевого усилия P_1, равного произведению максимального давления материала перед головкой (увеличенного на 20—30% с учетом приращения давления по виткам червяка) на площадь поперечного сече-

* Д. Д. Рябинин, Ю. Е. Лукач, Червячные машины для переработки пластических масс и резиновых смесей, Изд. «Машиностроение», 1965.

ния червяка. Установка упорных подшипников в ряд (при расчете промежуточных тарельчатых пружин) должна обеспечить равномерное распределение осевого усилия на каждый подшипник. В этом случае каждый подшипник выбирают по усилию p_1:

$$p_1 = P_1/n_п \qquad \text{(VI.74)}$$

где $n_п$ — количество упорных подшипников, установленных в ряд.

Цилиндры экструдеров должны обладать высокой прочностью, так как они работают при повышенных температуре (до 400° С) и давлении (до 70 $Мн/м^2$), износоустойчивостью и противокоррозионной стойкостью. Цилиндры разделяются следующим образом:

1) по конструктивным признакам — цельные (кованые или литые), разъемные, сварные, комбинированные (например, биметаллические);

2) по методу обогрева — с рубашками для теплоносителя и без рубашек, с омическим или индукционным электрическим обогревом;

3) по методу крепления привода и профилирующей головки — с фланцевым, байонетным, винтовым соединением.

Обычно в полость цилиндра устанавливается гильза (втулка) или набор гильз. Однако в некоторых случаях цилиндры не имеют гильз, при этом их внутренняя поверхность является рабочей. Чаще всего внутренняя поверхность цилиндра или гильз азотируется. Поскольку азотированная поверхность склонна к короблению и образованию трещин (вследствие концентрации в ней напряжений) и подвержена коррозии (в результате удаления частиц нитридов хрома при окончательной механической обработке поверхности), в последнее время применяют биметаллические цилиндры, изготовленные методом центробежного литья (в США и некоторых других странах). Толщина слоя износоустойчивого покрытия цилиндра после окончательной обработки равна 1,5 *мм*. Для покрытий применяются сплавы с содержанием хрома от 9—17 до 27—32%. Биметаллические цилиндры долговечнее азотированных примерно в три раза.

Снаружи цилиндра располагаются устройства для автономного обогрева и охлаждения участков цилиндра, а также термопары и термоизоляционные кожухи. В зоне питания червяка расположена загрузочная воронка прямоугольной, круглой или овальной формы. В этой зоне цилиндр имеет рубашку для охлаждения проточной водой. Радиальные и упорные подшипники, а также устройство для осевого перемещения червяка расположены в той части корпуса, где установлен хвостовик червяка. К переднему торцу цилиндра крепится профилирующая головка. Обычно цилиндр состоит из загрузочной и рабочей частей. Загрузочную часть изготовляют из стальной отливки со смещенным относительно оси червяка прямоугольным отверстием с закруглёнными углами. Длина отверстия равна $(1{,}2 \div 1{,}5)\,D$ при шаге в зоне питания $t = D$.

Для переработки порошкообразных материалов на одночервячном экструдере применяется цилиндр, верхняя часть которого (на входе материала) имеет коническую форму. Коническая полость может

частично перекрываться шиберной заслонкой. Коническая форма цилиндра на входе обеспечивает более эффективное уплотнение порошка в начале червяка, в то время как шибер препятствует выталкиванию порошка в зоне загрузки. Шибером также регулируется степень заполнения червяка.

Устройство для загрузки. Равномерность подачи материала в загрузочную зону экструдера и предварительное уплотнение материала влияет на производительность машин. Обычно применяют устройство для загрузки с вертикальным или горизонтальным подающим шнеком или с вибратором. Вибрационное устройство обеспечивает наиболее равномерную подачу материала, но без его

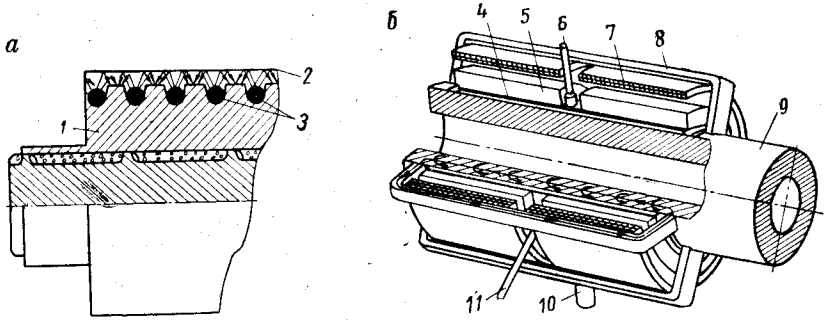


Рис. VI.11. Электрические устройства для обогрева цилиндра:

а — элементами омического сопротивления; *б* — индукционными нагревателями; *1*, *9* — цилиндры; *2* — кожух; *3* — нагреватели сопротивления; *4* — камера; *5* — тепловая изоляция; *6*, *10* — штуцеры; *7* — индукционный нагреватель; *8* — пластина; *11* — термопара.

предварительного уплотнения и поэтому пригодно главным образом для загрузки экструдера гранулами.

Устройство для нагрева цилиндра экструдера показано на рис. VI.11, *а*. Трубчатые нагреватели сопротивления *3* уложены в спиральных канавках, расположенных на наружной поверхности цилиндра *1*. Нагреватели закрыты герметичным кожухом *2*, который предохраняет их от проникновения охлаждающего агента и служит экраном для теплового потока, распространяемого нагревателями лучеиспусканием.

При разогреве цилиндра к нагревателям подводится необходимое напряжение, которое автоматически уменьшается вдвое после достижения заданной температуры (вследствие этого мощность нагрева уменьшается в четыре раза). В случае внезапного резкого понижения температуры цилиндра нагреватели автоматически включаются на полную мощность до восстановления заданной температуры. Для автоматического контроля температуры каждой зоны нагрева установлены позиционные приборы с импульсными прерывателями (дозаторами энергии).

Более интенсивной и экономичной является система обогрева с помощью индукционных нагревателей. Плотный контакт нагрева-

теля и цилиндра не обязателен, что создает большие удобства для размещения охлаждающих каналов (для воды или сжатого воздуха). Конструкция одного из вариантов представлена на рис. VI.11, *б*. Вода через штуцер *6* поступает в камеру *4* и омывает поверхность цилиндра *9*, после чего сливается через штуцер *10*. Индукционные нагреватели *7* расположены снаружи теплоизоляционного слоя *5*. Для создания замкнутых контуров электромагнитного поля установлены фигурные пластины *8*, а для измерения температуры цилиндра — термопара *11*.

Следует отметить, что в процессе эксплуатации изоляция индукторов разрушается (постоянный контакт с нагретым цилиндром вызывает увеличение сечения медного провода, он окисляется и т. д.). При этом возможно короткое замыкание. Изоляция может также разрушаться из-за электромагнитных колебаний обмотки. Кроме того, вышедшие из строя индукционные нагреватели трудно разбирать и ремонтировать. Разъемные нагреватели очень дороги, их стоимость в несколько раз превышает стоимость нагревателей сопротивления той же мощности.

Для увеличения сроков службы целесообразно применять низковольтные индукционные нагреватели. Они выполняются в виде спирали из медной проволоки круглого или прямоугольного сечения, которая навита вокруг цилиндра и подсоединена ко вторичной обмотке низковольтного трансформатора. В связи с низким напряжением и небольшим количеством витков изоляция такого индуктора не представляет трудностей.

Устройство для охлаждения цилиндра экструдера. Позонное охлаждение цилиндра обычно осуществляется сжатым воздухом, нагнетаемым одним или несколькими вентиляторами. Цилиндр можно охлаждать также сжатым воздухом с тонко рассеянной в нем водой. Создаваемый форсункой «туман» с большой скоростью омывает кожух цилиндра, после чего отсасывается вентилятором. Благодаря тому, что вентилятор создает некоторый вакуум в рубашке охлаждения, эффективность охлаждения повышается, так как скорость испарения взвешенных частиц воды увеличивается. Сжатый воздух нагнетается и отсасывается непрерывно, а вода распыляется только в тех случаях, когда необходимо предотвратить превышение допустимой рабочей температуры. Подача распыляемой воды регулируется электроуправляемым клапаном в зависимости от температуры, замеряемой в средней части зоны обогрева.

Для точного позонного регулирования температуры цилиндра и червяка некоторых экструдеров применяются жидкие теплоносители: при температуре до 200° С — вода, при более высокой температуре — минеральное масло. Для повышения температуры теплоносителя обычно используются электрические нагреватели или водяной пар.

Оборудование для обогрева и охлаждения поставляется комплектно с экструдером.

§ 4. ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ЧЕРВЯЧНЫЕ ЭКСТРУДЕРЫ

Одночервячные экструдеры — универсальные машины, используемые для смешения, пластикации и гранулирования термопластов, изготовления пленки, листов, труб и различных профильных изделий, покрытия тканей и бумаги пленкой, а также для производства полых изделий.

Такие экструдеры различаются главным образом диаметрами и длинами червяков, приводами, диапазоном и способами регулирования скорости вращения червяков, общей и удельной мощностью

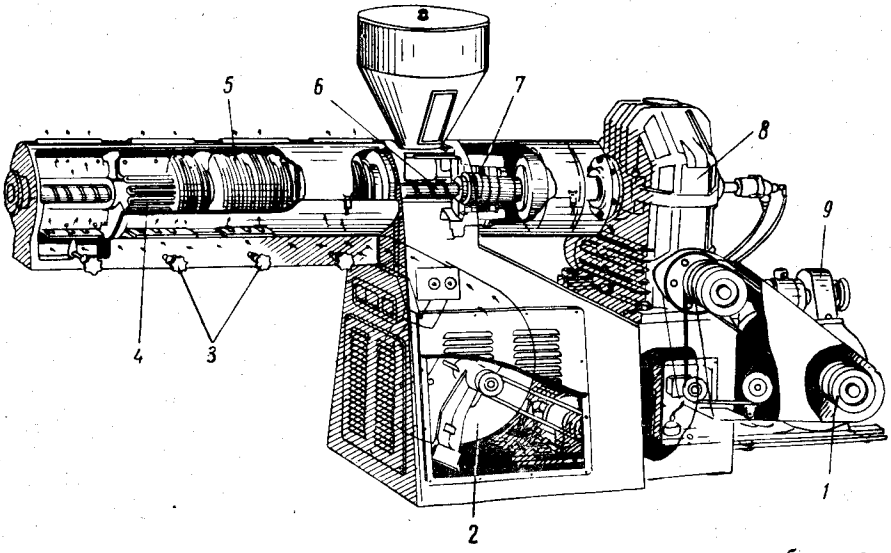


Рис. VI.12. Одночервячный экструдер с электрическим омическим обогревом и воздушным охлаждением цилиндра:

1 — клиноременная передача; *2* — вентилятор; *3* — вентили; *4* — нагреватели сопротивления; *5* — кольцевые ребра; *6* — червяк; *7* — упорный подшипник; *8* — червячный редуктор; *9* — электродвигатель.

нагревателей цилиндра, а также способами автоматического контроля заданной температуры и наличием устройств для равномерной загрузки материала, его подсушки и подогрева.

В СССР выпускается серия одночервячных экструдеров и экструзионных установок на их основе. Диаметр червяков на одночервячных экструдерах равен 20; 32; 45; 63; 90; 125 и 160 *мм*, отношение $L/D = (20 \div 25) : 1$ (табл. VI.2).

Одночервячный экструдер с воздушным охлаждением цилиндра изображен на рис. VI.12. Нагревательная система такого экструдера состоит из ленточных нагревателей сопротивления *4* и разделена на четыре зоны. На участке каждой зоны расположены по два разъемных цилиндрических нагревателя мощностью 3 *квт* каждый. Для

охлаждения зон цилиндра воздухом установлен один общий вентилятор *2*, а количество нагнетаемого к каждой зоне воздуха можно регулировать вентилями *3*. Для интенсификации охлаждения цилиндра воздухом на цилиндре установлены кольцевые ребра *5* большого диаметра.

Червяк *6* имеет по всей длине канал для охлаждения водой. Осевое усилие, возникающее при работе червяка, воспринимается мощным упорным роликовым подшипником *7* с несущей способностью 200 *кн* при 100 *об/мин*. Привод червяка осуществляется двигателем переменного тока *9* мощностью 18 *квт* через клиноременную передачу *1* и червячный редуктор *8*. Электродвигатель позволяет регулировать скорость в пределах 4 : 1, обеспечивая максимальную скорость вращения червяка 100 *об/мин*. Диаметр червяка 65 *мм*.

В настоящее время выпускаются одночервячные экструдеры не только с электромеханическим, но и с гидравлическим приводом. Применение гидравлического привода позволяет снизить потребляемую мощность при передаче необходимого крутящего момента на червяк. На экструдере с гидравлическим приводом осуществляется бесступенчатое регулирование чисел оборотов червяка в широких пределах при сохранении постоянного крутящего момента. Давление в гидросистеме и мощность гидравлического двигателя зависят от скорости вращения червяка.

Одночервячный экструдер с индукционным обогревом показан на рис. VI.13. Привод червяка осуществляется электродвигателем (переменного или постоянного тока), который передает крутящий момент на клиновой шкив *2*. В первом случае скорость вращения червяка изменяется при помощи электромагнитной муфты или редуктора. Для измерения и контроля скорости вращения червяка установлен тахогенератор *1*. Осевые усилия червяка воспринимаются упорным подшипником *5*. Подвод и отвод воды, охлаждающей червяк, осуществляется через трубопроводы *3*. Вода через отверстия в трубе *8* поступает в канал червяка и по этому каналу возвращается назад. Червяк заканчивается коническим червячным наконечником *10*.

На наружной поверхности цилиндра установлены индукционные нагреватели *7* с тремя — четырьмя зонами автоматического контроля температуры при помощи термопар *6*.

Равномерная загрузка гранулированного материала осуществляется вибрационным питателем *4*. Для позонного охлаждения установлен вентилятор *13* с тремя воздуховодами *12*. Экструзионную головку *11* крепят к цилиндру зажимным кольцом *9*. При необходимости демонтажа червяка, его вынимают через переднюю часть цилиндра после отсоединения устройства для охлаждения. Диаметр червяка 90 *мм*, отношение $L/D = 20 : 1$, скорость вращения до 75 *об/мин*, общая мощность нагревателей 36 *квт*, мощность электродвигателя 18—22 *квт*.

Мощный одночервячный экструдер с диаметром червяка 200 *мм* и $L/D = 20 : 1$ показан на рис. VI.14. Цилиндр экструдера оснащен комбинированной системой для позонного обогрева и охлаждения

Таблица VI.2

Технические характеристики одночервячных экструдеров

Завод-изготовитель, фирма	Тип экструдера	Параметры червяка			Производительность, *кг/ч*	Мощность, *квт*	
		диаметр, *мм*	отношение *L/D*	скорость вращения, *об/мин*		обогрева	привода
Завод «Кузполимермаш» (СССР)	ЧП20×25	20	25 : 1	12,5—260	⩽9	3	2,8
	ЧП32×25	32	25 : 1	11—212	⩽18	4	4,5
	ЧП45×25	45	25 : 1	9—180	⩽40	7,2	11
	ЧП63×20	63	20 : 1	7,5—150	⩽80	12,5	25
	ЧП90×20	90	20 : 1	11—72	⩽120	19	55
Завод «Большевик» (СССР) . .	ЧПГ125×20	125	20 : 1	15—65	⩽200	10,6	75
	ЧМПК-160	160	20 : 1	⩽65	200—240	45	100
«Alpine» (ФРГ)	Н-8	9	11 : 1	1500—3000	1,5—3	1	0,48
	Н-25	25	11 : 1	200—700	10—12	2	3,4
	Н-35	35	11 : 1	210—840	20—35	3	7,4
	Н-50	50	11 : 1	150—550	35—45	3	15
	Н-65	65	9 : 1	150—550	50—70	3	28
«Bielloni» (Италия)	К-30	30	(24 ÷ 28) : 1	21—80	11	2	2,2
	Т45	45	(22 ÷ 28) : 1	23—85	25	4	7,5
	Т60	60	(22 ÷ 28) : 1	21—80	40	8	15
	К-80	80	(22 ÷ 26) : 1	17—65	70	15	28
	К-100	100	(22 ÷ 26) : 1	16—60	100	20	45
	К-120	120	(20 ÷ 26) : 1	14—55	130	30	55
«Ikegai» (Япония)	С40-22	40	22 : 1	10—60	20	6,5	3,6
	С65-22	65	22 : 1	10—60	60	11	11
	С90-22	90	22 : 1	10—60	130	32	30
	С115-22	115	22 : 1	10—60	200	35	45—55
	С125-22	125	22 : 1	10—60	250	60	55—75
	С150-22	150	22 : 1	10—60	370	80	90—115
	С200-20	200	20 : 1	10—60	650	140	115—150
«Thermoplastic» (США)	«Standart»	25	21, 24 или 30 : 1	⩽120	12	6	1,5
		50	21, 24 или 30 : 1	⩽120	63	16	18
		60	21, 24 или 30 : 1	⩽120	104	22	37
		90	21, 24 или 30 : 1	⩽120	215	31	55
		115	21, 24 или 30 : 1	⩽120	360	45	115
		150	21, 24 или 30 : 1	⩽120	680	67	220
		200	21, 24 или 30 : 1	⩽100	1130	150	450
		250	21, 24 или 30 : 1	⩽80	1360	190	600
		300	21, 24 или 30 : 1	⩽70	1600	230	740

цилиндра. Система состоит из электрических нагревателей и теплообменников, в которых используется принцип испарения теплоносителя с последующей конденсацией пара. Контроль температуры осуществляется по давлению пара.

Одночервячные экструдеры конструктивно проще и в большинстве случаев эффективнее многочервячных и двухчервячных машин. Тем не менее последние находят все большее применение благодаря широким технологическим возможностям.

Действительно, многочервячные машины позволяют компаундировать термопластичные материалы с различными добавками и модификаторами, гранулировать термопласты, удалять гелеобразные дефекты, окрашивать материал, обеспечивая равномерное диспергирование пигментов, смешивать различные термопласты, удалять влагу и мономеры из материала в процессе его переработки, смешивать и пластицировать непластифицированный и пластифицированный поливинилхлорид и их сополимеры для подачи материала на каландры, экструдировать профильные изделия не только из гранулированного, но и из порошкообразного материала.

Многочервячные экструдеры характеризуются количеством червяков, взаимным расположением и направлением их вращения, характером сопряжения червяков, степенью сжатия материала, конструктивными особенностями червяков, цилиндров и т. д. Эти параметры могут сочетаться в различных комбинациях, что приводит к многообразию конструкций машин.

Например, известны экструдеры с вращением червяков в одну сторону (при этом нарезка червяков одинаковая) и с вращением в разные стороны, когда нарезки соприкасающихся червяков разнонаправленные. По характеру сопряжения различают зацепляющиеся и незацепляющиеся червяки. Обязательным признаком многочервячного экструдера является расположение нескольких червяков в одном канале цилиндра. Экструдеры, у которых несколько червяков расположены в различных каналах одного или нескольких цилиндров, относятся к сдвоенным, строенным или счетверенным одночервячным машинам.

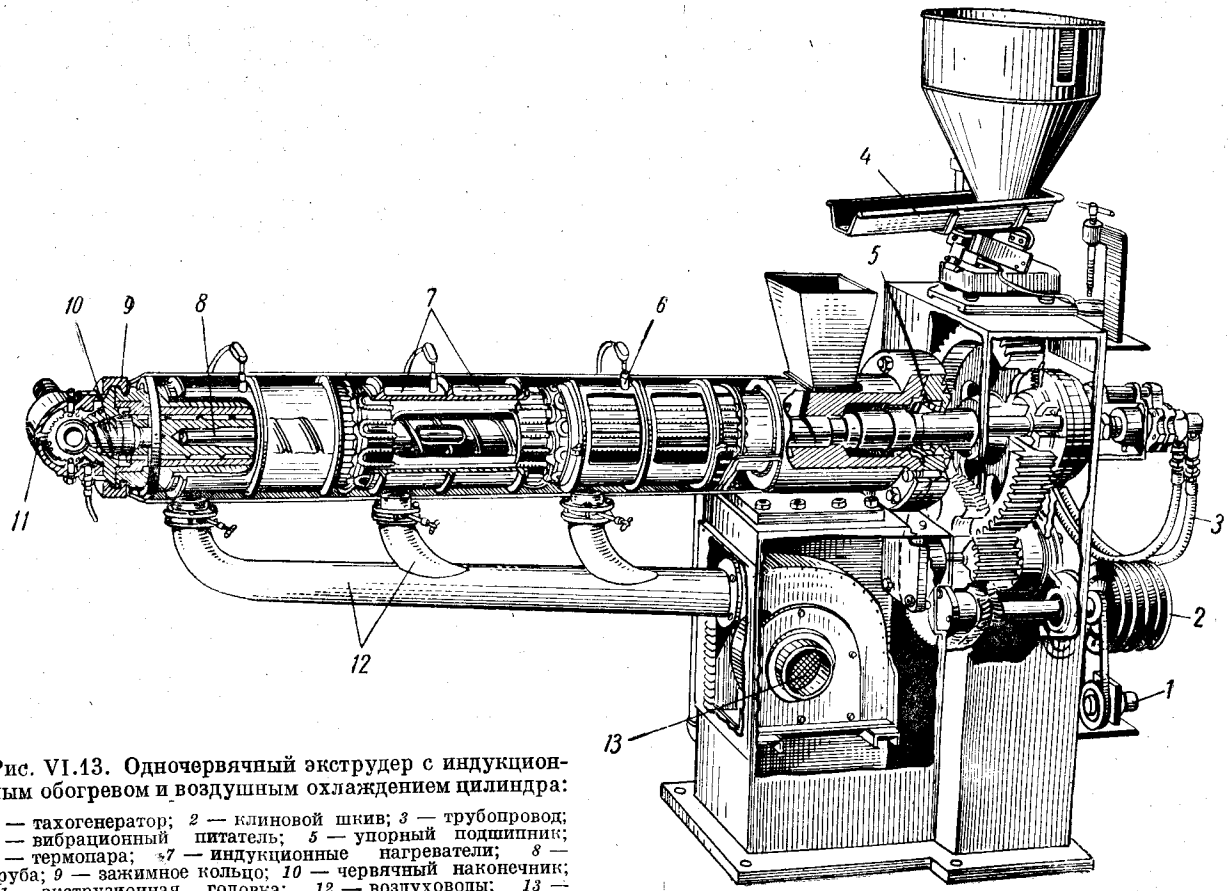


Рис. VI.13. Одночервячный экструдер с индукционным обогревом и воздушным охлаждением цилиндра:

1 — тахогенератор; *2* — клиновой шкив; *3* — трубопровод; *4* — вибрационный питатель; *5* — упорный подшипник; *6* — термопара; *7* — индукционные нагреватели; *8* — труба; *9* — зажимное кольцо; *10* — червячный наконечник; *11* — экструзионная головка; *12* — воздуховоды; *13* — вентилятор.

Рассмотрим особенности двухчервячных экструдеров. Зона загрузки у них имеет бо́льшую емкость, чем зона сжатия. Это позволяет перерабатывать тонкодисперсные порошкообразные термопласты и обеспечивает хорошее заполнение цилиндра материалом. Давление в зоне загрузки возрастает быстрее, чем у одночервячного экструдера. Вследствие перемешивания во всех трех направлениях в экструдере происходят интенсивные процессы теплообмена, перемещения материала и выделения летучих веществ. Последнее обстоятельство приводит к необходимости устанавливать на машинах по

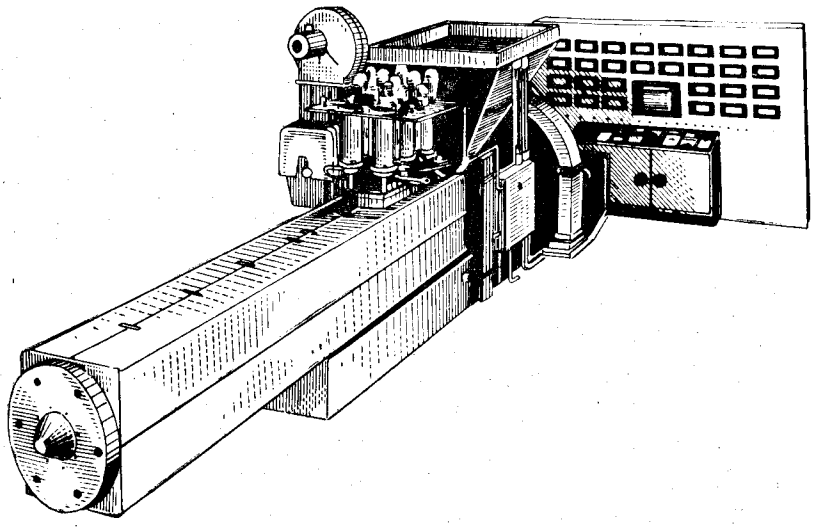


Рис. VI.14. Мощный одночервячный экструдер (диаметр червяка 200 *мм*) с комбинированной системой для обогрева и охлаждения цилиндра.

нескольку вакуумных зон. Материал пластицируется при пониженном давлении без местного повышения температуры, которое наблюдается в одночервячных экструдерах.

На двухчервячных экструдерах применяют винтовые цилиндрические и конические червяки, а также червяки, в которых винтовые секции чередуются с кулачковыми.

На рис. VI.15, а показаны червяки, в зоне плавления *II* которых развивается многозаходная нарезка. В зоне питания *III* нарезка червяков — прямоугольная однозаходная, с большим шагом и широким каналом, что способствует принудительному продвижению перерабатываемого материала вдоль цилиндра. В винтовом канале зоны плавления каждого червяка от поверхности сердечника медленно развивается виток нарезки с небольшой шириной гребня.

В сопрягающихся местах гребня витка также плавно развивается винтовой канал, при этом вновь развивающиеся витки входят во вновь

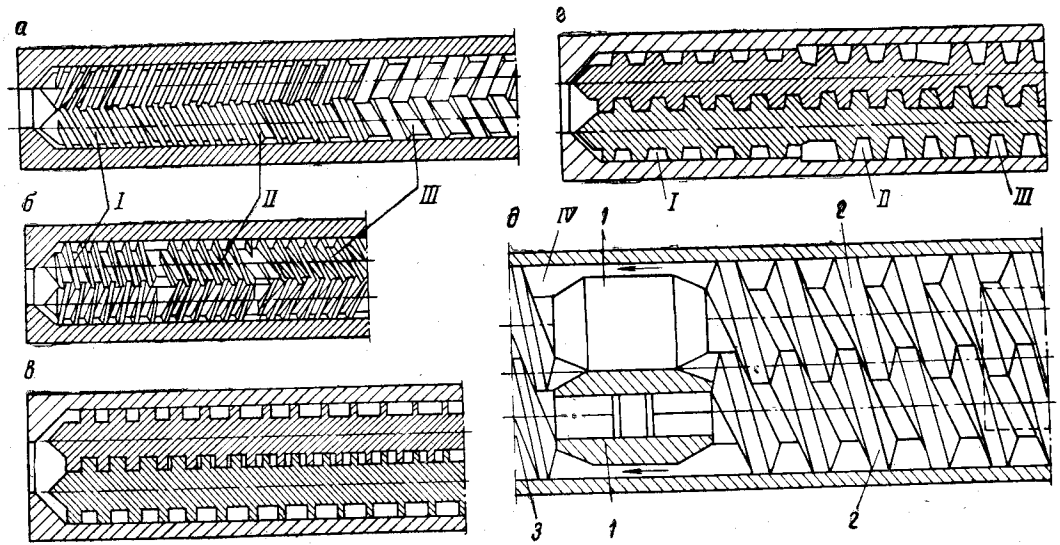


Рис. VI.15. Конструкции червяков двухчервячных экструдеров:

а — с плавным развитием многозаходной нарезки; *б* — со ступенчатым изменением числа заходов нарезки; *в* — с постепенным изменением шага нарезки; *г* — с резкими границами между тремя зонами; *д* — со смесительными роликами; *1* — смесительные ролики; *2* — червяки; *3* — червячная секция; *I* — зона выдавливания; *II* — зона плавления; *III* — зона питания; *IV* — зона декомпрессии.

развивающиеся каналы. К началу зоны выдавливания *I* новая нарезка обоих червяков полностью оформляется, и в зоне выдавливания червяки имеют двух- или трехзаходную нарезку с одинаковым профилем каждого захода. В червяках такой конструкции материал, перемещаемый вдоль корпуса, перераспределяется между обоими червяками и несколькими винтовыми каналами. Расплав перемещается через узкие зазоры между сопряженными ребрами каналов и испытывает большие деформации сдвига.

Взаимное зацепление двух червяков препятствует удалению летучих веществ из материала. Для облегчения выхода газов и паров воды на ребрах винтовых каналов делаются прорези или срезается часть витка в начале каждой зоны.

Для интенсификации процессов дегазации и обезвоживания материала применяются многостадийные червяки, в первой зоне которых объем винтового канала уменьшается и материал уплотняется и пластицируется. В средней части червяков винтовой канал резко расширяется, давление в материале падает до нуля и из расплава через окна в корпусе выделяются воздух и летучие вещества. Во второй зоне объем винтового канала снова уменьшается, материал уплотняется, гомогенизируется и выдавливается через экструзионную головку. Для более полного удаления газов и влаги применяются червяки с тремя—четырьмя зонами дегазации, расположенными последовательно. Иногда через отверстия в цилиндре в зоне декомпрессии вводятся отдельные компоненты или промывающие жидкости.

Как было отмечено ранее, изменение степени сжатия материала достигается различными методами, в частности, уменьшением наружного диаметра червяка. Одновременно с уменьшением наружного диаметра червяков увеличивается диаметр сердечника, а это обеспечивает хорошее зацепление. По мере уменьшения глубины винтового канала по зонам уменьшается и шаг нарезки. Такие червяки обеспечивают степень сжатия 3—4.

Объем винтовых каналов может изменяться благодаря ступенчатому изменению числа заходов и шага нарезки: в зоне питания *III* (рис. VI.15, *б*) нарезка — трехзаходная, в зоне плавления *II* — двухзаходная, а в зоне выдавливания *I* — однозаходная.

Сжатие материала достигается также изменением конструкции винтового канала, для чего фронтальную и тыловую поверхности канала нарезают с различным шагом (шаг тыловой поверхности меньше). В результате ширина винтового канала плавно уменьшается (рис. VI.15, *в*).

Показанные на рис. VI.15, *г* червяки разделены на три зоны. При переходе от одной зоны к другой нарезка червяков прерывается, диаметр сердечника ступенчато увеличивается, а наружный диаметр червяка ступенчато уменьшается. Вследствие этого уплотнение материала происходит скачкообразно. Червяки здесь — однозаходные. Они имеют одинаковое направление нарезки и вращаются в одну сторону.

Вместо дисковых кулачков, которые чередуются с червячными секциями, могут быть применены смесительные ролики *1* (рис. VI.15, *д*). Материал, транспортируемый двумя червяками *2*, интенсивно перемешивается роликами *1* и затем нагнетается в следующую червячную секцию *3*. Непосредственно за роликами по ходу движения материала (на рисунке показано стрелкой) расположена зона декомпрессии *IV*.

Червяки с обратным изменением объемов винтовых каналов улучшают качество переработки, обеспечивая однородность материала. В этом случае объем винтового канала одного червяка по мере приближения к головке уменьшается, а другого — увеличивается. Материал, выдавливаемый из винтового канала одного червяка в канал другого, подвергается деформациям сдвига в узком зазоре между ребрами каналов.

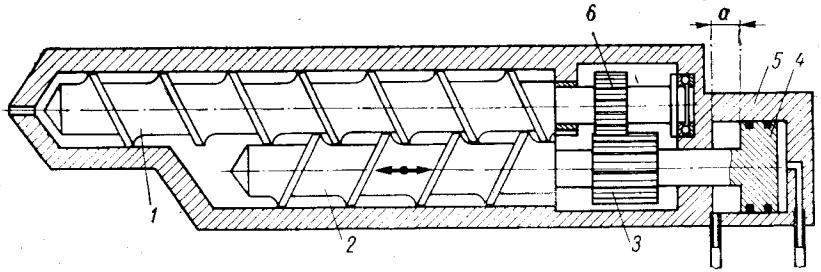


Рис. VI.16. Схема двухчервячного экструдера с различной длиной червяков:

1 — длинный червяк; *2* — короткий червяк; *3*, *6* — приводные шестерни; *4* — плунжер; *5* — гидравлический цилиндр.

Для той же цели применяют двухчервячные экструдеры с одним укороченным червяком (рис. VI.16). Двухчервячная секция обеспечивает пластикацию и транспортировку материала к одночервячной секции. При нагнетании материала коротким червяком в винтовой канал удлиненного червяка материал подвергается деформации сдвига в зонах сопряжения червяков и перехода двухчервячной секции в одночервячную.

Для интенсификации перемешивания и пластикации материала используется возвратно-поступательное перемещение короткого червяка *2* под действием расположенного в гидравлическом цилиндре *5* дифференциального плунжера *4*. Осциллирующие движения червяка вызывают дополнительные напряжения сдвига в материале, что ускоряет пластикацию материала и улучшает качество выдавливаемого из головки расплава. Амплитуда *a* и частота перемещений зависят от свойств перерабатываемого материала. Если приводные шестерни *3* и *6* выполнить косозубыми, то при перемещении червяка *2* длинному червяку *1* сообщается дополнительное вращательное движение, что интенсифицирует процесс пластикации материала.

При работе двухчервячного экструдера возникают большие осевые усилия, которые должны восприниматься упорными подшипни-

ками. Например, при диаметре червяков 90 *мм* суммарная рабочая площадь поперечного сечения двух червяков равна 130 *см*^{2}, а осевая нагрузка достигает 650 *кн*.

В современных двухчервячных экструдерах применяется несколько конструктивных вариантов узла упорных подшипников.

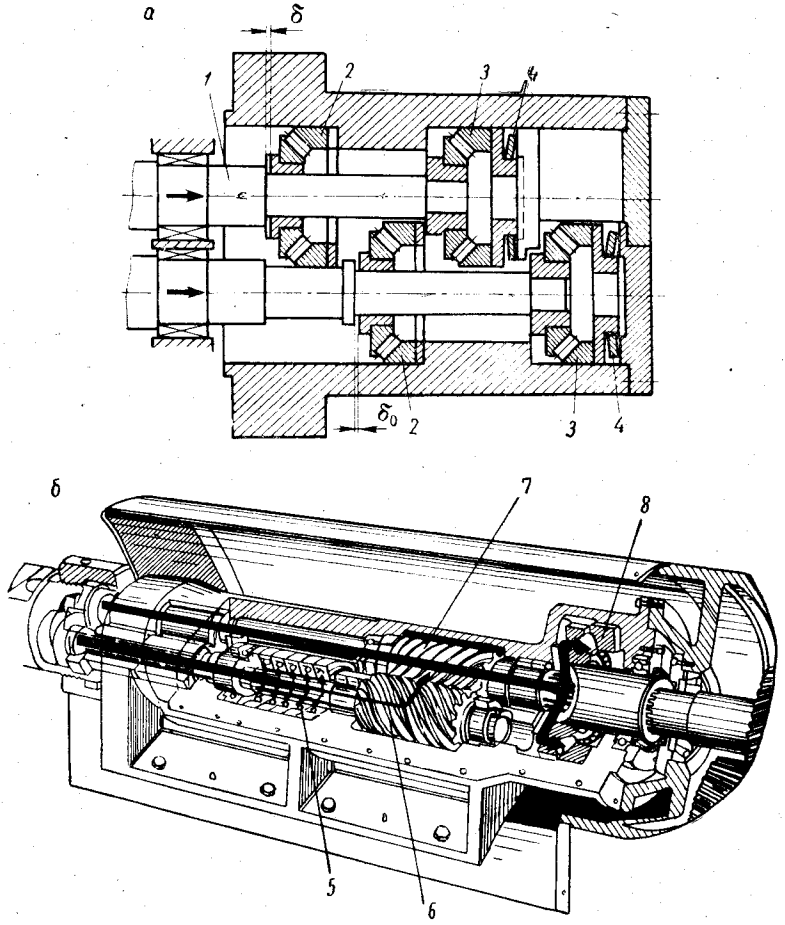


Рис. VI.17. Узлы упорных подшипников для двухчервячных экструдеров с равномерным (*а*) и неравномерным (*б*) распределением нагрузки на подшипники:

1 — вал; *2*, *3*, *8* — упорные подшипники; *4* — тарельчатые пружины; *5* — радиально-упорный подшипник; *6*, *7* — шестерни.

В одном из вариантов (рис. VI.17, *а*) упорные подшипники *2* и *3* устанавливаются совместно с пакетами тарельчатых пружин *4*. Упорный подшипник *3* воспринимает только определенную долю осевого усилия червяка. В результате деформации пружины *4* вал *1* червяка перемещается на расстояние δ, после чего остальная часть

осевого усилия воспринимается упорным подшипником *2*. Таким же образом последовательно воспринимается усилие, возникающее при работе нижнего червяка.

Обычно на валу каждого червяка устанавливают по нескольку упорных подшипников и комплектов тарельчатых пружин. При этом основная часть осевого усилия последовательно распределяется через пакеты тарельчатых пружин (в результате их сжатия) на другие упорные подшипники.

В ином варианте подшипникового узла для восприятия осевых нагрузок (рис. VI.17, *б*) серия радиально-упорных подшипников *5* воспринимает только часть осевого усилия на левом червяке. Остальная доля усилия передается винтовой шестерней *6* на шестерню *7* и воспринимается мощным саморегулирующимся упорным подшипником *8* совместно с усилием, воспринимаемым правым червяком.

Двухчервячный экструдер австрийской фирмы «Allgemeine Maschinenbau» типа CT80 с диаметром червяков 80 *мм* показан на рис. VI.18. Эта фирма выпускает также аналогичный экструдер типа CT140 с диаметром червяков 140 *мм* и экструдер типа CT110/80 с коническим червяком, имеющим начальный диаметр 110 *мм* и конечный диаметр 80 *мм*. Крутящий момент передается коллекторным электродвигателем *1* через цепную передачу *2* и шестерню *3* на шестерни *5* и *6*. Шестерня *5* установлена на консоли правого вала *9*, соединенного шлицевой муфтой *12* с валом червяка *14*. Шестерня *6* установлена на консоли промежуточного вала *7*, от которого крутящий момент передается на левый вал *11* через косозубые шестерни *10*. Левый вал соединен с валом червяка *15* шлицевой муфтой.

Конструкция привода обеспечивает вращение червяков в противоположные стороны и независимое восприятие осевых усилий, возникающих при работе экструдера. Осевое усилие червяка *15* воспринимается гребенчатым многорядным упорным подшипником *8*, а осевое усилие червяка *14* — мощным роликовым радиально-упорным подшипником *4*. Максимальное осевое усилие каждого червяка составляет 300 *кн*, а максимальный крутящий момент 3100 *н·м*.

Червяки характеризуются величиной $L/D = 16 : 1$; степень сжатия 1,8 : 1, скорость вращения 4,4—16 *об/мин*. Конструкции червяков имеют три зоны: питания, сжатия и выдавливания. Кроме того, между зонами питания и сжатия, и зонами сжатия и выдавливания имеются промежуточные зоны интенсивного сдвига и перемешивания материала. В этих зонах витки червяка имеют вырезы, способствующие перемешиванию и обратному течению материала.

Цилиндр экструдера разделен на четыре автономные зоны электрического обогрева, две из которых имеют также водяное охлаждение. Для улучшения загрузки материала на бункере установлен вибратор *13*. Экструдер снабжен прямоточной кольцевой головкой *16* и калибрующей насадкой *17* для производства труб. Головка имеет пять зон электрообогрева, а одна из зон — водяное охлаждение. Мощности обогрева цилиндра и головки равны соответственно 16 и 20 *квт*. Производительность экструдера 80—100 *кг/ч*. Экструдер позволяет

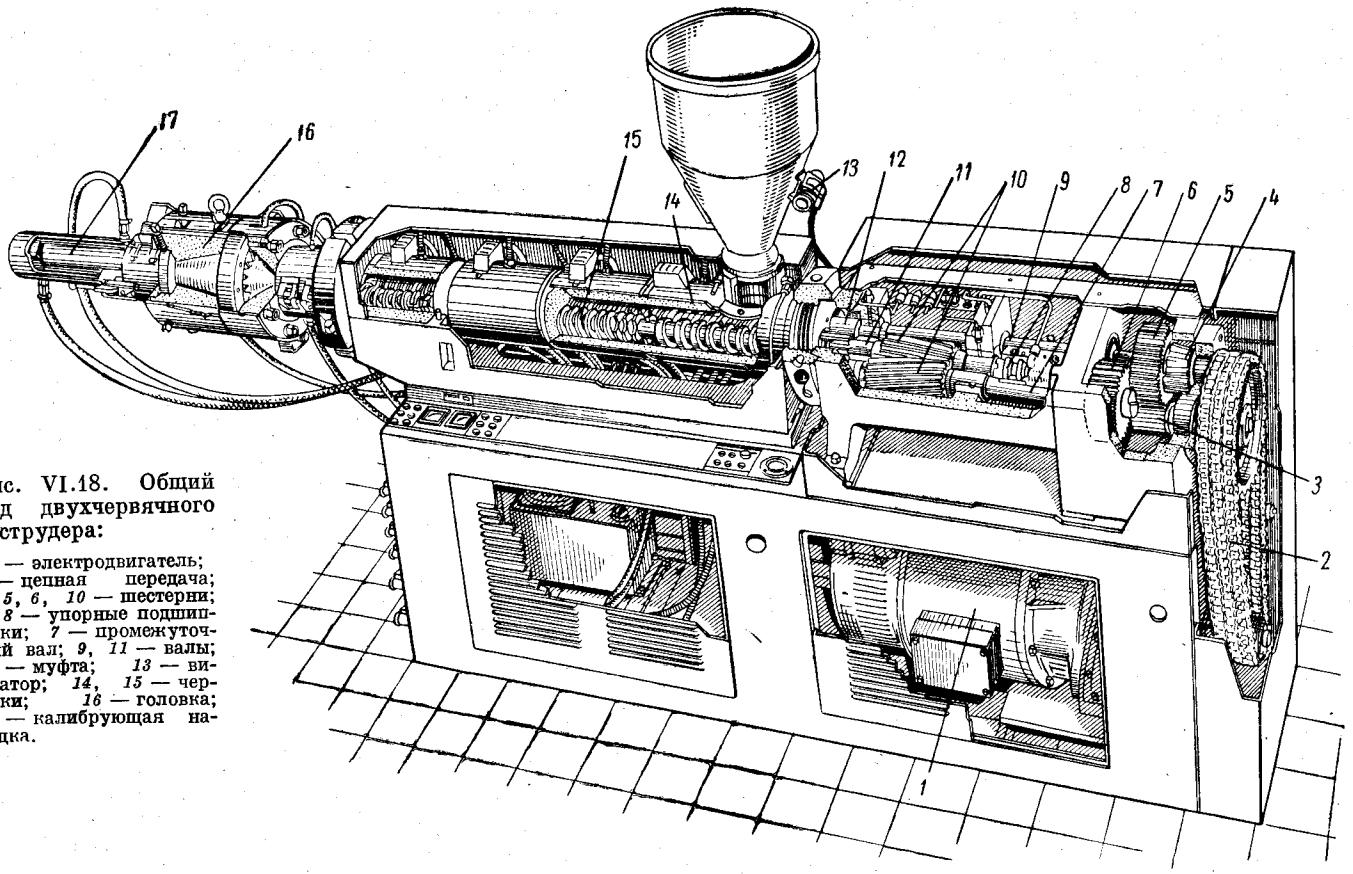


Рис. VI.18. Общий вид двухчервячного экструдера:

1 — электродвигатель; *2* — цепная передача; *3*, *5*, *6*, *10* — шестерни; *4*, *8* — упорные подшипники; *7* — промежуточный вал; *9*, *11* — валы; *12* — муфта; *13* — вибратор; *14*, *15* — червяки; *16* — головка; *17* — калибрующая насадка.

изготовлять трубы диаметром 80—170 *мм* непосредственно из порошкообразных термопластов и покрывать пластмассой металлические трубы.

Двухчервячный двухстадийный экструдер фирмы «Anger» (Австрия) показан на рис. VI.19. От электродвигателя переменного тока *1* с регулируемой скоростью вращения крутящий момент передается через сменные шестерни *2*, редуктор *3* и муфты сцепления *4* на валы верхней и нижней пар червяков *7* и *14*. Возникающие при работе червяков усилия воспринимаются радиальными и упорными подшипниками *5*.

Пластикационный *8* и выдавливающий *13* цилиндры закрыты термоизоляционными кожухами. В плите *9* закреплены не только оба цилиндра, но и дозирующий блок *10* с регулируемым клапаном *11*, который позволяет изменять давление материала на выходе из цилиндра *8*, влияя таким образом на степень смешения и пластикацию материала, а также на производительность. Давление материала измеряется манометром *12*. Для удаления летучих веществ из загрузочной зоны выдавливающего цилиндра предназначены линия вакуумного отсоса *15* и вакуум-насос *17*.

Сжатый воздух для охлаждения червяков подается через штуцер *16*. Управление подачей масла при охлаждении цилиндров по зонам осуществляется при помощи электромагнитных вентилей *18* (предусмотрена трехзонная циркуляция масла). В нижней части машины установлены теплообменник *19* для охлаждения масла, насосы *20* и *21* для смазки и нагнетания охлаждающего масла.

Бункер *6* оснащен смотровым окном для контроля уровня материала.

Пластицирующие червяки имеют диаметр 84 *мм* при длине 11*D*, а выдавливающие червяки — 80 *мм* при длине 8 *D*. Коллекторный двигатель переменного тока мощностью 14 *квт* позволяет плавно изменять скорость вращения в пределах 1 : 3,7. Редуктор обеспечивает три скорости вращения пластицирующих и одну скорость выдавливающих червяков. Расчетная осевая нагрузка на подшипники 150 *кн*, максимальная кратковременная нагрузка 275 *кн*. Мощность обогрева цилиндров 17,2 *квт*.

На экструдере перерабатывается в основном порошкообразный непластифицированный поливинилхлорид, из которого изготавливаются высококачественные напорные трубы диаметром до 250 *мм*, листы толщиной 0,5—6 *мм* и шириной до 1100 *мм*, коробчатые профили сечением до 1700 *мм*^{2}. Производительность экструдера достигает 120 *кг/ч*.

Технические характеристики двухчервячных экструдеров приведены в табл. VI.3.

Кроме двухчервячных экструдеров некоторые фирмы выпускают трехчервячные (например, английская фирма «Windsor») и четырехчервячные экструдеры (бельгийская фирма «Jumex»). У четырехчервячного экструдера червяки с отношением $L/D = 10 : 1$ расположены попарно в двух горизонтальных плоскостях, один над

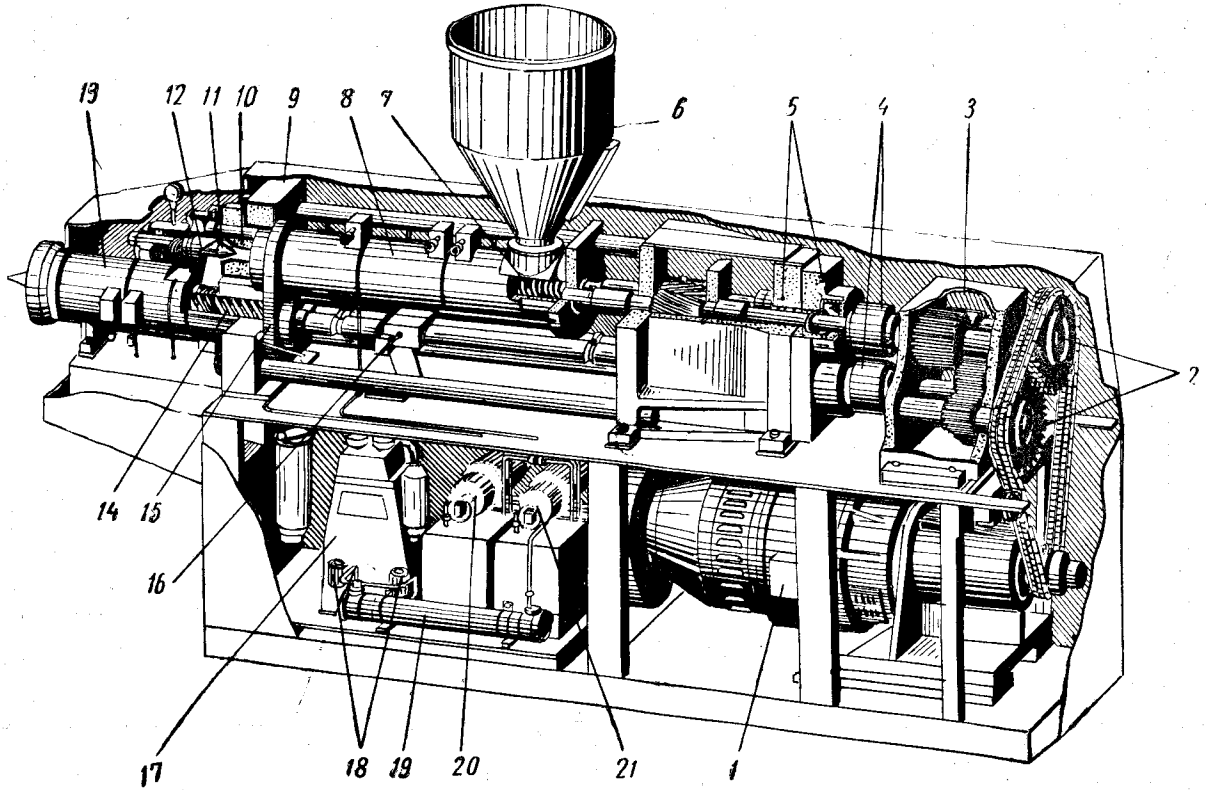


Рис. VI.19. Общий вид двухчервячного двухстадийного экструдера:

1 — электродвигатель; *2* — шестерни; *3* — редуктор; *4* — муфта; *5* — подшипники; *6* — бункер; *7*, *14* — червяки; *8* — пластикационный цилиндр; *9* — плита; *10* — дозирующий блок; *11* — клапан; *12* — манометр; *13* — выдавливающий цилиндр; *15* — линия вакуумного отсоса; *16* — штуцер; *17* — вакуум-насос; *18* — вентили; *19* — теплообменник; *20*, *21* — насосы.

Таблица VI.3

Технические характеристики двухчервячных и четырехчервячных экструдеров

Завод-изготовитель, фирма	Тип экструдера	Параметры червяков				Производительность, *кг/ч*	Мощность, *квт*	
		количество червяков	диаметр, *мм*	отношение *L/D*	скорость вращения, *об/мин*		обогрева	привода
«Большевик» (СССР)	ЧП2-90×12	2	90	12 : 1	3—15	83	12,8	13
	ЧП2-125×12	2	125	12 : 1	3,75—15	160	20,4	32
«Werner Pfleiderer» (ФРГ)	К-53	2	53	(16 ÷ 32) : 1	0—300	⩽100	18—36	35
	К-83	2	83	(17 ÷ 34) : 1	0—200	⩽300	36—72	100
	К-120	2	120	(18 ÷ 36) : 1	0—200	⩽900	75—150	200
	К-160	2	160	(18 ÷ 36) : 1	0—200	⩽2500	105—210	700
«Moi» (Италия)	3/22	2	38	12 : 1	12—48	22	6	3
	4/40	2	48	12 : 1	12—48	40	7,5	4
	8/80	2	70	12 : 1	8—30	80	15	9
	16/180	2	100	12 : 1	6—24	180	30	22
	44/500	2	150	12 : 1	4—16	500	70	50
	120/1200	2	200	12 : 1	4—16	1200	120	18 и 90
«Mapre» (Люксембург)	E2-62-64	2	64	12 : 1	0—50	100	7	12
	E2-60-92	2	92	10 : 1	0—48	150	8	15
	E2-58-102	2	102	10 : 1	0—50	250	14	18
	E2-60-160	2	160	10 : 1	0—33	800	28	37
«Jumex» (Бельгия)	C4	4	48	10 : 1	9—60	60	4,8	3
	C6	4	62	11 : 1	9—60	100	6	5,2
	C8	4	82	10 : 1	9—60	160	12,5	9
	C10	4	100	10 : 1	9—60	350	18	12
	C12	4	125	10 : 1	9—60	620	24	17,5

другим. Соседние червяки (по горизонтали и вертикали) вращаются в противоположных направлениях со скоростью 9—60 *об/мин.* В зоне загрузки червяки имеют увеличенный шаг, что улучшает захватывание материала.

От большинства двухчервячных машин четырехчервячный экструдер отличается применением коротких взаимозацепляющихся червяков, пониженной температурой переработки термопластов, уменьшением мощности обогрева цилиндра и потерь на трение червяков, полным использованием энергии нагревателей и отсутствием необходимости охлаждения цилиндра или червяка. Цилиндр экструдера имеет три автономные зоны обогрева с автоматическим контролем температуры.

Четырехчервячные экструдеры выпускаются с диаметром червяков 48, 62, 82, 100 и 125 *мм* (табл. VI.3). Экструдеры предназначены для грануляции термопластов, изготовления стержней и профилей, листов, пленки, полых изделий, производства рукавов из мягкого поливинилхлорида и труб из жесткого поливинилхлорида и полиэтилена, а также для покрытия бумаги и тканей пленкой, наложения изоляции на провода и кабели.

Несмотря на некоторые технологические преимущества, трех- и четырехчервячные экструдеры не нашли широкого применения вследствие сложности конструкции и сравнительно высокой стоимости. Кроме того, области эффективного применения таких экструдеров еще не определены достаточно четко.

§ 5. ВЕРТИКАЛЬНЫЕ, КОМБИНИРОВАННЫЕ И СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЧЕРВЯЧНЫЕ ЭКСТРУДЕРЫ

В настоящее время наряду с горизонтальными выпускаются также вертикальные экструдеры, которые позволяют исключить изменение направления потока материала между червяком и головкой при производстве пленки и полых изделий. Обычно при изменении направления потока увеличивается неоднородность скоростей и давлений расплава в профилирующей щели головки, что приводит к значительным колебаниям толщины экструдируемого изделия. Преимущество вертикальных экструдеров особенно ощутимо при производстве рукавной пленки и нанесении покрытий методом экструзии.

В вертикальном экструдере прямой симметричный поток пластицированного материала от червяка к осевой прямоточной головке обеспечивает равномерное распределение скорости истечения расплава из кольцевого зазора и постоянную толщину экструдируемого изделия.

Вертикальный экструдер, показанный на рис. VI.20, предназначен для переработки термопластов в различные профилированные изделия. Зона загрузки в экструдере расположена на выходном конце червяка, а зона выдавливания — вблизи привода червяка. Вследствие этого при работе экструдера почти не возникают осевые

усилия и легко регулируется величина степени сжатия материала в цилиндре.

Диаметр сердечника червяка *4* постепенно увеличивается от загрузочной зоны, расположенной в воронке *1*, к зоне выдавливания, ниже которой находятся радиально-упорные подшипники червяка и червячный редуктор привода. В зависимости от вида и плотности перерабатываемого материала *2* загрузочная часть *3* червяка может иметь вид червячной конической или цилиндрической насадки увеличенного диаметра. Пластицированный материал выдавливается через экструзионную головку *5*. Червяк охлаждается холодной водой, подаваемой в канал *6*.

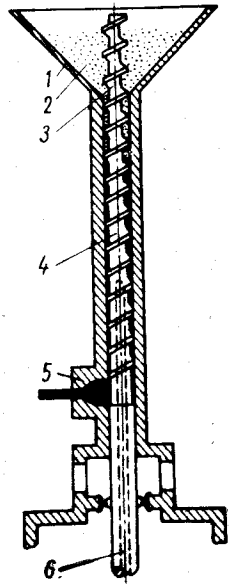


Рис. VI.20. Схема вертикального экструдера:

1 — воронка; *2* — материал; *3* — загрузочная часть червяка; *4* — червяк; *5* — головка; *6* — канал червяка.

Цилиндр экструдера обогревается теплоносителем, нагнетаемым в рубашки цилиндра, или электрическими нагревателями. Вал червяка и корпус экструдера ниже зоны выдавливания охлаждаются вентилятором. Чтобы расплавленный материал не проникал в радиальный зазор между валом червяка и внутренней поверхностью цилиндра, на поверхности вала нанесена мелкая нарезка с противоположным, чем у червяка, направлением винтовой линии. Экструдер имеет ряд преимуществ перед обычными машинами: обеспечивает лучшее заполнение червяка и передачу больших крутящих моментов.

Вследствие конструктивных особенностей вертикального экструдера создаются оптимальные условия для разгрузки материала, что позволяет повысить объемную производительность. Материал оказывает давление не на все поперечное сечение червяка, а только на площадь, равную разности площадей поперечного сечения червяка и его сердечника, в результате чего значительно снижаются осевые усилия, действующие на червяк. Уменьшению осевых усилий способствует также радиальное расположение выходного канала экструдера.

Недостатками экструдера являются сложность уплотнения зазора между хвостовиком червяка и цилиндром, а также повышение температуры элементов привода под действием нагревателей цилиндра.

Представляют интерес экструдеры с вертикальным и горизонтальным пересекающимися цилиндрами *2* и *4* (рис. VI.21). Червяки *1* и *5* цилиндров имеют независимый привод от отдельных электродвигателей с редукторами. На верхнем конце вертикального цилиндра установлен бункер для перерабатываемого материала. Материал пластицируется в вертикальном цилиндре, после чего нагнетается в горизонтальный цилиндр. В зоне пересечения цилиндров из мате-

риала удаляются летучие вещества. В этой зоне червяк *5* имеет кольцевую выточку *6*, которая улучшает условия загрузки материала в горизонтальный цилиндр. На хвостовой части горизонтального червяка имеется винтовая нарезка *7*, препятствующая вытеканию расплава в правую часть цилиндра *4*. Для обеспечения одинаковой производительности вертикального и горизонтального червяков последний имеет бóльшую скорость вращения. Горизонтальный цилиндр предназначен для смешения и гомогенизации пластицированного материала, который выдавливается через головку *3*. Применение в экструдерах двух червяков с независимым приводом позволяет

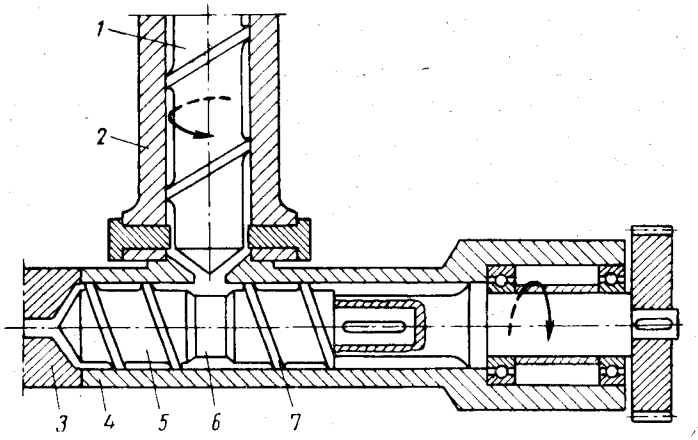


Рис. VI.21. Схема экструдера с двумя пересекающимися цилиндрами:

1, *5* — червяк; *2*, *4* — цилиндры; *3* — головка; *6* — кольцевая выточка; *7* — винтовая нарезка.

повысить производительность и уменьшить размеры экструдера. Кроме того, становится возможным регулировать режим экструзии в зависимости от перерабатываемого материала и обеспечивать высокую степень гомогенизации расплава.

Фирма «Andouart» (Франция) выпускает такие угловые экструдеры с червяками диаметром 60; 90 и 120 *мм*.

Рассмотрим конструкции некоторых специальных типов червячных экструдеров.

Обычно червячные экструдеры всех отмеченных выше конструкций работают в политропическом режиме, при условии интенсивного теплообмена от стенок цилиндра к перерабатываемому материалу и окружающей среде, а также от материала к деталям машины и затем к окружающей среде. В отличие от этих машин, экструдеры, работающие без подвода тепла извне и без теплообмена с окружающими частями машины и воздухом, находятся в адиабатическом режиме. Однако в практических условиях всегда происходит

теплообмен между стенками цилиндра, червяком и перерабатываемым материалом.

При отсутствии подвода тепла к цилиндру нагретый материал отдает часть своего тепла червяку и цилиндру. Иногда для компенсации тепловых потерь на цилиндре устанавливают небольшие нагреватели, однако вследствие высокой теплопроводности металла это не позволяет достигнуть равенства температуры перерабатываемого материала, червяка и цилиндра по всей его длине. Поэтому такой режим работы правильнее называть автотермическим, а не адиабатическим. Нагрев и пластикация материала в автотермическом червячном экструдере осуществляется в результате интенсивного выделения тепла при сдвиге материала.

Автотермический режим экструзии не допускает местного перегрева материала, что возможно на обычных экструдерах при контакте материала с чрезмерно нагретыми участками внутренней поверхности цилиндра. Червячные экструдеры, работающие в автотермическом режиме, отличаются высокой скоростью вращения червяка (до 1000 *об/мин*). В аналогичных условиях могут работать также конические червячные экструдеры со сравнительно небольшими числами оборотов червяка.

Из известных конструкций распространение получили скоростные автотермические экструдеры, выпускаемые фирмой «Alpine» (ФРГ) — см. табл. VI.2. На этих машинах вал червяка соединен с электродвигателем через клиноременную передачу или коробку скоростей. Коллекторный электродвигатель переменного тока (или механический вариатор) позволяет плавно изменять скорость вращения червяка. Для отвода избытка тепла, выделяющегося вследствие интенсивного смешения и деформации сдвига материала, предусмотрена возможность охлаждения одной или двух зон цилиндра водой.

Несмотря на указанные достоинства, автотермические экструдеры имеют ограниченное применение при производстве пленки и сложных в изготовлении профилированных изделий из термопластов. Скоростные автотермические машины с большим диаметром (>65 *мм*) обычно не изготовляются. Это объясняется трудностью регулирования процесса в зависимости от величины внутреннего тепловыделения и сложностью поддержания стабильного режима в течение длительного времени. Автотермические экструдеры применяются главным образом для формования труб, полых и несложных профилированных изделий.

Специальные одночервячные экструдеры с плавильным диском (рис. VI.22) позволяют разделить стадии нагревания и плавления материала от стадий сжатия, гомогенизации и выдавливания. Такие экструдеры применяются в следующих целях: для переработки отходов, получаемых при производстве пленки, вакуумформованных, литьевых и экструдированных изделий; для переработки крошкообразного материала произвольной формы и различных размеров; для сухого окрашивания материала непосредственно в экструдере.

В последнем случае устанавливают два вибрационных питателя, которые дозируют подачу материала и сухого красителя на плавильный диск.

Плавление и нагнетание материала осуществляется на машине раздельно. Гранулированный материал из бункера *5* поступает по лотку *6* вибропитателя на плавильный диск *4* и распределяется тонким слоем. Диск имеет полированную поверхность и вращается с помощью отдельного электродвигателя со скоростью 6 *об/мин*. Под диском расположены радиационные нагреватели *3*. Температура нескольких кольцевых зон диска контролируется посредством термопар до достижения равномерной температуры по всей поверхности диска. Цилиндр экструдера и плавильный диск закрыты теплоизоляционным кожухом *8*.

При повороте плавильного диска на 360° С загруженная доза материала успевает расплавиться, после чего удаляется с поверхности диска эластичным скребком *7* и подается к зоне питания червяка *2*, расположенного под плавильным диском. Червяк вращается со скоростью 60 *об/мин*. На машине установлен однозаходный червяк с постепенно уменьшающейся глубиной нарезки и степенью сжатия 2 : 1, пригодный для переработки большинства термопластичных материалов.

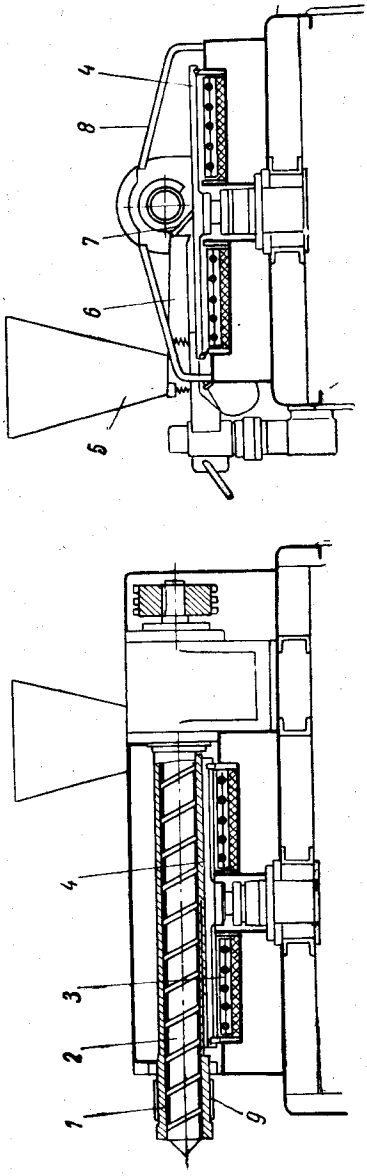


Рис. VI.22. Схема червячного экструдера с плавильным диском:
1 — цилиндр; *2* — червяк; *3* — нагреватели; *4* — плавильный диск; *5* — бункер; *6* — лоток; *7* — скребок; *8* — кожух; *9* — нагреватель цилиндра.

Нагреватель *9* цилиндра *1* включается только во время пуска экструдера. Продолжительность разогрева экструдера составляет ~15 *мин*. Производительность машины определяется размером поверхности плавильного

диска. Засыпаемый на плавильный диск материал успевает за один оборот диска расплавиться настолько, что эластичный скребок легко захватывает расплав и подает к червяку. Материал находится на плавильном диске ~10 *сек*. При непрерывной работе в течение нескольких суток диск не загрязняется, так как надежно очищается скребком. Привод червяка и плавильного диска осуществляется автономными электродвигателями.

При работе машины с плавильным диском диаметром 400 *мм* расход мощности составляет: 1,5 *квт* — на привод червяка; 0,2 *квт* — на привод плавильного диска; 3,5 *квт* — на поддержание температуры плавильного диска при установившемся режиме работы; 0,6 *квт* — на первоначальный разогрев цилиндра; 0,1 *квт* — на привод питателя. Удельный расход энергии на 1 *кг* переработанного материала равен 0,07 *квт·ч*.

Производительность экструдера с плавильным диском при использовании щелевой головки: 24 и 28 *кг/ч* — для полиэтилена высокой и низкой плотности соответственно; 32 *кг/ч* — для ударопрочного полистирола; 28 *кг/ч* — для пластифицированного поливинилхлорида; 25 *кг/ч* — для полиметилметакрилата. Экструдер хорошо работает при питании материалом с различным гранулометрическим составом. Производительность экструдера снижается только при его загрузке измельченными отходами пленки.

Специальный горизонтальный конический экструдер, предназначенный для переработки поливинилхлорида, показан на рис. VI.23. Он состоит из камеры *3*, в которой расположен полый конический червяк *4*, экструзионной головки *1*, бункера *5* и привода червяка (на рисунке не показан). Полый червяк обогревается теплоносителем и охлаждается водой, которые последовательно подаются через патрубок *7* и удаляются через отверстие *9*.

Снаружи конической камеры *3* установлены три электрических нагревателя с автономным контролем и автоматическим регулированием температуры. Фланец камеры прикреплен к монтажной плите *6*. Крутящий момент передается на конический червяк от привода через вал *8*. В центральном канале червяка закреплен дорн *2* кольцевой прямоточной головки. Диаметр выходной части червяка 60 *мм*, угол при вершине конуса 60°, длина 242,5 *мм*, шаг нарезки червяка 50 *мм*, скорость вращения червяка 6,25—62,5 *об/мин*. Конический экструдер может быть использован в качестве смесителя.

При переработке сополимеров термопластических смол и каучука, а также эластомеров необходимы повышенные деформации и напряжения сдвига в материале. Для этой цели применяется планетарный червячный экструдер (рис. VI.24). Цилиндр такого экструдера состоит из трех зон: питания *I*, пластикации *II*, сжатия и выдавливания *III*.

В зоне питания расположена червячная секция *2* с глубоким винтовым каналом. В зоне пластикации установлен центральный червяк и шесть планетарных червяков *3*, которые имеют зацепление

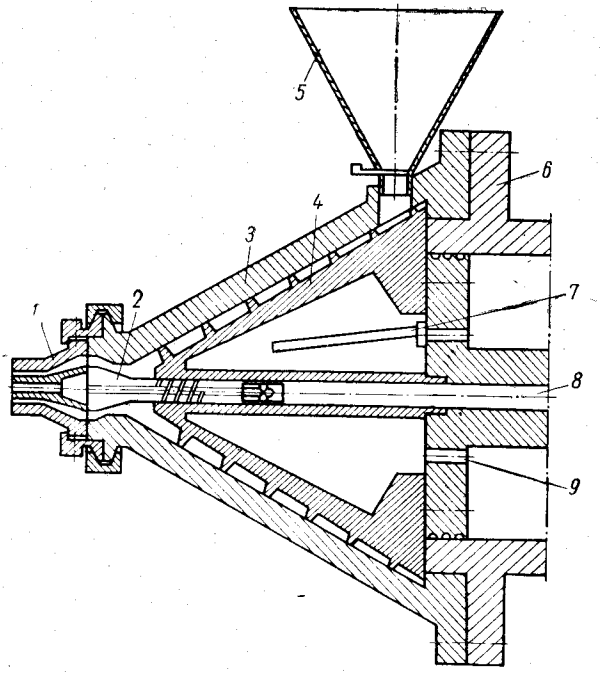


Рис. VI.23. Схема горизонтального конического экструдера:

1 — головка; *2* — дорн; *3* — коническая камера; *4* — конический червяк; *5* — бункер; *6* — монтажная плита; *7* — патрубок; *8* — вал; *9* — отверстие.

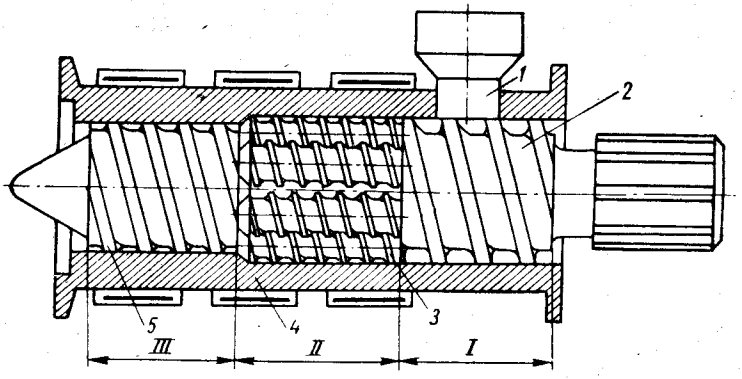


Рис. VI.24. Схема планетарного червячного экструдера:

1 — загрузочная воронка; *2* — червячная секция; *3* — планетарные червяки; *4* — нарезная часть цилиндра; *5* — одночервячная секция; *I* — зона питания; *II* — зона пластикации; *III* — зона сжатия и выдавливания.

с центральным червяком и нарезанной частью цилиндра *4* в зоне *II*. В зоне выдавливания находится одночервячная секция *5*.

Захватываемый из загрузочной воронки *1* материал нагнетается червячной секцией *2* в продольные зазоры между планетарными червяками *3*, где материал распределяется тонкими слоями, интенсивно перемешивается и пластицируется за очень короткое время. Летучие вещества беспрепятственно удаляются из зоны пластикации через зону питания и бункер в атмосферу, поскольку в зоне пластикации между роликами-червяками давление материала очень мало. Планетарные червяки имеют геликоидальную нарезку, что способствует интенсивному перемешиванию материала и его нагреванию (вследствие деформации сдвига и трения). Сжатие материала осуществляется в начале зоны выдавливания *III*.

§ 6. БЕСЧЕРВЯЧНЫЕ И ДИСКОВО-ЧЕРВЯЧНЫЕ ЭКСТРУДЕРЫ

Переработка пластмасс на червячных машинах — широко распространенный, но не единственный способ экструзии.

Необходимость поисков новых способов экструзии объясняется следующими причинами. На большинстве червячных экструдеров основная часть тепла, необходимого для пластикации материала, передается путем теплоотдачи от внутренней поверхности обогреваемого цилиндра. Поскольку полимеры имеют низкую теплопроводность, такой способ передачи тепла требует длительного пребывания (обычно несколько минут) материала в экструдере. Повышение разности температур между цилиндром и холодным полимером улучшает теплообмен, но вызывает опасность термической деструкции полимера. Поэтому желательно нагревать полимеры более равномерно и за короткое время, используя, например, механическую энергию трения.

Червячным машинам свойственны также колебания давления в экструзионной головке, которые тем меньше, чем правильнее выбрана конструкция червяка. Поэтому червячные экструдеры не всегда обеспечивают высокое качество смешения и диспергирования материалов, для которых необходим равномерный и интенсивный сдвиг по всей длине червяка. Кроме того, червячные экструдеры сложны в изготовлении и эксплуатации, сравнительно дороги и требуют больших производственных площадей.

Поршневые экструдеры имеют низкую пластикационную производительность и вследствие этого не находят широкого применения.

Разработанные на принципиально новой основе в последние годы и выпускаемые в различных странах бесчервячные экструдеры можно использовать для изготовления профилей и труб, покрытия кабелей изоляцией, изготовления изделий из пенопластов, в качестве смесителей, а также для предварительной пластикации термопластов на литьевых машинах. Время нахождения материала в экструдере обычно не превышает 9 *сек*, что особенно важно при переработке

термопластов, склонных к термической деструкции. В процессе экструзии из материала эффективно удаляются газы и влага. Например, при соответствующей регулировке экструдера удается получать профили из полистирольных пенопластов без воздушных включений.

В бесчервячном дисковом экструдере используется эффект нормальных сил (эффект Вайссенберга). Эти силы возникают при сдвиге вязкоупругого расплава полимера между вращающимся и неподвижным дисками.

Дисковый экструдер (рис. VI.25) имеет профильный вращающийся диск *3*, расположенный в обогреваемом корпусе *4*. Диск прикреплен к фланцу вала *2*, установленного в подшипниках *9*. На консоли вала помещено зубчатое колесо *1*, связанное с приводом. Для обогрева корпуса установлены электрические нагреватели *5*. Ток подводится к нагревателю диска через кольцевой коллектор. Гранулирующая решетка или экструзионная головка крепится к фланцу *6* корпуса.

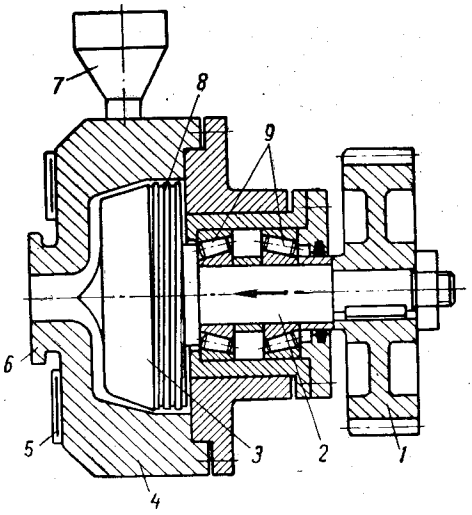


Рис. VI.25. Схема дискового экструдера:
1 — зубчатое колесо; *2* — вал; *3* — вращающийся диск; *4* — корпус; *5* — нагреватели; *6* — фланец; *7* — бункер; *8* — винтовая нарезка; *9* — подшипники.

Рабочая камера дискового экструдера расположена между торцовыми частями корпуса и диска. Для изменения зазора между диском и корпусом (в пределах 0,2—10 *мм*) предусмотрено специальное устройство. На цилиндрической поверхности диска имеется винтовая нарезка *8*, которая выполняет роль лабиринтного уплотнения, препятствующего проникновению материала через зазор. Перерабатываемый материал в виде порошка или гранул загружается в бункер *7*. Загрузочный канал под бункером расположен тангенциально к кольцевому каналу, в котором находится материал.

Для устойчивой работы дискового экструдера необходима равномерная подача материала. Для этой цели дисковые экструдеры оснащают шнековыми, вибрационными, валковыми и другими питателями. Поступающий из загрузочного канала материал размягчается благодаря контакту с нагретыми стенками диска и корпуса и смешению с находящимся в кольцевом зазоре пластицированным материалом. В постепенно сужающемся зазоре материал полностью пластицируется под действием тепла, образующегося вследствие внутреннего трения, и гомогенизируется. Обычно этого количества

тепла достаточно не только для пластикации материала, но также для нагрева диска и корпуса и компенсации тепловых потерь.

Производительность и устойчивая работа экструдера определяются стабильной подачей и установившимся характером движения материала в смешанной зоне питания и пластикации. Экструдер работает устойчиво только при движении расплавленного материала по спиральной траектории. Условия возникновения и устойчивости такого движения расплава еще полностью не выяснены. Сейчас их подбирают для каждого материала опытным путем, при этом добиваются необходимого распределения температур в зоне питания и пластикации, изменяя зазор между корпусом и диском, а также скорость вращения диска. Любая элементарная частица материала, попадающая в зазор, под действием радиального давления перемещается к центру корпуса, пересекая цилиндрические сечения с постоянным радиусом. Во всех точках таких сечений скорости сдвига равны (вследствие симметрии и однородности поля скоростей сдвига). Так как механическая энергия превращается в тепловую, то постепенно при прохождении расплава через зазор вязкость материала выравнивается по всему объему. Таким образом, в дисковом экструдере генерация тепла, необходимого для нагрева и плавления материала, связана с процессом внутреннего трения. Вследствие этого необходимая продолжительность пластикации и гомогенизации материала резко сокращается, что особенно важно для нетермостабильных материалов.

Известно, что работа трения пропорциональна вязкости пластицированного материала. Поэтому изменения вязкости и температуры расплава на дисковом экструдере контролируют по изменению мощности, расходуемой на привод экструдера, изменяя рабочий зазор и скорость вращения диска.

Дисковые экструдеры отличаются диспергирующей и гомогенизирующей способностью, что объясняется созданием в рабочем зазоре однородного поля скоростей сдвига. Такие экструдеры просты по конструкции, малогабаритны, стоимость их ниже стоимости червячных машин.

Технические характеристики отечественных установок для производства гранул, шлангов и пленок, выпускаемых на базе дисковых экструдеров, приведены в табл. VI.4.

К недостаткам дисковых экструдеров следует отнести необходимость строго дозированной и равномерной подачи (питания) материала и очень низкое давление расплава на выходе, которое на 1—2 порядка ниже, чем на современных червячных экструдерах. Последнее обстоятельство и недостаточная производительность затрудняют промышленное применение дисковых экструдеров при производстве пленок, листов, труб и других профильных изделий.

Дисковые экструдеры пригодны в первую очередь для смешения, окрашивания, дегазации и обезвоживания материалов. Сравнительно широко они используются для лабораторных исследовательских работ.

Таблица VI.4

Технические характеристики отечественных агрегатов на базе дисковых экструдеров

Параметры	Тип экструдера				
	ЭД2,2 (гранулы)	ЭД2,2 (шланги)	ЭД5,5 (гранулы)	ЭД5,5 (пленка из ПВХ)	ЭД22 (гранулы полистирола)
Максимальная производительность, *кг/ч*	11	10	25	10	100
Диаметр прутка или шланга, *мм*	4—6	3—10	3—5	—	—
Диаметр рабочих дисков, *мм*	208; 250; 300	210; 250; 308	250	—	220—390
Величина зазора между диском и корпусом, *мм*	0—10	0—10	0—10	0—10	0—15
Мощность электродвигателя привода, *квт*:					
экструдера	2,2	2,2	4,5	4,5	22
мешалки	0,18	0,18	0,18	0,33	0,7
фрезы	0,7	—	0,7	—	1,1
вентилятора	0,6	—	0,6	—	—
Мощность нагревателей, *квт*	0,5	0,8	0,8	0,8	2,7
Размеры установки, *м*	4,3 × × 0,8 × 2,1	3,3 × × 1,1 × 2,1	4,3 × × 0,9 × 2,3	4,7 × × 1,9 × 2,2	3,7 × × 0,9 × 2,6
Вес установки, *кн*	8,3	6	9,5	14	—

Примечания: 1. В скобках указан тип экструдируемого изделия. 2. Ширина сдвоенной пленки 340 *мм*; толщина 0,05—0,15 *мм*.

На дисковом экструдере можно перерабатывать различные термопласты в гранулированном и порошкообразном виде, отходы пленки, влажные материалы без предварительного удаления влаги, а при увеличенном зазоре между дисками — пенополистирол с низкой плотностью.

В СССР и за рубежом предпринимаются многочисленные попытки усовершенствования дисковых экструдеров и создания оригинальных дисково-червячных экструдеров.

Конструкция горизонтального и вертикального дисково-червячного экструдера с независимым регулируемым приводом диска и червяка впервые предложена в СССР*. В экструдере (рис. VI.26) сохранены достоинства дисковых и червячных машин — высокая пластикационная и гомогенизирующая способность, малое время пребывания, высокое давление расплава на выходе. Материал загружают в бункер *10*, из которого он транспортируется дозировочным шнеком или под действием силы тяжести в загрузочную камеру и далее в зазор между вращающимся *9* и неподвижным *8* дисками.

Термопластичный материал интенсивно перемешивается, плавится и гомогенизируется в зазоре *7* между дисками и подается на начальные витки червяка *3*, который нагнетает однородный пластицированный материал через экструзионную головку, устанавливаемую

* Б. А. Оленев, В. К. Завгородний, Дисково-шнековый экструдер, Авт. свид. № 159628, Бюллетень «Изобретения, промышленные образцы и товарные знаки», № 1, 1964.

на фланце *5*. При этом червяк предназначен только для сжатия и нагнетания пластицированного материала под необходимым давлением, которое можно регулировать путем установки клапана в головке. Цилиндр *4* оснащен нагревателями *6* и системой охлаждения.

Вращение диска и червяка осуществляется от индивидуальных электродвигателей через механические вариаторы или коробки скоростей и редукторы, а также клиновые шкивы *1* и *2*. Для разогрева неподвижного диска в пусковой период снаружи установлен электрический нагреватель.

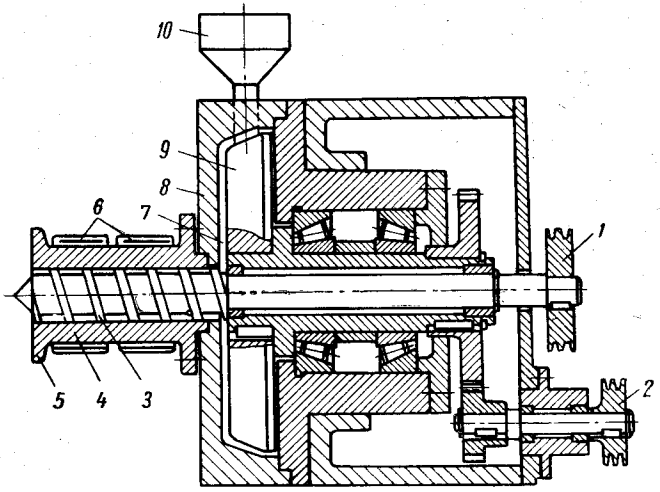


Рис. VI.26. Конструкция дисково-червячного экструдера с независимым приводом диска и червяка:

1, *2* — клиновые шкивы; *3* — червяк; *4* — цилиндр; *5* — фланец; *6* — нагреватель; *7* — зазор; *8* — неподвижный диск; *9* — вращающийся диск; *10* — бункер.

Применение вертикального дисково-червячного экструдера целесообразно при нанесении покрытий методом экструзии или изготовлении полых изделий экструзионно-выдувным способом. В случае изготовления пленки методом раздува выходная часть цилиндра может быть повернута вертикально вверх. Дисково-червячный экструдер можно установить на осциллирующую (попеременно вращающуюся в противоположных направлениях) площадку, что позволит еще больше повысить качество получаемой пленки.

Дисково-червячный экструдер позволяет перерабатывать все термопласты (в том числе, склонные к термической деструкции); с его помощью можно обеспечивать равномерное диспергирование пигментов и других добавок в материале, изготовлять профилированные изделия из пенопластов, производить в процессе переработки обезвоживание и дегазацию материала.

В последние годы разработана конструкция гидродинамического бесчервячного экструдера, в котором использованы принцип действия гидродинамического насоса и эффект Вайссенберга. В отличие от лопастных масляных насосов, в которых давление масла создается за счет установки лопаток под небольшим углом, обеспечивающим уменьшение сечения канала, в экструдере дно пазов расположено параллельно торцу ротора. Рабочий зазор между торцом ротора и пластиной составляет ~0,5 *мм* и может изменяться в процессе работы. Водяное охлаждение бункера и зоны питания препятствует слипанию материала до соприкосновения с ротором. Восемь секторных пластин проталкивают материал через радиальные питающие полости. Потоки из восьми каналов соединяются в центре и проходят через мундштук головки. Продвижение вязкоупругого материала от периферии к центру рабочего зазора происходит под действием нормальных сил, возникающих в связи с эффектом Вайссенберга. Выдавливание расплавленного полимера осуществляется только за счет гидродинамических сил.

Гидродинамический экструдер хорошо перерабатывает полистирол, полипропилен, полиамиды, полиэтилен с пенообразователем. Потребляемая мощность экструдера с диаметром ротора 150 *мм* при переработке полиэтилена низкого давления составляет 3 *квт*, производительность равна 10 *кг/ч*.

Такой экструдер прост по конструкции и обеспечивает надежный нагрев и плавление перерабатываемого материала. Поскольку полимер находится в машине незначительное время, практически исключается опасность термической деструкции материала. Экструдер может обеспечить создание стабильного и высокого давления расплава до 18 $Мн/м^2$, величина которого зависит от вязкости материала, относительной скорости и других факторов.

§ 7. ЭКСТРУДЕРЫ-ГРАНУЛЯТОРЫ

Одно- и двухчервячные, а также дисковые экструдеры могут быть использованы не только для получения готовых изделий, но и для гранулирования термопластов в целях дальнейшей их переработки.

Измельчение кусков или блоков термопластов в дробилках не позволяет получить частицы материала, однородные по форме и размеру. Это усложняет проведение технологического процесса и, в конечном счете, ухудшает качество изделий.

Гранулирование иногда совмещается с пластикацией, стабилизацией и окрашиванием термопластов. Как правило, гранулы имеют цилиндрическую или чечевицеобразную форму, реже — кубическую форму (квадратного сечения). Использование гранулированного материала повышает стабильность работы и производительность экструдеров, экструзионно-выдувных и литьевых машин, улучшает качество формуемых изделий.

Гранулирование на червячных экструдерах производится с помощью решетки (или головки), из которой материал выходит в виде

прутков. Прутки затем разрезаются ножом непосредственно на гранулирующей решетке или после охлаждения в водяной ванне. Разрезание гранул непосредственно на решетке дает возможность уменьшить размеры гранулятора и увеличить его производительность.

Установка для гранулирования термопластов методом разрезания прутков на гранулирующей решетке показана на рис. VI.27. Установка состоит из двухчервячного или одночервячного экструдера *1*, бункер которого оснащен мешалкой с электродвигателем *2*, и устройства для разрезания прутков и охлаждения гранул. Выдавливаемый через гранулирующую головку *3* материал режется ножом, вращаемым электродвигателем *5*, непосредственно на плоскости головки. Гранулы не слипаются благодаря тому, что они обдуваются

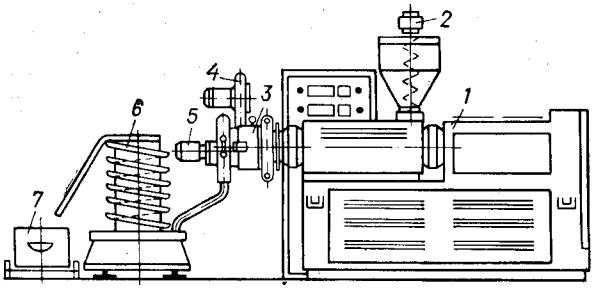


Рис. VI.27. Установка для гранулирования термопластов:

1 — экструдер; *2* — электродвигатель; *3* — гранулирующая головка; *4* — вентилятор; *5* — электродвигатель; *6* — вибротранспортер; *7* — тележка.

сжатым воздухом, нагнетаемым вентилятором *4*. Затем гранулы поступают в нижнюю часть вибротранспортера *6*. Поднимаясь по вибротранспортеру, они охлаждаются, после чего загружаются в тележку *7* для дальнейшей транспортировки.

Одна из возможных конструкций гранулирующей решетки показана на рис. VI.28. Отверстия *1* служат для выдавливания прутков. Двухплечий нож *6* предназначен для разрезания материала на гранулы. Нож вращается вокруг оси *3* автономным электродвигателем. Для улучшения условий разрезания прутков на гранулы плоскость лезвий *2* ножа установлена под углом 15° к плоскости решетки. В цилиндре гранулятора перед решеткой установлен пакет фильтров *4*.

Применяются также грануляторы, в которых разрезаемые на гранулы прутки термопласта после экструдера предварительно охлаждаются в водяной ванне. После этого прутки высушиваются и дополнительно охлаждаются воздухом, нагнетаемым вентилятором, и измельчаются на гранулы специальной фрезой.

Двухчервячный гранулятор типа ZSK-83/1100 с диаметром червяка 83 *мм* и длиной 1100 *мм* представлен на рис. VI.29. Оба чер-

вяка расположены в вертикальной плоскости и вращаются в одном направлении со скоростью 12—120 или 15—150 *об/мин*. Крутящий момент от коллекторного электродвигателя *1* с регулируемым числом оборотов через сменные шестерни *8*, а также шестерни *2—4* цилиндрического редуктора передается на спаренную шестерню *6*, установленную в корпусе гранулятора на подшипниках *5*. В полой части спаренной шестерни нарезаны зубья с внутренним зацеплением. Через зубья этой шестерни крутящий момент передается на шестерни *7* червячных валов.

Червяки состоят из винтовых секций *9*, *12* и кулачковых секций *10*. В зоне декомпрессии установлен патрубок *11* для соединения с вакуумной линией (удаляются летучие вещества, выделяющиеся при переработке полимерного материала).

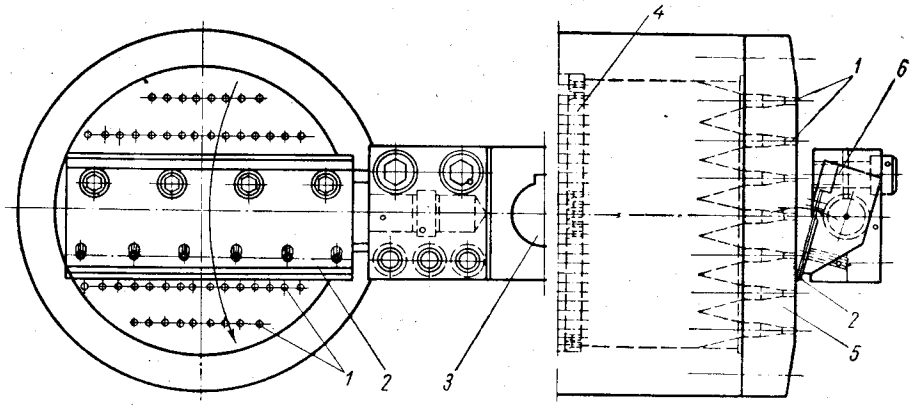


Рис. VI.28. Конструкция решетки для гранулирования термопластов:

1 — отверстия; *2* — лезвие ножа; *3* — ось; *4* — пакет фильтров; *5* — гранулирующая решетка; *6* — нож.

На рис. VI.30, *а* показаны конструкции червяков, состоящих из винтовых секций *5* и *1* с правой и левой нарезкой и треугольных месительных дисков *2* и *3*, установленных на промежуточных шайбах *4*. Эти диски расположены так, что образуют на червяке ступени. При этом диски *3* образуют правую, а диски *2* — левую нарезку.

За время одного оборота пары месительных дисков материал трижды передавливается из одной сегментной камеры в другую (рис. VI.30, *б*). При этом часть материала нагнетается в осевом направлении в следующую пару месительных дисков. Интенсивность смешения возрастает с уменьшением количества материала, нагнетаемого вдоль оси червяка в следующие секции. Для этой цели установлена червячная и кулачковая секции с обратным направлением винтовой нарезки.

Производительность такого двухчервячного экструдера-гранулятора составляет 150 *кг/ч* для полиамидов и поликарбоната, 100—200 *кг/ч* для непластифицированного поливинилхлорида, 200 *кг/ч* для

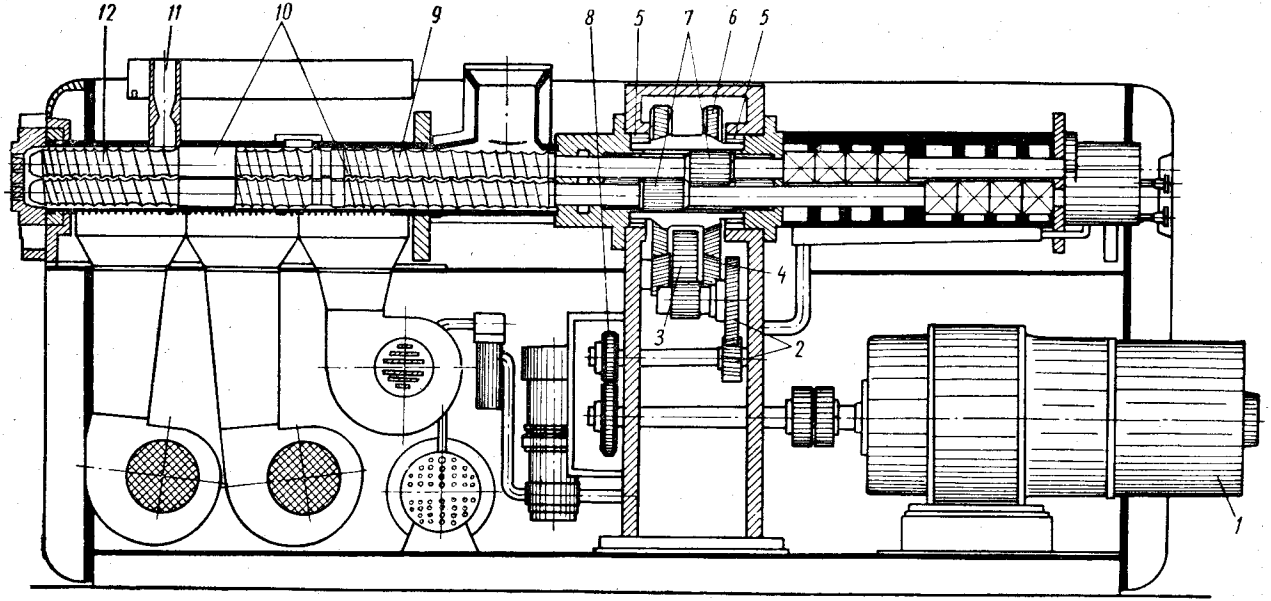


Рис. VI.29. Схема двухчервячного гранулятора:

1 — электродвигатель; *2—4*, *7* — шестерни; *5* — подшипники; *6* — спаренная шестерня; *8* — сменные шестерни; *9*, *12* — винтовые секции; *10* — кулачковые секции; *11* — патрубок.

порошкообразного полипропилена, 200—250 *кг/ч* для полиэтилена низкого давления, 250 *кг/ч* для пластифицированного поливинилхлорида, ацетатцеллюлозы, ацетобутиратцеллюлозы и ударопрочного полистирола, 300 *кг/ч* для полиэтилена высокого давления и полистирола.

Существуют конструкции грануляторов, у которых измельчающий механизм установлен непосредственно в водяной камере. Регулируя температуру воды в камере, можно получить гранулы бочкообразной, эллиптической или шаровой формы.

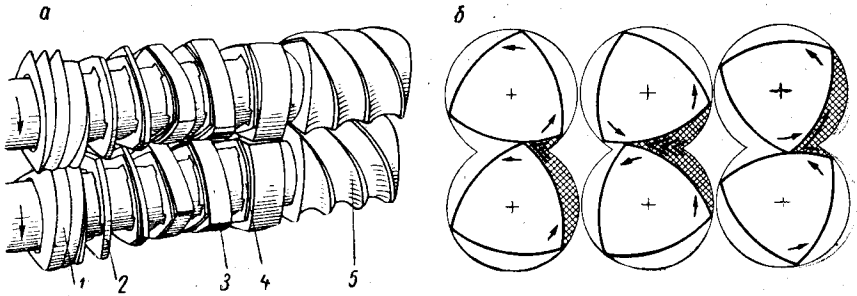


Рис. VI.30. Конструкции червяков кулачково-винтового гранулятора:
а — общий вид червяков; *б* — схема работы червяков;
1, *5* — винтовые секции; *2*, *3* — месительные диски; *4* — промежуточная шайба.

Если прежде гранулирование в воде применялось исключительно для относительно высоковязких материалов (полиэтилен высокого и низкого давления), то в последнее время этим способом гранулируют полимеры с низкой вязкостью (полипропилен, полиамид или полиэтилентерефталат). Гранулирование в воде является перспективным методом, так как обеспечивает повышение производительности оборудования и качества гранул. В настоящее время для гранулирующих установок такого типа изготовляются червячные экструдеры с производительностью до 6000 *кг/ч*.

§ 8. ЭКСТРУЗИОННЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЛЕНОК И ЛИСТОВ

Принято условно отличать пленки (толщиной до 0,5 *мм*) от листов (толщиной свыше 0,5 *мм*). Эти изделия получают методом экструзии в однотипных плоскощелевых экструзионных головках. Однако в настоящее время пленки изготовляют в основном способом выдавливания через кольцевую головку с последующим раздувом образующегося рукава сжатым воздухом *. Рукавная пленка в сложенном виде удобна для производства мешков. При срезании боковых кромок получают одновременно два полотнища, а при продольном разрезании по одной линии — одно широкое полотно.

* Кроме экструзии пленки могут быть изготовлены методами полива, намазки, каширования, каландрования, механического резания.

Для экструзии пленки обычно применяют червяки с отношением $L/D = 20 \div 25$.

При изготовлении рукавной пленки на экструзионной установке можно направить ее вверх, вниз или по горизонтали. Первый метод предпочтительнее второго, поскольку не требует установки экструдера и приемно-намоточных устройств на разных этажах здания или подъема экструдеров на специальные площадки и не вызывает произвольной вытяжки материала, выдавливаемого непосредственно из головки. Второй способ менее распространен и используется главным образом при экструзии достаточно вязких материалов. Экструзия рукавной пленки в горизонтальном направлении наиболее предпочтительна, так как позволяет значительно сократить высоту

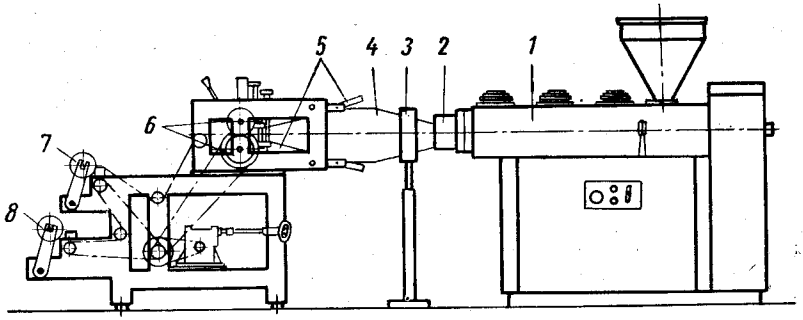


Рис. VI.31. Экструзионная установка для производства рукавной пленки методом горизонтальной раздувки:
1 — экструдер; *2* — головка; *3* — обдувочное кольцо; *4* — рукав; *5* — плиты; *6* — тянущие валки; *7*, *8* — бобины.

установки и создает оптимальные условия для контроля и регулирования процесса, а также для наблюдения за экструдируемой и раздуваемой пленкой. Однако в связи с опасностью произвольной деформации пленки от провисания под действием собственного веса, этот метод применяют для небольших (преимущественно лабораторных) установок, а также при экструзии пленки из пенополистирола, жесткого поливинилхлорида и в некоторых других случаях.

Установка для экструзии рукавной пленки в горизонтальном направлении (рис. VI.31) состоит из экструдера *1* с осевой кольцевой головкой *2*, охлаждающего обдувочного кольца *3*, наклонных плит *5* для складывания рукава *4*, тянущих валков *6*, а также бобин *7* и *8* для наматывания пленки.

Экструзионная установка для производства пленки с раздувом рукава, направленного вверх, показана на рис. VI.32. Она состоит из червячного экструдера *1*, угловой кольцевой головки *2*, обдувочного охлаждающего кольца *3* с вентилятором *8*, наклонных плит *5*, тянущих валков *6*, а также приемно-намоточного устройства *7* с прибором для измерения толщины пленки.

Выдавливаемый через кольцевую щель головки рукав *4* раздувается до необходимого диаметра и охлаждается воздухом, нагнетаемым вентилятором *8* через обдувочное кольцо *3*. В верхней части

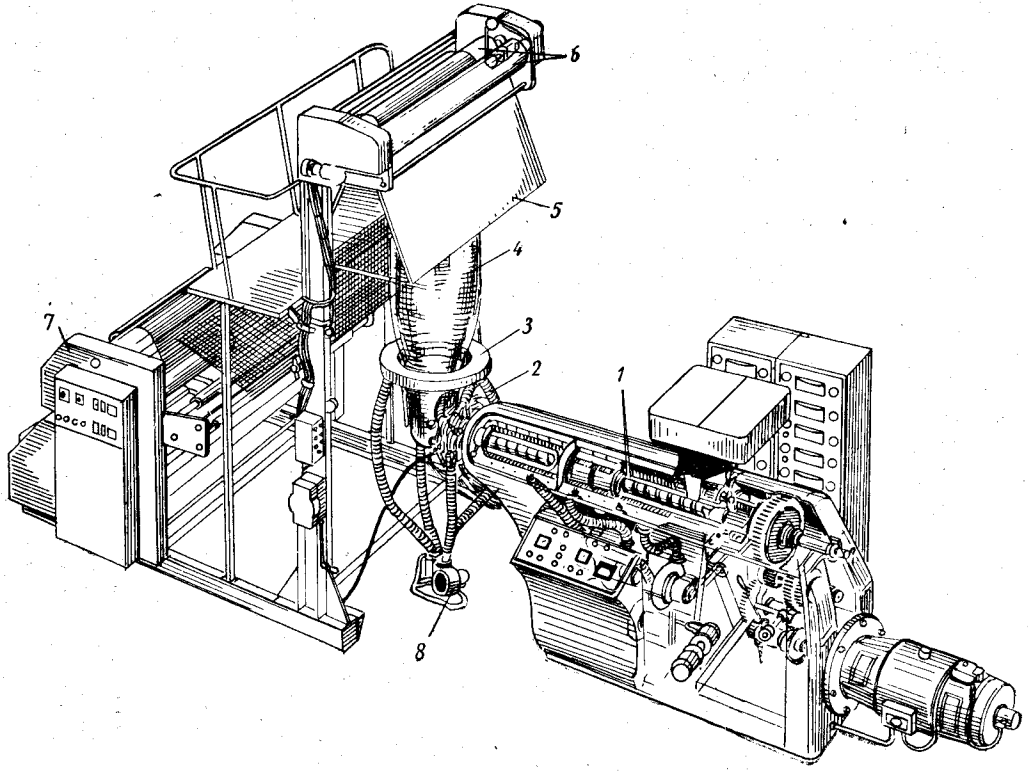


Рис. VI.32. Общий вид экструзионной установки для производства рукавной пленки методом вертикальной раздувки:

1 — экструдер; *2* — головка; *3* — обдувочное кольцо; *4* — рукав; *5* — наклонные плиты; *6* — тянущие валки; *7* — приемно-намоточное устройство; *8* — вентилятор.

рукав прижимается наклонными плитами *5*, складывается и плотно зажимается тянущими валками *6*. Пленка в виде двойной плоской ленты наматывается на барабан приемно-намоточного устройства (возможны варианты, когда каждое полотно после продольной резки рукава наматывается на отдельный барабан). После раздувки рукава до необходимого диаметра подачу воздуха (через канал в дорне головки) прекращают и окончательную регулировку толщины пленки производят изменением степени продольной вытяжки. Так как в замкнутом объеме рукава сохраняется постоянное количество воздуха, обеспечиваются стабильные размеры раздуваемого рукава (диаметр и толщина стенки).

Один из тянущих валков установки гуммирован и равномерно по всей длине прижимается к стальному валку под действием пневматических или гидравлических цилиндров. Усилие прижима валков регулируется (оно должно быть минимальным, чтобы не образовывались рваные и непрочные кромки).

При изготовлении полиэтиленовой пленки степень продольной вытяжки, как правило, равна 5—6, а степень поперечной вытяжки сжатым воздухом составляет 1,5—2,5. Степень продольной вытяжки зависит от скорости вращения тянущих валков. В зависимости от толщины и ширины пленки, а также свойств перерабатываемого материала скорость вытяжки на современных экструзионных установках находится в пределах 10—60 *м/мин*.

Большое значение для получения равнотолщинной пленки имеет подача расплава без пульсации. Для этой цели червяки имеют длинную зону выдавливания с мелким винтовым каналом и в некоторых случаях охлаждаются водой.

Перед экструзионной головкой устанавливают решетки с набором фильтрующих сеток, которые при превышении оптимального давления расплава нетрудно сменить без остановки экструдера. Давление расплава можно регулировать с помощью дросселирующего клапана, устанавливаемого между фильтрующими решетками и головкой. Контролируемое манометрами давление расплава по мере засорения фильтрующих устройств может поддерживаться постоянным с помощью того же клапана.

При наматывании пленки на барабан диаметр рулона постепенно увеличивается. Вследствие этого возрастает линейная скорость отвода пленки. Важно обеспечить синхронизацию скорости намотки пленки и скорости отвода рукава, для чего используются специальные устройства. Одно из таких устройств состоит из барабана, который может вращаться на шариковых подшипниках вокруг оси. На обоих концах оси установлены шестерни, которые опираются на наклонные зубчатые рейки так, что намоточный барабан постоянно прижимается к приводному валку. Приводной валок соединен цепной передачей с зажимными валками. Намоточный барабан вращается за счет фрикционного сцепления (через наматываемую пленку) с приводным валком. Для этой же цели применяют электродвигатели с повышенным скольжением.

Для регулирования толщины изготовляемой пленки используются изотопные и другие толщиномеры. По показаниям толщиномера через систему исполнительной аппаратуры можно регулировать давление и количество подаваемого для раздувания воздуха или скорость вытяжки пленки.

Технические характеристики отечественных установок для производства рукавной пленки приведены в табл. VI.5. Там же указаны характеристики установки АПП-20-200 для производства плоской пленки.

Получение равнотолщинной пленки методом раздувания и намотка ее без складок на бобину на обычных экструзионных установках затруднительны. Фирма «Oerlikon» (Швейцария) выпускает установки (рис. VI.33) для получения пленки на базе вертикальных вращающихся экструдеров (ротатрудеров). На таких установках изготовляют равнотолщинную пленку (10 ÷ ÷ 300) ± 5 *мкм* и равномерно (без складок) наматывают ее. В ротатрудере прямой симметричный поток расплава от вертикального червяка к расположенной по оси червяка прямоточной головке *3* обеспечивает равномерное распределение скорости истечения расплава из кольцевого зазора и постоянную толщину пленки.

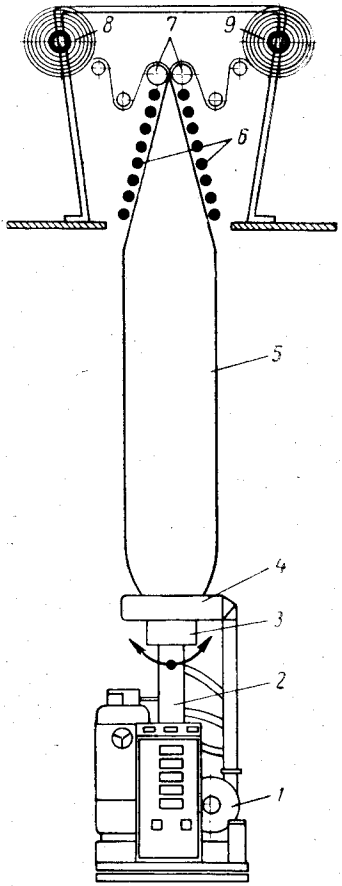


Рис. VI.33. Схема установки на базе ротатрудера для производства рукавной пленки:

1 — вентилятор; *2* — экструдер; *3* — головка; *4* — охлаждающее кольцо; *5* — рукав; *6* — ролики; *7* — тянущие валки; *8*, *9* — бобины.

Экструдер *2* поворачивается вокруг вертикальной оси червяка на определенный угол (до 300—360°) в обоих направлениях, вследствие чего пленка равномерно и плотно наматывается на бобины *8* и *9*, несмотря на наличие неизбежных незначительных утолщений или утонений пленки, которые равномерно распределяются по всей ширине рулона. Экструдируемая пленка обдувается охлажденным в теплообменнике воздухом, нагнетаемым вентилятором *1* через охлаждающее кольцо *4*. Рукав *5* пленки складывается роликами *6* и плотно сжимается тянущими валками *7*.

Перед намоткой производится высокочастотная обработка пленки для снятия статических электрических зарядов с ее поверхности. Ротатрудер оснащен генератором высокого напряжения (15 *кв*),

Таблица VI.5

Технические характеристики отечественных установок для производства пленки

Параметры	Тип установки					
	АРП-20-150	АРП-32-200	АРП-45-700	АРП-63-1000	УРП-1500	АПП-20-200 *
Диаметр червяка, *мм*	20	32	45	63	90	20
Отношение длины червяка к диаметру (L/D)	25	25	25	20	20	25
Скорость вращения червяка, *об/мин*	12,5—125 18—180 26—260	11—106 14—140 21—212	9—90 12—118 18—180	7,5—75 10—100 15—150	11—72 — —	12,5—125 18—180 26—260
Максимальная производительность, *кг/ч*	6	18	38	60	120	6,5
Скорость приема пленки, *м/мин*	1,5—15	2—20	2—20	2—20	⩽18	3—30
Толщина пленки, *мкм*	20—250	15—200	20—100	25—260	40—120	30—100 ** или 150—300 3*
Разнотолщинность, %: на пленке 20—40 *мкм* » » 50—250 »	±15 ±10	±15 ±10	±15 ±10	±15 ±10	— —	— —
Ширина сложенной пленки, *см*	⩽15	5—35	20—70	50—100	75—150	⩽30
Установленная мощность агрегата, *квт*	6	18,3	31,5	61,4	40,3 4*	10
Расход воды, *м³/ч*	0,05	0,5	0,5	0,5	—	0,45
Расход сжатого воздуха, *м³/ч*	0,15	3	3	4	—	0,15
Габаритные размеры установки, *м*	2×2,8×2,9	2,4×2,3×2,8	4,8×3×3,8	5,5×3,5×5,2	10×4×5,1	3,9×2,7×
Вес установки, *кн*	14	23	44	71	68	17

* Лабораторная установка, предназначенная для производства плоской пленки.
** Из полиэтилена низкой плотности.
3* Из пластифицированного поливинилхлорида.
4* Указана только суммарная мощность обогрева и привода червяка.

устройствами для одновременного снятия статических зарядов с обеих сторон пленки и устройством для разрезания пленки на продольные полосы. Каждый экструдер укомплектован тремя экструзионными головками различных размеров.

Для равномерной намотки пленки в рулоны применяются также экструзионные установки, у которых осциллирующие вращательные движения совершает не экструдер или экструзионная головка, а приемно-намоточное устройство. В этом случае может быть использован как стационарный вертикальный экструдер с осевой головкой, так и горизонтальный экструдер с угловой головкой.

На производительность экструзионной установки и качество выпускаемой пленки большое влияние оказывает интенсивность и правильный режим охлаждения экструдируемого рукава пленки. Пленка затвердевает вскоре после выхода из головки, однако для предотвращения слипания при складывании она должна еще некоторое время охлаждаться. Первое охлаждающее кольцо обычно устанавливается непосредственно на головке или вблизи нее. В качестве хладагента используется воздух, так как вода непригодна из-за очень интенсивного охлаждения. Для отвода тепла от затвердевшей пленки целесообразнее всего использовать охлаждаемые с помощью воздуха наклонные плиты, которые прижимают и складывают рукавную пленку в двойную плоскую ленту для намотки. Расчет охлаждения полиэтиленовой рукавной пленки, а также влияние охлаждения и скорости вытяжки на качество пленки изложены в ряде работ *.

Важной проблемой является предотвращение и устранение продольных и поперечных складок пленки. При правильной настройке всей установки причинами образования складок могут быть неправильная форма зоны перехода от цилиндрического рукава к плоскому или значительное сопротивление вследствие трения пленки о направляющие поверхности. Например, при производстве пленок из жестких материалов с высоким модулем упругости и небольшим сопротивлением трения угол наклона направляющих плит может быть минимальным. Для пленок из мягких материалов угол наклона должен быть максимальным, а длина плит — минимальной.

В настоящее время применяются различные системы охлаждения рукавной пленки: с одним или двумя воздушными охлаждающими кольцами, с воздушным кольцом и водяной рубашкой, с воздушным кольцом и охлаждаемыми воздухом или водой наклонными плитами, с устройством для охлаждения рукава изнутри.

Комбинированное устройство для охлаждения пленки, состоящее из обдувочного кольца *2* и рубашки *4*, разделенной на восемь поясов охлаждения, показана на рис. VI.34, *а*. Рубашка оснащена четырьмя вентиляторами *5*. В некоторых случаях на наклонных плитах *7* также устанавливают вентиляторы, которые образуют воздушную

---

* См., например, П. В. Козлов, Г. И. Брагинский, Химия и технология полимерных пленок, Изд. «Искусство, 1965; А. Гриффф, Технология экструзии пластмасс, Изд. «Мир», 1965.

подушку между складываемым рукавом *6* пленки и наклонными плитами *7*. В нижней части приемно-намоточного устройства *3* установлен холодильник *1* для охлаждения воздуха, которым обдувается пленка.

Конструкция воздушного кольца должна обеспечивать осевой или радиальный подвод воздуха, минимальные потери давления воздуха, возможность регулирования зазора для выхода нагнетаемого воздуха, минимальное расстояние между пленкой и кольцом, направление потока воздуха под углом 45—60° к рукаву пленки. Скорость воздуха, нагнетаемого вентиляторами, обычно составляет 8—11 *м/сек*. Для интенсификации охлаждения пленки на первой стадии охлаждения применяют предварительно охлажденный воздух.

Показанное на рис. VI.34, *б* охлаждающее устройство состоит из воздушного обдувочного кольца *10* и спирального теплообменника *8*, охлаждаемого водой. Для устранения осевых колебаний пленки, возникающих при ее прохождении через теплообменник, установлены вращающиеся деревянные ролики *9*. Спиральный теплообменник используется не только для охлаждения, но и для калибрования рукавной пленки и позволяет увеличить скорость вытяжки с 10 (при применении охлаждения только воздухом) до 22 *м/мин*.

Натяжение пленок в процессе производства оказывает существенное влияние на их качество. Для стабилизации натяжения пленки применяют различные системы синхронизации двигателей тянущих валков.

Профилирование рукавной пленки осуществляется в угловой или осевой головке с кольцевой щелью. Угловые головки обеспечивают тангенциальный или центральный вход материала, нагнетаемого червяком экструдера.

В случае тангенциального входа (рис. VI.35, *а*) пластицированный материал из экструдера *1* нагнетается через решетки *2* и расположенные между ними фильтрующие сетки и рассекается промежуточным дорном *3*. Затем поток материала огибает фигурный дорн *6* головки. Чередующиеся расширения и сужения кольцевого канала по пути движения материала способствуют выравниванию давления материала и скорости его течения. Рукавная пленка выдавливается через кольцевую щель *9*, образованную верхней частью дорна *6* и фильерой *10*. Для замера температуры головки установлены термопары *8*. Воздух для раздувания рукава пленки нагнетается через штуцер *4* по трубке *5*, установленной в канале дорна. Регулирование кольцевого зазора осуществляется с помощью расположенных по окружности головки болтов *11*. Для обогрева головки установлены ленточные электрические нагреватели *7*.

При использовании угловой головки с центральным входом (рис. VI.35, *б*) расплав, выдавливаемый вниз, нагнетается из экструдера по каналам *12* и *13*, равномерно распределяется по кольцу рассекателем *14* и проходит через каналы, расположенные в решетке *2*. Воздух для раздувания пленки подается через штуцер *4*. При центральном входе материала в головку облегчается

выравнивание скорости выдавливания расплава через кольцевую щель.

Когда требуется рукавная пленка небольшой ширины (например, при производстве полиэтиленовых мешков), применяются спаренные профилирующие головки, устанавливаемые на одном экструдере.

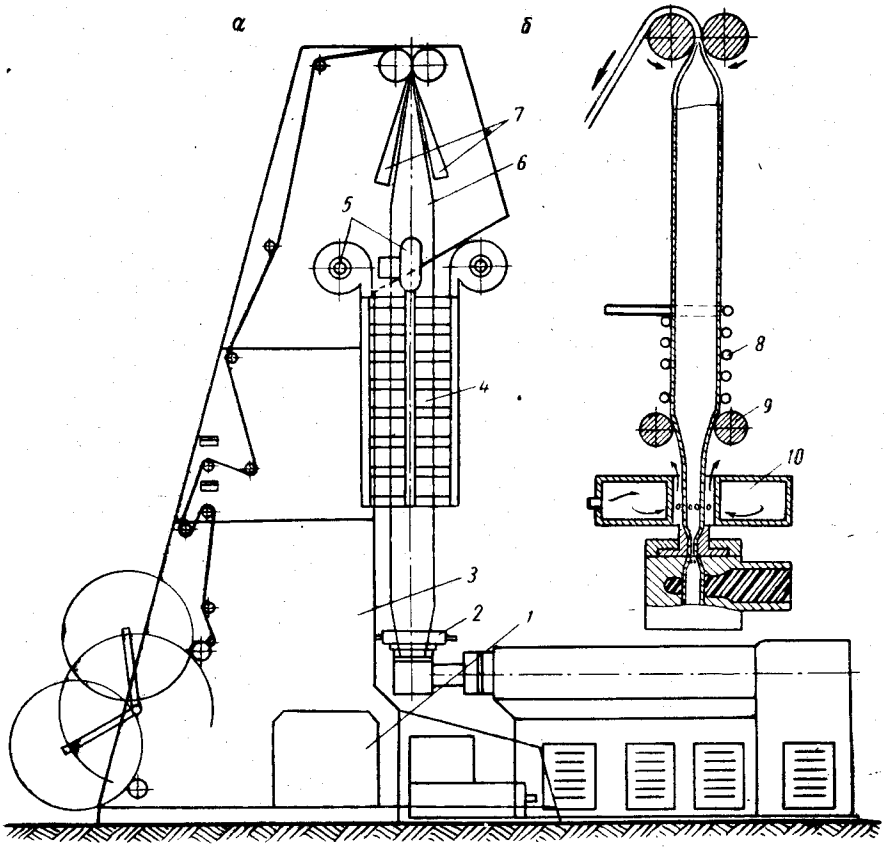


Рис. VI.34. Устройства для охлаждения экструдируемой рукавной пленки воздухом (*а*), воздухом и водой (*б*):

1 — холодильник; *2*, *10* — обдувочные кольца; *3* — приемно-намоточное устройство; *4* — рубашка; *5* — вентиляторы; *6* — рукав; *7* — наклонные плиты; *8* — спиральный теплообменник; *9* — ролики.

Головки укрепляются на общей тележке или подставке и оснащаются индивидуальными охлаждающими устройствами, соединенными с одним или двумя вентиляторами. На экструдерах с диаметром червяка 30; 45 и 60 *мм* можно получать (при спаренных головках) рукавную пленку с диаметром рукава соответственно 150; 250 и 500 *мм*.

На основе экструзионных установок для производства пленок создаются технологические линии, с помощью которых можно

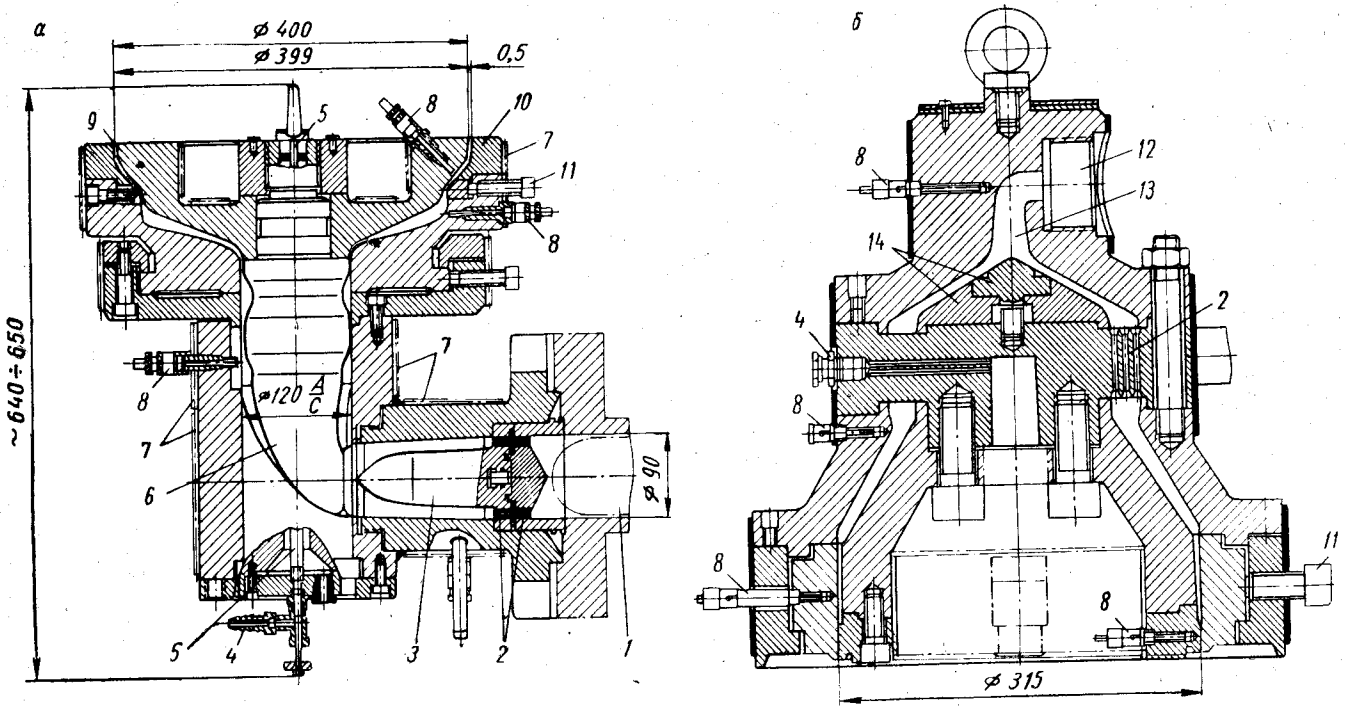


Рис. VI.35. Экструзионные головки для производства рукавной пленки:

а — с тангенциальным входом; *б* — с центральным входом;
1 — экструдер; *2* — решетки; *3*, *6* — дорны; *4* — штуцер; *5* — трубка; *7* — нагреватели; *8* — термопары; *9* — кольцевая щель; *10* — фильера; *11* — болты; *12*, *13* — каналы; *14* — рассекатель.

осуществлять несколько технологических операций. Например, сочетать экструзию пленки или лент с последующей их ориентацией.

Ориентированные ленты из таких полимеров, как полипропилен или полиэтилен высокой плотности, применяются для выпуска канатов, тканых материалов и т. д. До последнего времени эти виды изделий производились из растительных волокон (в основном из джута).

Ленты для канатов и веревок должны обладать повышенным сопротивлением растяжению и износу, большой гибкостью.

Общий вид технологической линии для производства и ориентирования полимерных лент дан на рис. VI.36, *а*. Выдавливаемая из плоскощелевых головок *2* червячного экструдера *1* пленка охлаждается в водяной ванне *3*, после чего удаляются боковые кромки и пленки разрезаются на полосы шириной до 100 *мм* ножами *4* и *5*. Равномерность толщины пленки обеспечивается применением в головке стабилизирующего стержня, выравнивающего пульсирующий поток расплава.

Полосы попадают в машину для ориентации, снабженную двумя группами валков *6* и *8*. Валки *8* вращаются со значительно большей скоростью, чем валки *6*. За счет разности скоростей достигается заданный коэффициент вытяжки (до 1 : 10). Ориентация пленочных полос осуществляется в термокамере *7* с автоматическим регулированием температуры. Для стабилизации ориентированных полос они подвергаются дополнительной термообработке в камере *9*, в которой искусственно вызывается усадка на 4—8%.

Вследствие ориентации только в продольном направлении полосы пленки легко распадаются на связки волокон в виде сетки. Эта операция осуществляется пропусканием полос через специальный валок, который вращается со скоростью, превышающей скорость движения полос. Валок снабжен несколькими рядами острых коротких игл, расположенных в шахматном порядке. Иглы делают продольные прорези в пленке длиной 10—20 *мм* на близком расстоянии друг от друга, в результате чего образуется сетчатая связка волокон. Волокна проходят через нитеводители, в которых скручиваются и наматываются на бобины *10*. Вес намотанной бобины 500 *н*.

Технологическая линия для производства тканевых лент (рис. VI.36, *б*) состоит из установки *11* для получения рукавной пленки, устройств *12* и *13* для продольной резки и ориентации лент пленки и устройства *14* для намотки ориентированных лент на бобины. Между устройствами *13* и *14* обычно устанавливают камеру для стабилизации лент.

При производстве пленки рукавным методом достигается некоторая поперечная ориентация пленки, вследствие чего предназначенные для ткани ленты не распадаются на отдельные волокна. Основной остается продольная ориентация (до 80%), поэтому механические свойства в этом направлении высокие. Ширина полос зависит от назначения ткани. Конструкция наматывающего устройства обеспечивает возможность намотки плоских полосок без их скручивания.

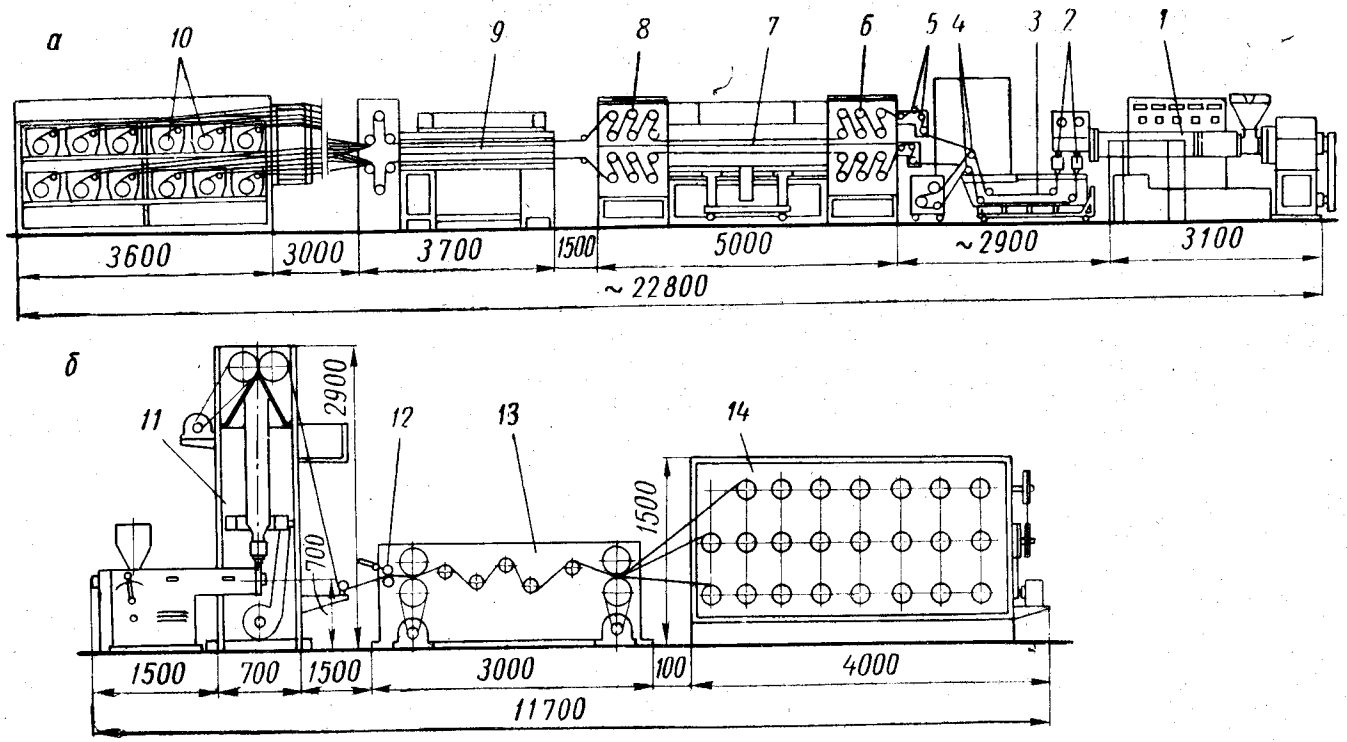


Рис. VI.36. Схемы технологических линий для производства ориентированных лент из полиолефинов:

а — из плоской пленки; *б* — из рукавной пленки;
1 — экструдер; *2* — головка; *3* — водяная ванна; *4*, *5* — ножи; *6*, *8* — валки; *7*, *9* — термокамеры; *10* — бобина; *11* — установка для изготовления рукавной пленки; *12* — устройство для продольной резки пленки; *13* — устройство для ориентации лент; *14* — намоточное устройство.

Количество шпуль равно числу полос и может превышать 100. Вес намотанных шпулей 45—50 *н*.

Экструзионные установки для производства листов позволяют получать листы толщиной 0,5—6 *мм* и шириной до 3 *м*, наносить пленочное покрытие на листы, а также формовать гофрированные листы (с поперечными и продольными гофрами). С помощью экструзии можно производить также листы с армирующими волокнами, сетками, тканью и т. д.

Установка для получения плоских листов (рис. VI.37, *а*) состоит из одночервячного или двухчервячного экструдера *1*, плоской широкощелевой головки *2*, гладильных валков *3*, устройства *4* для продольной обрезки кромок, роликового транспортера *5*, вытяжного устройства *6*, а также устройств *7* и *8* для поперечной резки листов и их штабелирования. Устройство *7* оснащено съемными зажимными колодками, а устройство *8* — передвижной тележкой *9* для готовых листов.

Установка для производства листов с продольными гофрами (рис. VI.37, *б*) отличается от предыдущей наличием устройств *10* и *11* для обогрева и продольного гофрирования экструдируемого листового материала, а также дополнительного устройства *12* для продольной обрезки кромок на гофрированном материале.

При поперечном гофрировании (рис. VI.37, *в*) после гладильных валков и нагревателей устанавливается устройство *13* и барабан *14* для намотки готового материала.

Гладильное устройство предназначено для распрямления, охлаждения и разглаживания экструдируемой ленты. Валки гладильного устройства охлаждаются водой и прижимаются один к другому с усилием 2—9 *кн* на каждый метр длины валка (чаще всего с помощью пневматического или гидравлического механизма). Предусмотрено автономное автоматическое регулирование температуры охлаждающей воды в каждом валке.

Тянущие валки гуммированы, скорость их вращения плавно регулируется в широких пределах. Приемное устройство для листов обычно состоит из двух транспортеров с регулируемой скоростью и гильотинного ножа с пневматическим приводом. Управление движением ножа осуществляется с помощью фотоэлемента или электромеханических переключателей. Как только лист обрезан, скорость транспортера повышается и лист сбрасывается в приемный контейнер, после чего устанавливается прежняя скорость транспортера. Современные установки оснащены приборами для непрерывного или периодического измерения толщины экструдируемых листов.

В настоящее время применяются в основном плоскощелевые экструзионные головки, внутренняя полость которых выполнена в виде «рыбьего хвоста» или же оформляется выступающим фигурным выступом. Геометрические параметры профилирующей полости в виде «рыбьего хвоста» зависят от свойств перерабатываемого материала. Конструкция такой головки проста. Однако распорные усилия увеличивают ширину щели в средней части, что вызывает соответствующее

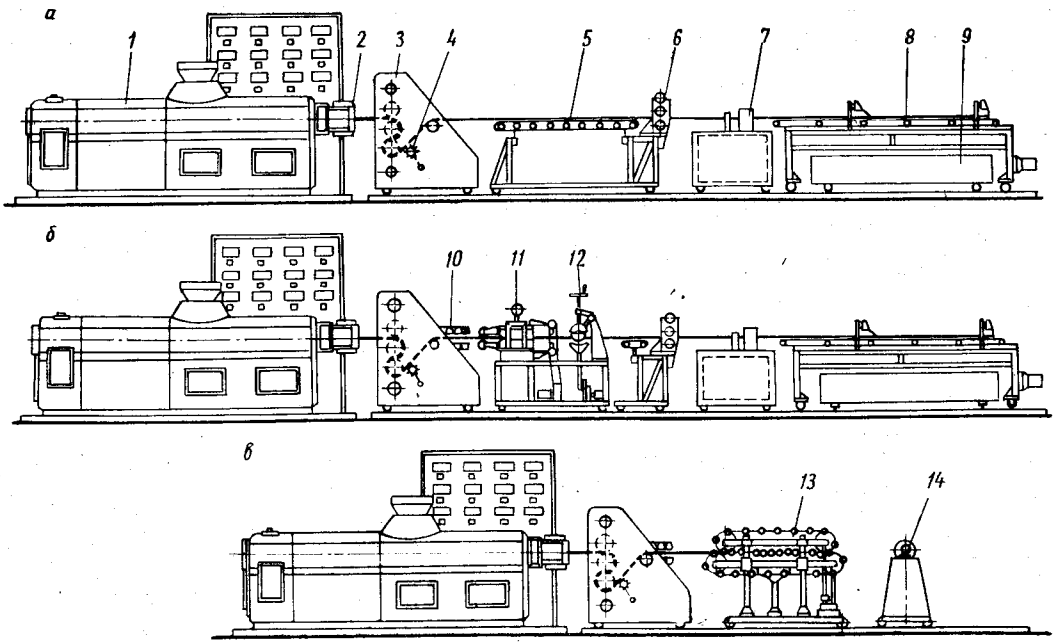


Рис. VI.37. Схемы экструзионных установок для производства плоских листов (*а*), листов с продольными (*б*) и поперечными (*в*) гофрами:

1 — экструдер; *2* — головка; *3* — валки; *4* — устройство для обрезки кромок; *5* — транспортер; *6* — вытяжное устройство; *7* — устройство для поперечной резки листов; *8* — устройство для штабелирования листов; *9* — тележка; *10* — нагревательное устройство; *11* — устройство для продольного гофрирования; *12* — устройство для обрезки кромок; *13* — устройство для поперечного гофрирования; *14* — барабан.

произвольное увеличение толщины изготовляемых листов. Для устранения деформации плит применяют струбцины с механическим или гидравлическим прижимом.

Головка с расположенным в потоке расплава вытесняющим фигурным выступом является более жесткой, поскольку плиты головки стянуты в средней части болтами. Недостатком такой головки является разделение потока расплава на две части, в результате чего возникает опасность образования швов в середине выдавливаемого листа.

Обычно предусматривается возможность местных изменений зазора между профилирующими губками по всей ширине плоскощелевой головки за счет упругой деформации одной из губок.

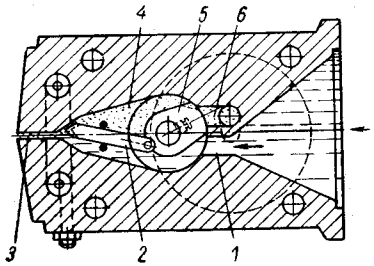


Рис. VI.38. Плоскощелевая головка для производства двухцветных (двухслойных) листов:

1, *6* — каналы; *2* — клапан; *3* — щель; *4* — камера; *5* — распределительный механизм.

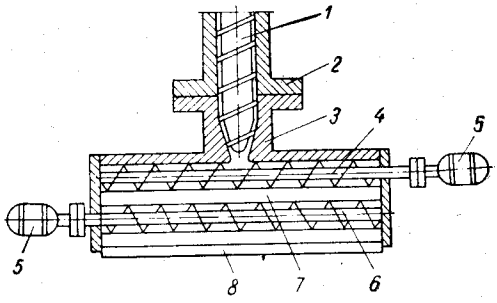


Рис. VI.39. Двухчервячная плоскощелевая головка для производства листов:

1, *4*, *6* — червяки; *2* — фланец; *3* — корпус головки; *5* — электродвигатели; *7* — плоский канал; *8* — щель.

Плоскощелевая экструзионная головка для производства двухцветных листов из термопластов показана на рис. VI.38. Перерабатываемый материал двух различных цветов пластицируется в двух разных экструдерах и затем нагнетается в распределительную камеру *4* головки через каналы *1* и *6*. В камере *4* установлен клапан *2*, с помощью которого осуществляется чередование подачи расплавов различных цветов в щель *3*.

Потоки нагнетаемых расплавов полностью или частично разделяются при помощи кулачкового распределительного механизма *5*, вследствие чего цвета чередуются по длине формуемого изделия. Экструдируемый через профилирующую щель *3* двухцветный лист подается в приемное устройство экструзионной установки. Описанным способом можно изготовлять также двухцветные ленты, ремни и подобные профильные изделия.

При экструзии листов и пленок через широкощелевую головку очень трудно избежать неравномерности потока расплава, вызывающую разнотолщинность и неоднородные свойства профилируемого изделия. Неравномерность потока зависит главным образом от колебаний давления расплава по ширине щелевой головки, которые

приводят к изменениям скорости выдавливания материала через профилирующую щель головки.

Для равномерного распределения расплава по всей ширине щели применяются червячные плоскощелевые головки. Головка обычно крепится к фланцу экструдера. На одной оси с червяком экструдера устанавливается многозаходный распределительный червяк с уменьшающимся шагом. Для привода червяка предназначен автономный электродвигатель. При одинаковом направлении нарезки винтового канала распределительный червяк вращается в том же направлении, что и червяк экструдера.

Двухчервячная плоскощелевая головка, применяемая для переработки поливинилхлорида, показана на рис. VI.39. Корпус *3* головки крепится к фланцу *2* цилиндра экструдера. Нагнетаемый червяком *1* пластицированный материал попадает в центральную зону первого червяка *4*, расположенного в корпусе щелевой головки. Обе половины червяка имеют различную (правую и левую) нарезку. Вследствие этого расплавленный материал при вращении червяка предварительно распределяется по ширине головки. Затем материал проходит через плоский канал *7* и попадает на второй (нижний) червяк *6* с такой же нарезкой. Этот червяк равномерно распределяет поток расплава, выходящего из щели *8*.

Червяки вращаются одним или двумя электродвигателями *5* через редуктор. В качестве материала подшипников для валов червяков используются жаростойкие самосмазывающие материалы. Для предотвращения вытекания расплавленного термопласта из головки через зазоры в подшипниках концы червяков имеют обратную нарезку. Двухчервячная щелевая головка позволяет получать равнотолщинные листы из термопластов с плоской поверхностью.

§ 9. ЭКСТРУЗИОННЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ И ДРУГИХ ПРОФИЛИРОВАННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Обычная экструзионная установка для изготовления труб, стержней, шлангов и других профилированных изделий (рис. VI.40) состоит из червячного экструдера *1* с кольцевой аксиальной головкой *2* и калибрующей насадкой *3*, устройств *4*, *5*, *7* и *8* соответственно для охлаждения, вытяжки, разрезания трубы *6* на участки необходимой длины и штабелирования. Трубы небольшого диаметра и шланги обычно не разрезаются, а наматываются в бухты.

Обычно указанную насадку применяют для калибрования трубы по наружному диаметру. Прикрепляется она непосредственно к экструзионной головке или устанавливается рядом с охлаждающим устройством. Экструдируемая труба прижимается к полированной поверхности насадки *2* сжатым воздухом, нагнетаемым в полость трубы через канал *1* в дорне головки (рис. VI, 41, *а*). Для герметизации трубы в ней устанавливают скользящую пробку *4* (закрепляемую на торце штанги *3*), которая соединяется с дорном головки,

или пережимают свободный конец трубы *5* (рис. VI.41, *б*). Калибруемая труба *5* охлаждается водой, проходящей через рубашку насадки *2*, а также ванну *7*, и транспортируется тянущими роликами *6*.

В некоторых случаях калибрование трубы осуществляется под действием вакуума при соединении полости калибрующей насадки с вакуумной линией. В этом случае необходимость в герметизации трубы отпадает. Толстостенные трубы калибруют под действием внутреннего избыточного давления сжатого воздуха и наружного вакуума. При изготовлении наматываемого в бухты шланга свободный конец его сплющивают или закрывают пробкой.

Длина калибрующей насадки должна быть такой, чтобы обеспечить предварительное охлаждение экструдируемой трубы. При этом необходимо, чтобы твердость материала была достаточной для прохождения трубы через охлаждающее и вытяжное устройства без деформации. Избыточное давление внутри трубы должно обеспечить плотное прилегание к насадке и калибрование наружной поверхности трубы, придать поверхности глянцевитость и сделать ее ровной. При повышенном давлении воздуха возрастает сопротивление перемещению трубы через насадку, что может вызвать обрыв трубы.

Для расчета длины насадки $L_н$ пользуются температурной зависимостью:

$$T_к = T_0 - \frac{\varepsilon}{2}(T_0 - T_н) \qquad \text{(VI.75)}$$

где T_0, $T_к$ — средние температуры стенки экструдируемой трубы на входе в насадку и выходе из нее соответственно; $T_н$ — средняя температура насадки; $\varepsilon < 1$ — константа, выражающая соотношение между температурой и жесткостью трубы

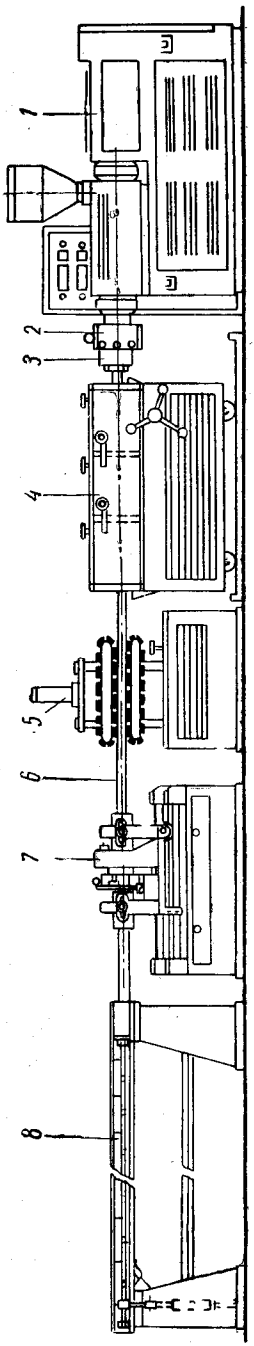


Рис. VI.40. Общий вид экструзионной установки для производства труб:
1 — экструдер; *2* — головка; *3* — калибрующая насадка; *4* — охлаждающее устройство; *5* — тянущее устройство; *6* — труба; *7* — режущее устройство; *8* — штабелер.

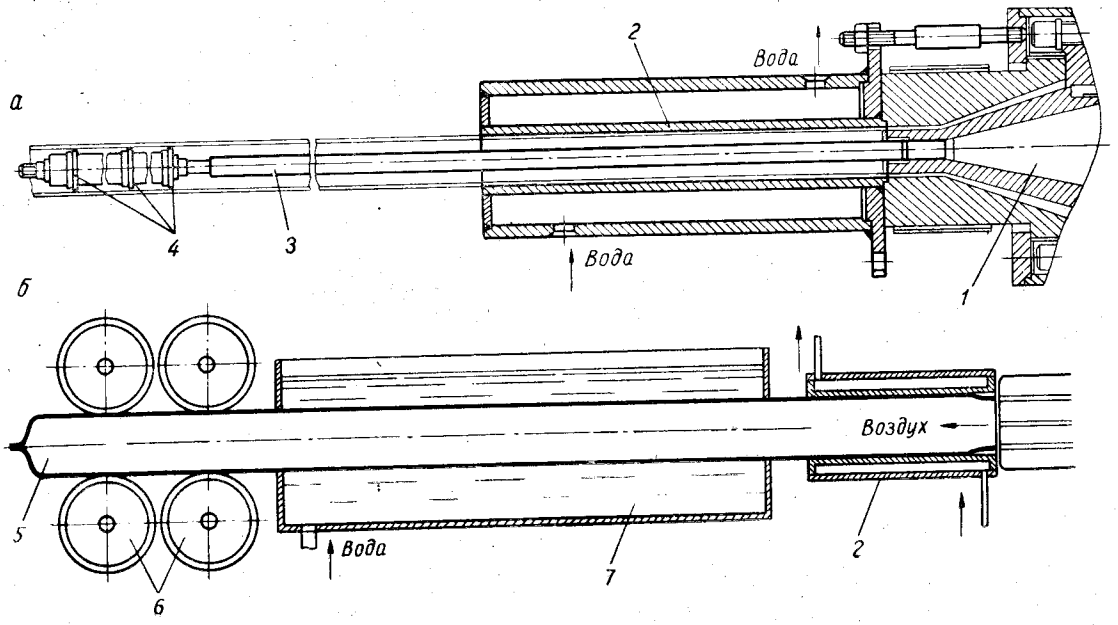


Рис. VI.41. Схема устройства для калибрования экструдируемой трубы:

а — с применением скользящей пробки; *б* — с пережимом трубы;
1 — канал; *2* — калибрующая насадка; *3* — штанга; *4* — скользящая пробка; *5* — труба; *6* — тянущие ролики; *7* — охлаждающая ванна.

(ε зависит от размеров и материала трубы и находится экспериментально).

Длина насадки определяется по формуле:

$$L_{н}=\frac{\varepsilon\,(D_{т}^{2}-\delta_{т}^{2})\,\delta_{т}^{2}V_{т}}{aD_{т}^{2}} \qquad \text{(VI.76)}$$

Для тонкостенных труб эта величина изменяется:

$$L_{н}=\frac{\varepsilon\delta_{т}^{2}V_{т}}{a} \qquad \text{(VI.77)}$$

Уравнение (VI.76) можно преобразовать следующим образом

$$L_{н}=\frac{\varepsilon Q\delta_{т}}{\pi aD_{т}}\left(1-\frac{\delta_{т}}{D_{т}}\right) \qquad \text{(VI.78)}$$

В уравнениях (VI.76) — (VI.78) приняты следующие обозначения: $\delta_{т}$ — толщина трубы; $D_{т}$ — наружный диаметр трубы; a — коэффициент температуропроводности материала трубы; $V_{т}$ — скорость отвода трубы; Q — объемная производительность экструдера.

Для охлаждения трубы или другого профильного изделия обычно применяют ванну с проточной водой. Торцы ванны уплотняют резиновыми кольцами с отверстиями для трубы. Для подачи воды в калибрующую насадку и охлаждающую ванну, а также для отвода воды предусмотрены штуцеры.

Для вытяжки трубы с заданной скоростью применяют роликовые, гусеничные и комбинированные устройства с механическим, гидравлическим или пневматическим зажимом трубы. Гусеничное устройство для вытяжки труб обычно состоит из гусениц с пластинами, покрытыми пористой резиной, а также механизмов для бесступенчатого привода гусениц и регулирования расстояния между ними. Пластины прикреплены к площадкам, установленным на осях непрерывных цепей. Вариатор обеспечивает плавное изменение скорости вытяжки. Устройство оснащено счетчиком метража труб и тахометром.

При вытяжке других профилированных изделий обычно вместо гусеничных устройств применяют ленточный транспортер. Для вытяжки профилей с глубокой полостью применяют комбинированные тянущие устройства, у которых снизу расположена гусеница, а сверху профильные ролики (или наоборот).

Для разрезания труб используют главным образом дисковые пилы с планетарным механизмом, поворачивающим вращающуюся пилу вокруг трубы. Пила перемещается вместе с трубой и после ее разрезания возвращается в исходное положение.

Осевая экструзионная трубная головка (рис. VI.42) обычно закрепляется на цилиндре экструдера при помощи фланца. Во фланцевой части головки установлена фильтрующая решетка *3* с пакетом фильтрующих сеток *2*. Труба выдавливается через калиброванную кольцевую щель *8*, образованную дорном *7* и кольцом *6* мундштука. Положение кольца относительно дорна регулируется болтами *9*.

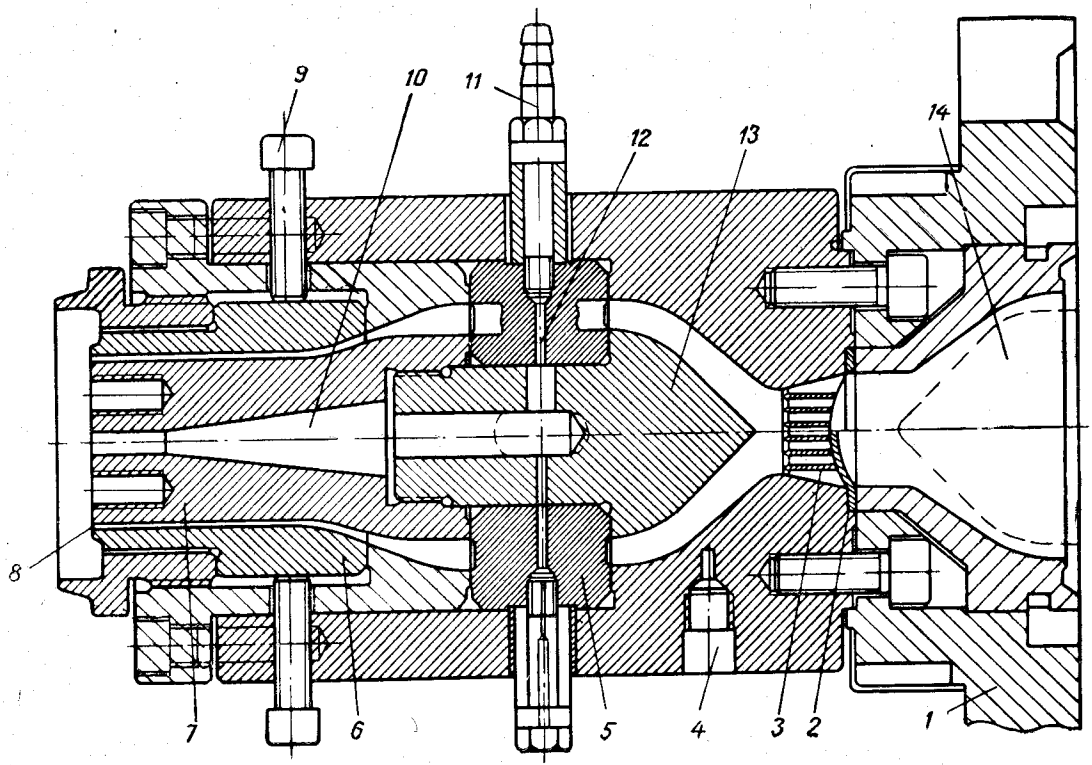


Рис. VI.42. Осевая кольцевая головка для экструзии труб:

1 — фланец; *2* — фильтрующие сетки; *3* — решетка; *4* — гнезда для термопар; *5*, *6* — кольца; *7* — дорн; *8* — кольцевая щель; *9* — регулировочные болты; *10*, *12* — каналы; *11* — штуцер; *13* — рассекатель; *14* — червяк.

Таблица VI.6

Технические характеристики отечественных установок для производства труб, шлангов и профилированных (погонажных) изделий

Параметры	Тип установки						
	591681	591655	591670	АТ-2-90-32/110	591673	591627	513568 *
Диаметр червяка, *мм*	20	45	63	2×90	125	2×125	20; 45
Отношение длины червяка к диаметру (L/D)	25	25	20	12	20	12	25
Скорость вращения червяка, *об/мин*	26—260	⩽300	⩽180	—	⩽125	3,75—15	—
Максимальная производительность, *кг/ч*	9	80	80	83	270	160	45
Скорость вытяжки, *м/мин*	0,5—14	0,5—10	0,5—10	—	3	—	0,5—8
Размеры выпускаемых труб или профилей:							
наружный диаметр, *мм*	10	6—50	10—50	32—110	110—160	125—400	—
длина отрезков, *м*	20×15 **	⩽12	—	6	6—12	6—8	—
Количество установленных электродвигателей:							
постоянного тока	3	3	3	—	2	—	3
переменного тока	1	6	4	—	8	—	2
Мощность двигателей, *квт*	3	25,9	28,5	34	135	70	22
Мощность обогрева, *квт*	3	32,7	33,3	—	110	—	15,6
Расход воды, *м³/ч*	0,1	3	0,6	1	4	1,5	0,55
Расход сжатого воздуха, *м³/ч*	1,5	4	—	0,5	4,5	1	—
Габаритные размеры установки, *м*	10,2× ×1,74×1,6	23,3× ×2,3×3,3	31,2×2× ×2,5	20×3,1×2,2	39,4×2,6× ×4,6	24,7×1,3× ×2,6	4,3×3,5× ×2,1
Вес установки, *кн*	15	55	54	69	158	178	35

* Установка на базе двух одночервячных экструдеров с червяками диаметром 20 и 45 *мм* для производства двухцветных профильных изделий.

** Размеры сечения профиля (в *мм*).

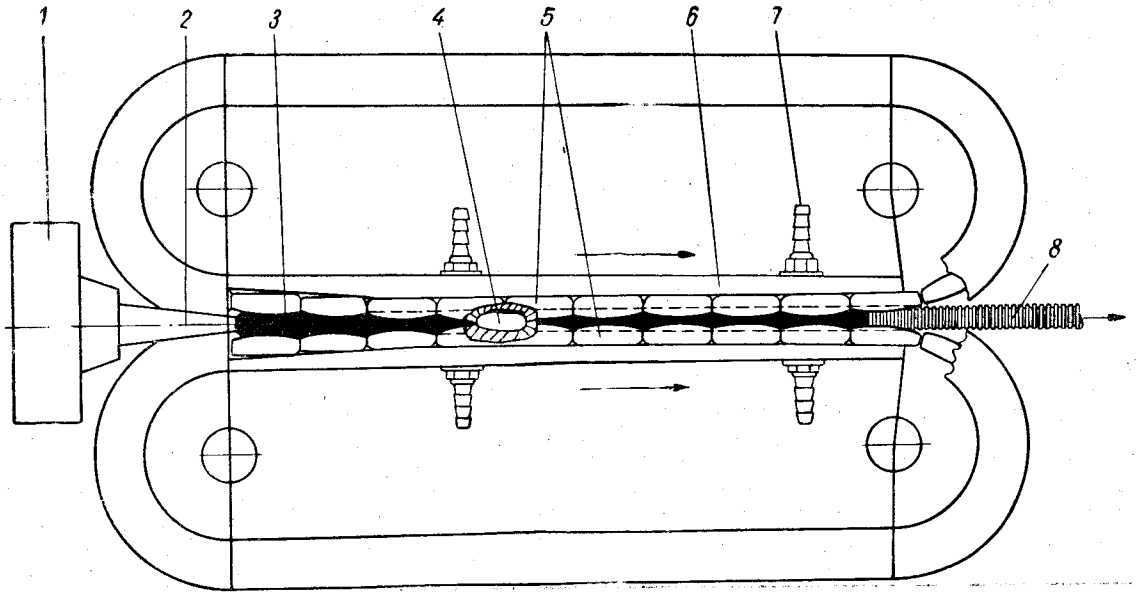


Рис. VI.43. Схема устройства для получения гофрированных экструдируемых труб:

1 — кольцевая головка; *2* — удлинитель; *3* — гладкая труба; *4* — скользящая пробка; *5* — полуформы; *6* — направляющая дорожка; *7* — штуцер; *8* — гофрированная труба.

Дорн закреплен в корпусе головки с помощью установочного кольца *5*. В кольце и дорне имеются каналы *10* и *12* для подвода сжатого воздуха через штуцер *11* (с целью калибровки трубы).

В корпусе головки расположено несколько гнезд *4* для установки термопар. Нагнетаемый червяком *14* экструдера расплав продавливается через отверстия фильтрующих сеток и решетки и распределяется по кольцу рассекателем *13* дорна. С увеличением толщины стенок охлаждение трубы происходит медленнее и внутренние напряжения в материале трубы снимаются более полно.

Современные экструзионные трубные установки оснащены приборами для автоматического измерения и регулирования толщины труб. В некоторых случаях приборы связаны с клапаном регулирования давления сжатого воздуха, под действием которого труба прижимается к насадке. При этом можно регулировать и линейную скорость экструзии.

Технические характеристики отечественных одночервячных и двухчервячных установок для производства труб, шлангов и профильных изделий приведены в табл. VI.6.

В устройстве для формования гофрированных труб (рис. VI.43), которые благодаря гибкости и повышенной способности деформироваться пользуются большим спросом в различных отраслях народного хозяйства, применяется кольцевая головка *1* экструдера с удлинителем *2*. Выдавливаемая из удлинителя *2* гладкая труба *3* постепенно обжимается полуформами *5*, установленными на двух бесконечных цепях и перемещающимися по направляющим дорожкам *6*. В полостях полуформ расположены пазы и выступы, оформляющие гофры на экструдируемой трубе под действием сжатого воздуха, нагнетаемого в полость трубы через канал в дорне головки. Для герметизации полости трубы установлена скользящая пробка *4*. Полуформы охлаждаются при контакте с направляющими дорожками *6*, которые охлаждаются водой, подаваемой через штуцеры *7*. Готовая гофрированная труба *8* наматывается на барабан или разрезается на куски необходимой длины.

§ 10. ЭКСТРУЗИОННЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ, ПОКРЫТИЙ И ДУБЛИРОВАНИЯ

Для нанесения изоляции на провода и кабели, а также покрытий, например, на бумагу и ткани, пригодны полиолефины, поливинилхлорид, его сополимеры и другие термопласты.

Схема установки для нанесения изоляции на провода и кабели показана на рис. VI.44. Провод (или кабель) сматывается с барабана *1*, проходит через натяжные ролики *2* и кондуктор *3*, обеспечивающий предварительный нагрев проволоки. В угловой головке *5* червячного экструдера *4* провод покрывается слоем термопласта. В дальнейшем изолированный провод охлаждается в нескольких ваннах *6* нагретой до различной температуры водой, проходит через устройство *7* для контроля изоляции на пробой и устройство *8* для контроля

диаметра, кабестан *9* для вытягивания перед намоткой, а также распределительное устройство *10* и наматывается в готовом виде на барабан *11*.

Нанесением тонких пленочных покрытий изготавливают: моющиеся обои; плакированную и способную свариваться металлическую фольгу; материалы на основе хлопчатобумажных тканей, имитирующие кожу; покрытую поливинилхлоридом джутовую упаковочную мешковину и т. д. Тканая или бумажная подложки могут покрываться пленкой с одной или с двух сторон.

Экструзионные установки для нанесения тонкослойных покрытий и дублирования пленок работают по так называемому экструзионно-ламинаторному способу, при котором экструдируемая через плоскощелевую головку пленка прокатывается вместе с основой (бумага,

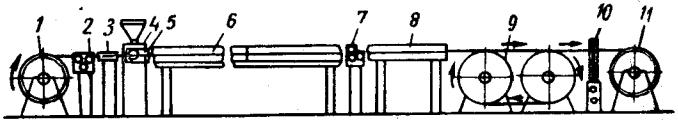


Рис. VI.44. Схема установки для нанесения изоляции на провода и кабели:

1 — барабан; *2* — натяжные ролики; *3* — кондуктор; *4* — экструдер; *5* — угловая головка; *6*— охлаждающие ванны; *7*, *8* — контрольные устройства; *9* — кабестан; *10* — распределительное устройство; *11* — барабан.

картон, ткани, полимерная пленка, металлическая фольга) между валками. (Как известно, при кашировальном способе смола плавится на нагретых валках, после чего выдавливаемый через зазор между валками тонкий слой термопласта наносится на основу-подложку; в некоторых случаях основу покрывают заранее подготовленной нагретой пленкой).

Экструзионно-ламинаторный способ получил широкое распространение. Современные экструзионно-ламинаторные установки позволяют наносить односторонние покрытия со скоростью до 765 *м/мин* на полотно шириной до 3 *м*. Двухсторонние покрытия наносятся со скоростью 310—370 *м/мин* на картон шириной 2,3—2,8 *м*.

Схема агрегатной установки для нанесения полимерных покрытий и дублирования пленочных материалов представлена на рис. VI.45. Установка состоит из механизма *1* для монтажа и размотки рулонов с основой, на которую наносится полимер, устройства *2* для автоматической стыковки материала в процессе работы, измерительных устройств *3* и *10* для измерения и контроля толщины непокрытого и покрытого или дублированного материала, устройства *4* для нанесения грунтовки на покрываемый материал, червячного экструдера *6* и валкового ламинатора *7*, направляющего устройства *8*, устройства *9* для размотки и автоматической стыковки дублируемого пленочного материала, а также механизма *11* для намотки покрытого материала в рулоны. Устройство *4* обеспечивает нанесение на подложку грун-

товочного слоя из раствора и его сушку в камерах *5* с регулируемой температурой. Механизм *11* предназначен для намотки рулонов увеличенного диаметра.

§ 11. АГРЕГАТЫ ДЛЯ ЭКСТРУЗИОННО-ВЫДУВНОГО ФОРМОВАНИЯ ПОЛЫХ ИЗДЕЛИЙ

В настоящее время применяются следующие методы формования полых изделий: совмещенный экструзионно-выдувной; совмещенный инжекционно-выдувной; комбинированный; раздельный экструзионно-выдувной; раздельный инжекционно-сварочный; каландрово-выдувной.

При совмещенных методах формования трубчатая заготовка выдавливается из головки экструдера или отливается на литьевой машине и сразу же раздувается сжатым воздухом в форме. При комбинированном методе горловина, штуцеры, рукоятки и другие детали изделия отливаются на литьевой машине, а трубчатая заготовка корпуса изделия выдавливается экструдером, после чего трубчатая заготовка раздувается, а детали привариваются к корпусу полого изделия.

При раздельном экструзионно-выдувном методе формования трубчатые заготовки предварительно формуют на экструдере, а затем остывшие заготовки нагревают и формуют из них полые изделия на специальных выдувных машинах. Можно также изготавливать на литьевой машине обе половины полого изделия, а затем сваривать или склеивать их (инжекционно-сварочный метод). Кроме того, с

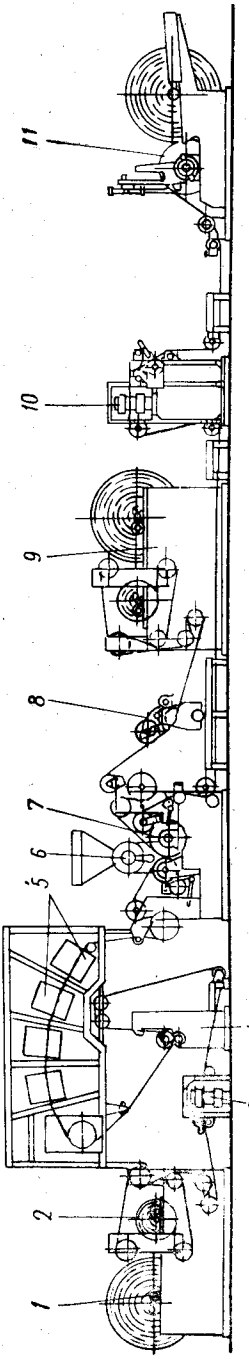


Рис. VI.45. Схема экструзионно-ламинаторной установки для нанесения тонкослойных покрытий и дублирования пленочных материалов:

1 — устройство для монтажа и размотки рулонов; *2* — стыковочное устройство; *3*, *10* — контрольные устройства; *4* — грунтовочное устройство; *5* — сушильные камеры; *6* — экструдер; *7* — валковый ламинатор; *8* — направляющее устройство; *9* — размоточное устройство для дублируемого материала; *11* — намоточное устройство.

полые изделия получают из изготовленных каландровым или экструзионно-валковым способом термопластичных листов, которые затем сваривают или склеивают в трубчатые заготовки, раздуваемые после нагрева в выдувных формах (каландрово-выдувной метод).

Наибольшее распространение в результате автоматизации и высокой производительности получил совмещенный экструзионно-выдувной метод. Этим методом изготавливают изделия объемом от 0,03 до 3000 *л*. На агрегате (рис. VI.46, *а*) трубчатая заготовка *5* выдавливается червяком *4* экструдера *3* через угловую головку *2*. После этого форма *1* замыкается и внутрь трубчатой заготовки *5* нагнетается сжатый воздух, который формует ее в соответствии

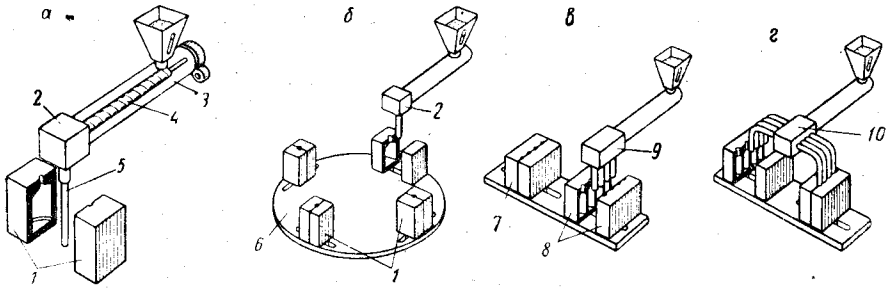


Рис. VI.46. Принципиальные схемы агрегатов для экструзионно-выдувного формования полых изделий из термостатов:

а — в одной форме; *б* — в нескольких формах, установленных на поворотном столе; *в* — в двух многогнездных формах с возвратно-поступательным движением; *г* — в двух формах с применением многоручьевой двухсторонней профилирующей головки; *1*, *7*, *8* — форма; *2* — головка; *3* — экструдер; *4* — червяк; *5* — трубчатая заготовка; *6* — вращающийся стол; *9*, *10* — многоручьевые головки.

с конфигурацией полости формы. После остывания изделия в охлаждаемой водой или воздухом форме последняя размыкается и изделие выталкивается (обычно струей сжатого воздуха).

Увеличение производительности при экструзии и последующем выдувании изделий достигается несколькими способами. Первый способ заключается в использовании одноручьевой головки *2* (рис. VI.46, *б*) и нескольких форм *1*, устанавливаемых на вращающемся столе *6*, который обеспечивает механизированную подачу очередной формы к головке экструдера, смыкание форм, выдувание и охлаждение изделия, размыкание формы и выталкивание из нее изделия. При использовании многопозиционного вращающегося механизированного стола для форм обеспечивается непрерывное формование изделий при последовательных операциях цикла от экструзии заготовки до выталкивания из формы охлажденного изделия.

При втором способе применяются одна экструзионная головка *9* (рис. VI.46, *в*) и две формы с возвратно-поступательным движением. В то время, как в раскрытую форму *8* экструдируются трубчатые заготовки из одноручьевой или многоручьевой головки, во второй

закрытой форме *7* заготовки раздуваются сжатым воздухом и охлаждаются перед выталкиванием.

При использовании многоручьевой головки можно одновременно формовать не только одинаковые, но и различные изделия. Модификацией этого способа является применение спаренной или двусторонней, одноручьевой или многоручьевой головки *10* (рис. VI.46, *г*)

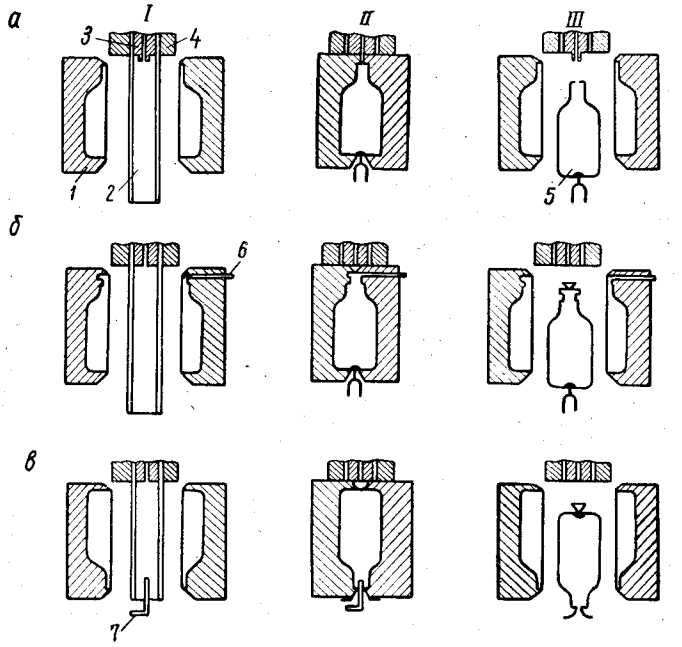


Рис. VI.47. Схемы методов выдувания полых изделий с различными вариантами подачи сжатого воздуха:

а — через канал в дорне головки; *б* — через полую иглу сбоку; *в* — через ниппель снизу; *1* — форма; *2* — заготовка; *3* — дорн; *4* — головка; *5* — изделие; *6* — полая игла; *7* — штуцер; *I* — позиция выдавливания трубчатой заготовки; *II* — позиция формования изделия; *III* — позиция выталкивания изделия из формы.

и двух форм с возвратно-поступательным движением. Большой интерес представляют многоручьевые головки, обеспечивающие одновременное формование нескольких трубчатых заготовок.

Схемы трех различных методов выдувания полых изделий представлены на рис. VI.47. В позиции *I* форма *1* раскрыта, а трубчатая заготовка *2*, выдавливаемая из кольцевой головки *4* экструдера, находится между половинками формы. В позиции *II* трубчатая заготовка раздувается сжатым воздухом, а в позиции *III* форма раскрывается и отформованное охлажденное изделие *5* выталкивается из нее. При первом методе выдувания (рис. VI.47, *а*) сжатый воздух нагнетается в трубчатую заготовку через канал в дорне *3* головки. При втором методе (рис. VI.47, *б*) воздух подается через полую иглу *6*,

которая прокалывает верхнюю часть формуемой заготовки. Игла расположена в одной из половинок формы. Воздух можно нагнетать также через штуцер *7* (рис. VI.47, *в*) в нижнюю часть трубчатой заготовки.

Формы обычно изготавливают из алюминия, бронзы или стали (без термической обработки). Для охлаждения изделий проточной водой в форме просверлены каналы. Иногда формы охлаждают снаружи воздухом. Дальнейшее охлаждение изделий производят водой, разбрызгиваемой пульверизатором. Затем воду испаряют с помощью струи сжатого воздуха.

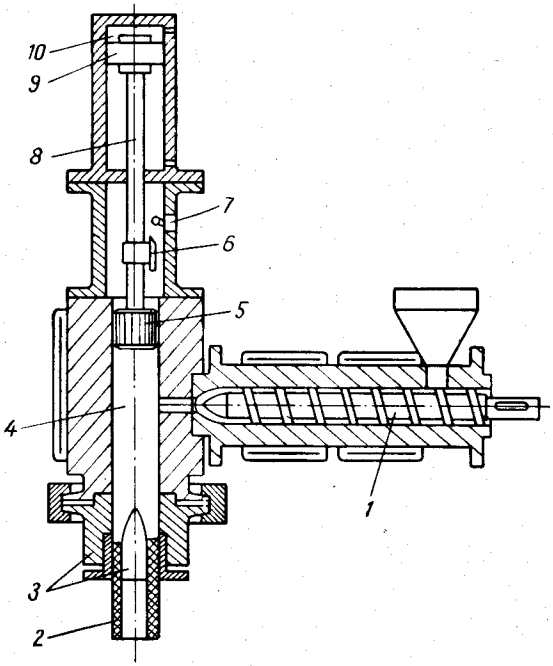


Рис. VI.48. Схема червячного экструдера с поршневым аккумулятором для изготовления полых изделий:

1 — червяк; *2* — трубчатая заготовка; *3* — головка; *4* — цилиндр аккумулятора; *5* — поршень; *6* — кулачок; *7* — конечный выключатель; *8* — шток; *9* — плунжер; *10* — гидравлический цилиндр.

Выдавливание трубчатой заготовки осуществляется вращающимся червяком или поршнем копильника (аккумулятора), в который предварительно пластицированный материал нагнетается червячным пластикатором. В первом случае заготовка выдавливается в режиме экструзии, во втором и в третьем — в режиме инжекции. Поршневые копильники применяются при формовании крупногабаритных изделий в одной или двух формах, а также при формовании мелких изделий (объемом до 2 *л*) на револьверных выдувных машинах.

Схема экструдера, оснащенного вертикальным аккумулятором приведена на рис. VI.48. Пластицированный материал, нагнетаемый червяком *1* экструдера, заполняет обогреваемый цилиндр *4* аккумулятора, после чего под действием гидравлического цилиндра *10* поршнем *5* выдавливается через вертикальную кольцевую головку *3*.

Объем необходимой порции материала контролируется конечным выключателем *7*, на который воздействует кулачок *6* при подъеме поршня *5* под давлением нагнетаемого в цилиндр *4* материала. Кулачок можно перемещать на штоке *8* плунжера *9* в зависимости от размеров и веса формуемого изделия.

Поршневой аккумулятор позволяет выдавливать трубчатую заготовку *2* с высокой скоростью. Трубчатая заготовка большой длины не успевает деформироваться под действием собственного веса во

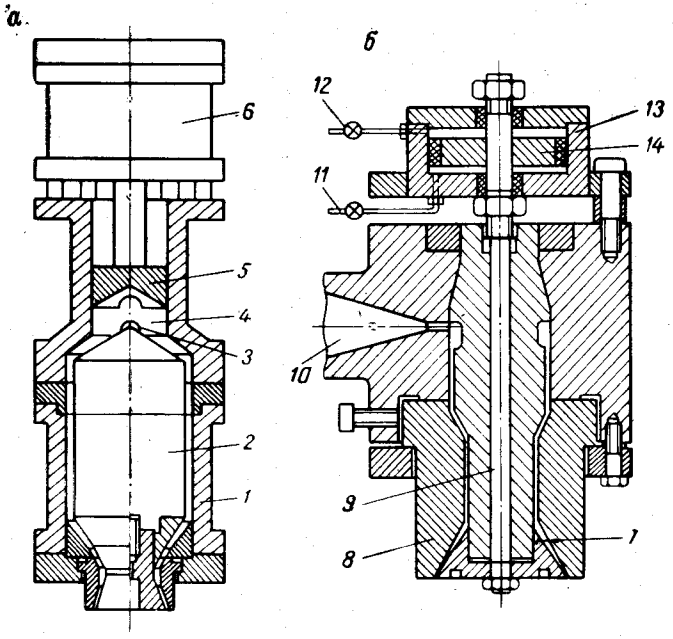


Рис. VI.49. Экструзионные головки для изготовления трубчатых заготовок:

а — со встроенным поршневым аккумулятором; *б* — с осевым перемещением наконечника дорна;
1 — корпус; *2* — дорн; *3* — канал; *4* — цилиндр аккумулятора; *5* — поршень; *6* — гидравлический цилиндр; *7* — наконечник дорна; *8* — мундштук; *9* — шток; *10* — канал; *11*, *12* — трубопроводы; *13* — цилиндр; *14* — плунжер.

время выдавливания. При формовании крупногабаритных изделий в одногнездных формах, а также мелких изделий в формах на револьверных машинах червяк экструдера обычно вращается непрерывно, что позволяет увеличить пластикационную производительность экструдера, повысить качество трубчатой заготовки и уменьшить расход энергии.

Большой интерес представляют экструзионные кольцевые головки со встроенным аккумулятором (рис. VI. 49, *а*). Под давлением расплава, нагнетаемого червячным экструдером в цилиндр *4* аккумулятора через канал *3*, поршень *5* поднимается на необходимую величину. После этого в гидравлический цилиндр *6* под давлением

нагнетается масло, вследствие чего поршень *5* опускается и выдавливает через кольцевую щель между корпусом *1* и дорном *2* головки дозу материала в виде трубчатой заготовки.

В том случае, когда поршневой аккумулятор располагается горизонтально, применяется угловая головка, в которой в результате искривления потока выдавливаемого материала создаются неблагоприятные условия для профилирования заготовок со стабильной толщиной стенок. Вертикальные аккумуляторы и осевые вертикальные головки обеспечивают получение качественных заготовок строгой геометрической формы.

Поскольку диаметр горловины значительно меньше диаметра или ширины корпуса полого изделия, толщина изделия в различных зонах колеблется в широком интервале. Во многих случаях необходимо формовать изделия сложной конфигурации, для которых цилиндрические заготовки с равномерной толщиной стенок не пригодны.

Для формования полых изделий сложной формы с равномерной толщиной стенок, а также для изготовления изделий любой формы с дифференцированной, заранее заданной толщиной стенок предназначены головки с перемещающимся в осевом направлении дорном или мундштуком (рис. VI. 49, *б*). Относительное перемещение дорна или мундштука осуществляется гидравлическими или пневматическими цилиндрами, кулачковыми или реечно-винтовыми устройствами и т. д.

Угловая кольцевая головка оснащена коническим наконечником *7* дорна, который может перемещаться в вертикальном направлении под действием плунжера *14*, расположенного в гидравлическом цилиндре *13*. При нагнетании жидкости в штоковую полость цилиндра *13* через трубопровод *11* плунжер *14*, шток *9* и конический наконечник *7* поднимаются, вследствие чего уменьшается кольцевая щель, расположенная между наконечником и нижней частью мундштука *8*. При нагнетании жидкости в верхнюю полость цилиндра через трубопровод *12* подвижные детали головки опускаются, вследствие чего ширина щели увеличивается. При этом материал, нагнетаемый экструдером через канал *10*, выдавливается через кольцевую профилирующую щель в виде заготовки с различной толщиной стенок по длине. Управление перемещением дорна осуществляется с помощью кулачкового, электрического или электронного командного механизма.

Технические характеристики отечественных агрегатов для производства полых изделий приведены в табл. VI.7.

Большой интерес представляют агрегаты для многоформовочного изготовления полых изделий объемом от 0,1 до 600 *л* (рис. VI.50). Установка состоит из экструдера *5*, выдувной машины *2*, электрического пульта управления *6* и блока аппаратуры для гидравлического привода. Диаметр червяка равен 60 *мм*, усилие замыкания формы составляет 120—300 *кн*. Для бесступенчатого привода червяка экструдера устанавливают цепной вариатор или трехфазный

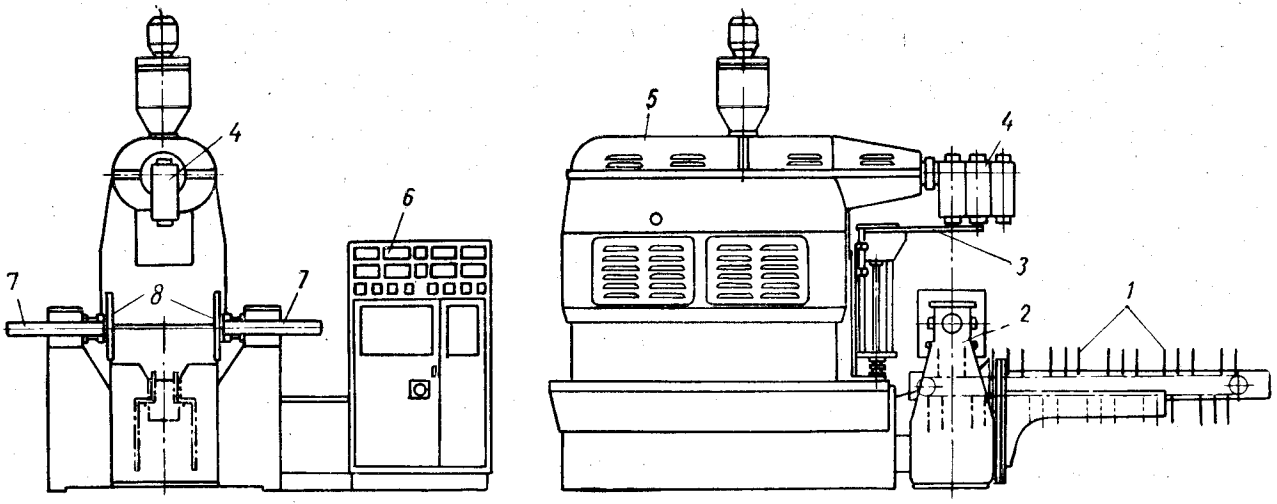


Рис. VI.50. Схема экструзионно-выдувного агрегата для многоформовочного производства полых изделий:

1 — дорны; *2* — выдувная машина; *3* — ножевое устройство; *4* — многоручьевые головки; *5* — экструдер; *6* — пульт управления; *7* — гидравлические цилиндры; *8* — крепежные плиты.

Таблица VI.7

Технические характеристики отечественных экструзионно-выдувных агрегатов

Охлаждение зон цилиндра — воздушное.

Параметры	Тип агрегата			
	ЭВА-2	АВ-9	АВ-68	АВ-225
Объем изделий, *л*	0,1—2	1—9	20—60	60—225
Диаметр червяка, *мм*	60	63,5	63,5	88,7
Отношение длины червяка к диаметру (L/D)	14,5 : 1	21 : 1	21 : 1	16 : 1
Число оборотов червяка, *об/мин*	0—100	25—100	25—100	10—50
Средняя производительность, *кг/ч*	8—10	33	40	90
Мощность привода, *квт*	12	32	32	42
Мощность нагревателей, *квт*:				
индукционных	—	19	19	52,3
омических	25,6	20	20	
Емкость бункера, *л*	—	95	95	500
Количество циклов в 1 *ч*	—	700	—	10
Количество позиций формования	1	2	1	1
Усилие замыкания формы, *кн*	—	54	210	560
Размеры формы, *см*	—	56 × 24 × × 22	62 × 46 × × 46	137 × 76 × × 91
Расход воды, *м³/ч*	0,7	2	2,2	—
Расход воздуха при нормальных условиях, *м³/ч*	3	6,5	25	—
Габаритные размеры агрегата, *м*	3,4 × 2,2 × × 2,1	3,8 × 3,6 × × 3,1	6,1 × 4,8 × × 3,7	6,6 × 7 × × 5,5
Вес агрегата, *кн*	4,5	45	83	200

коллекторный двигатель. При изготовлении крупных изделий над угловой кольцевой головкой помещают аккумулятор с поршнем, предназначенный для выдавливания равнотолщинной трубчатой заготовки с большой скоростью. Предусмотрена также возможность установки одноручьевых и многоручьевых головок *4*, обеспечивающих одновременное выдавливание от 1 до 5 трубчатых заготовок.

Для формования изделий сложной конфигурации с неравномерной толщиной стенок применяются подвижные фигурные дорны. Автоматическое перемещение дорнов по вертикали осуществляется специальным пневматическим или гидравлическим устройством, управляемым командным аппаратом. При этом из головки выдавливаются трубчатые заготовки с дифференцированной толщиной стенок.

Заготовки необходимой длины, контролируемой с помощью фотореле, отрезаются ножевым устройством *3*, которое опускает заготовки в зону разъема формы. Дорны *1* в количестве до 52 штук установлены на цепях, перемещающихся синхронно с работой экструдера, ножевого устройства и механизма смыкания форм.

Механизм смыкания состоит из двух гидравлических цилиндров *7*, на торцах плунжеров которых установлены крепежные плиты *8*.

На плитах закреплены одноместные или многоместные полуформы. После смыкания формы под действием плит гидравлических цилиндров в нее через нижние дорны нагнетается сжатый воздух, формующий трубчатую заготовку в изделие.

После частичного охлаждения изделий в сомкнутой форме последняя размыкается и изделия окончательно охлаждаются на перемещающихся дорнах. Охлажденные изделия удаляются с дорнов струей сжатого воздуха. На выдувной машине установлены управляемые поворотные дорны, обеспечивающие возможность формования на полом изделии нескольких смещенных от центра и косо расположенных отверстий.

При работе агрегата имеется возможность регулирования параметров процесса экструзии, длительности цикла, времени выдувания и первичного охлаждения, толщины стенок изделия. На выдувной машине установлены устройства для удаления заусенцев и поштучной передачи изделий к печатным, этикетировочным и фасовочным машинам. Предусмотрена также возможность монтажа устройства для термической обработки поверхности изделий перед нанесением печати.

В случае охлаждения отформованных изделий водой вне формы производительность установки может быть повышена в 1,5—2 раза (до 150 *кг/ч*).

* * *

Экструдеры, а также тянущие, режущие и приемные устройства экструзионных установок должны быть заземлены. Цилиндр и головка экструдера должны иметь теплоизоляцию и защитные кожухи в зонах обогрева. Элементы привода, тянущие и режущие устройства, а также зоны разъема форм на агрегатах для формования полых изделий закрываются ограждениями.

Необходимо соблюдать особую осторожность при заправке выдавливаемых изделий в тянущие устройства, при замене фильтров на экструдере и при чистке головки (пользоваться специальными устройствами и инструментом, работать в перчатках и т. д).

ЛИТЕРАТУРА

Э. Бернхардт, Переработка термопластических материалов, Госхимиздат, 1965.

В. К. Завгородний, Механизация и автоматизация переработки пластических масс, Изд. «Машиностроение», 1970.

В. К. Завгородний, Новое оборудование для переработки пластмасс, ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1967.

Д. М. Мак-Келви, Переработка полимеров, Изд. «Химия», 1965.

Д. Д. Рябинин, Ю. Е. Лукач, Червячные машины для переработки пластических масс и резиновых смесей, Изд. «Машиностроение», 1965.

Г. Шенкель, Шнековые прессы для пластмасс, Госхимиздат, 1962.

Глава VII

ЛИТЬЕВЫЕ МАШИНЫ

§ 1. ОСОБЕННОСТИ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ, ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Литье под давлением — процесс формования изделий из полимерного материала, который предварительно пластицируется в обогреваемом цилиндре и затем впрыскивается в замкнутую охлаждаемую (для термопластов) или обогреваемую (для реактопластов) форму. В форме материал затвердевает. Температура цилиндра и формы регулируется и изменяется в зависимости от свойств перерабатываемого материала.

В настоящее время литьем под давлением наиболее широко перерабатываются термопласты. Технологические свойства термопластичного материала определяют его поведение на стадии пластикации. К этим свойствам в первую очередь относятся температурный диапазон переработки материала, температурная область размягчения и особенности перехода в вязко-текучее состояние, вязкость расплава и термостабильность полимера при температуре переработки. Температуры переработки зависят от типа перерабатываемого материала, конфигурации и размеров изделия, а также от конструкции машины и ее технологических возможностей. Область температур, в которой материал размягчается, находится в зависимости от свойств материала и прикладываемых усилий; она определяет поведение материала в процессе пластикации и требования в отношении размеров зон червяка по его длине. Термостабильность полимера указывает на возможное время пребывания материала при повышенной температуре без изменения его свойств, т. е. без деструкции.

Переработка пластмасс литьем под давлением состоит из операций подготовки материала и формования. Подготовка материала в литьевой машине заключается в разогреве его до вязко-текучего состояния. Материал может предварительно подсушиваться в бункере.

Основные требования, предъявляемые к операции пластикации, — обеспечение требуемой однородной температуры расплава по всему его объему и минимальное содержание деструктированного материала в подготовленной для формования порции расплава. Выполнение этих требований достигается путем подбора конструкции инжекционной части и режима пластикации.

Процессы пластикации в червячных и поршневых литьевых машинах существенно отличаются. Нагревание материала в поршневых машинах осуществляется главным образом за счет теплопередачи от внешних источников тепла.

Пластикация в червячных машинах осуществляется как в результате теплопередачи от внешних источников тепла (нагревателей цилиндра), так и в результате выделения тепла трения в витке червяка за счет сдвиговых усилий. В червячных конструкциях материал подвергается интенсивному перемешиванию. Это позволяет значительно выравнить температуру в объеме материала, подготовленного для впрыска.

Формование пластмасс производится в вязко-текучем состоянии, в которое материал переходит при повышенной температуре. При этом основное значение имеет выбор температур переработки и времени пребывания при повышенной температуре до разложения или отверждения полимера. При превышении температуры переработки выше определенного предела, характерного для каждого полимера, может произойти его термодеструкция (разложение) или преждевременное отверждение — структурирование (для термореактивного материала). При недостаточной температуре переработки материал обладает большой вязкостью, что затрудняет его течение.

Литьевая машина состоит из инжекционной и прессовой частей, гидравлического или механического привода и электропривода (системы электроуправления).

Инжекционная часть машины обеспечивает пластикацию материала, т. е. разогрев до требуемой температуры, и создание заданного режима приложения давления на всех стадиях цикла формования изделия, а прессовая часть — перемещение формы и ее запирание во время формования изделия. С помощью гидравлического или механического привода достигается перемещение узлов и деталей машины. Электропривод и контрольно-измерительные приборы предназначены для выполнения всех операций цикла в заданных последовательности и режиме.

На современных литьевых машинах можно изготовлять изделия различными способами: литьевым, интрузионным, инжекционно-прессовым.

Литьевой способ заключается в впрыске материала в литьевую форму поступательно перемещающимся поршнем или червяком и выдержке материала под давлением в форме.

Интрузионный способ состоит в заполнении литьевой формы червяком, совершающим только вращательное движение или совместное вращательное и поступательные движения. Выдержка материала в форме под давлением осуществляется под действием осевого усилия, передаваемого червяком.

Инжекционно-прессовый способ заключается в заполнении неполностью сомкнутой формы литьевым или интрузионным способом. Дальнейшее формование материала происходит под действием усилия, создаваемого прессовым механизмом.

Работа литьевой машины с червячным пластикатором (рис. VII.1, *а*) осуществляется следующим образом. Материал из бункера *5* поступает в цилиндр *4*, захватывается вращающимся червяком *6* и транспортируется вдоль цилиндра *4* в его переднюю часть. При этом червяк отходит назад. Далее поступательным движением червяка вперед материал через сопло впрыскивается в замкнутую форму *2*, укрепленную на плитах *1* и *3* прессовой части машины.

В поршневых машинах (рис. VII. 1, *б*) материал из бункера *5* поступает через горловину в цилиндр *4*. Объем нагревательного цилиндра содержит 5—8 отливок. Движением поршня *10* гранулы,

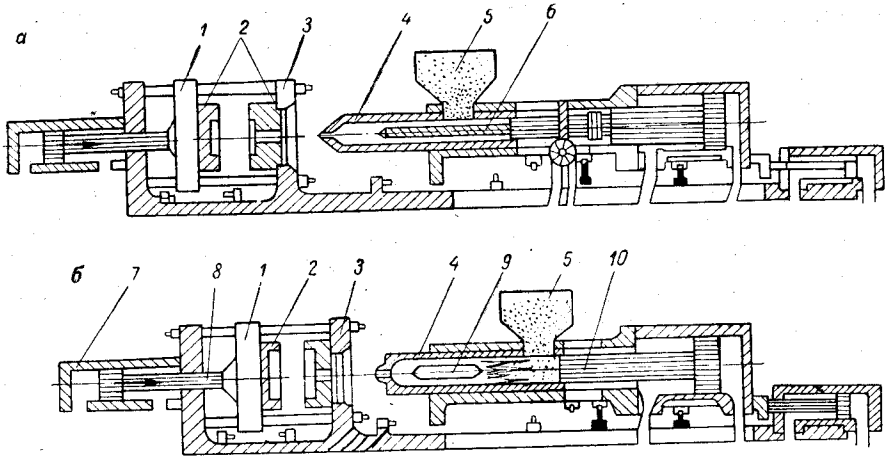


Рис. VII.1. Схемы червячной (*а*) и поршневой (*б*) литьевых машин:

1, *3* — плиты; *2* — форма; *4* — цилиндр; *5* — бункер; *6* — червяк; *7* — гидроцилиндр; *8*, *10* — поршни; *9* — торпеда.

просыпавшиеся в цилиндр, уплотняются и перемещаются в глубь цилиндра. Перемещающиеся уплотненные гранулы выталкивают порцию материала из цилиндра в форму *2*, которая устанавливается на плитах *1* и *3* и запирается поршнем *8* гидроцилиндра *7*. Для лучшего прогревания материала в цилиндре *4* обычно устанавливают торпеду *9*, которая увеличивает общую поверхность теплообмена.

Классификация литьевых машин осуществляется по нескольким признакам:

1) по объему отливки (в $см^3$);

2) в зависимости от принципа действия инжекционного механизма — поршневые, червячно-поршневые, червячные, с предварительной пластикацией и без нее;

3) в зависимости от вида перерабатываемых материалов — для термопластов, реактопластов, эластомеров;

4) по назначению — универсальные и специализированные;

5) по виду привода инжекционных и прессовых частей — механические, гидромеханические, гидравлические и т. д;

6) по взаимному расположению инжекционной и прессовой частей — горизонтальные, вертикальные, угловые, комбинированные;

7) по количеству инжекционных и прессовых частей — одно- и многопозиционные.

Универсальное назначение машины определяется экономическими соображениями, так как срок эксплуатации каждой машины обычно превышает продолжительность изготовления серии изделий. Поэтому при проектировании машины параметры выбираются не для одного конкретного изделия, а для усредненного условного ассортимента изделий данного веса. Стремление к универсальности находит выражение в создании серии машин для литья изделий объемом от нескольких кубических сантиметров до нескольких десятков литров.

§ 2. ИНЖЕКЦИОННЫЕ ЧАСТИ ЛИТЬЕВЫХ МАШИН

Инжекционные части литьевых машин предназначены для пластикации материала до вязко-текучего состояния, впрыскивания его в форму и обеспечения необходимого режима приложения давления. Они могут иметь одно-, двух- или трехцилиндровую конструкцию.

Примером одноцилиндровой конструкции машины, в которой стадии пластикации и инжекции совмещены, является инжекционный цилиндр поршневого типа с торпедой (класс I, конструкция *А-1* в табл. VII.1). Такие машины использовались вначале развития литьевого оборудования и в настоящее время применяются для литья мелких изделий (объемом до 8—10 $см^3$) из легкоперерабатывающихся термопластичных материалов. Соединение двух инжекционных цилиндров поршневого типа, связанных между собой общей головкой, дает возможность применять их при изготовлении двухцветных изделий или в других целях (конструкция *А-2*).

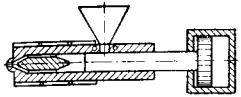
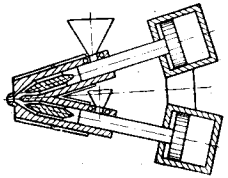
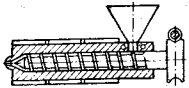
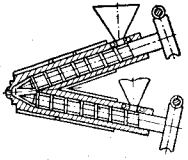
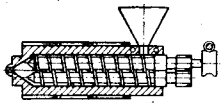
Для изготовления толстостенных изделий на литьевых машинах в качестве инжекционной части может быть применен обычный экструдер, в котором вращательное движение червяка обеспечивает одновременную пластикацию материала и инжекцию его в форму (конструкция *Б-1*). Такие одноцилиндровые конструкции находят применение на многопозиционных машинах.

Соединение двух одночервячных цилиндров (двухцилиндровая конструкция) применяется для изготовления двухцветных толстостенных изделий и для увеличения производительности машины (конструкция *Б-2*). При переработке порошкообразных материалов на литьевых машинах могут использоваться двухчервячные одноцилиндровые конструкции *В-1*).

Развитие литьевого оборудования, связанное с созданием новых полимерных материалов и увеличением веса отливки, нашло

Таблица VII.1

Классификация инжекционных частей литьевых машин

Конструктивно-технологические признаки			Конструктивное оформление рабочего узла		
			одноцилиндровая (*1*)	двухцилиндровая (*2*)	трехцилиндровая (*3*)
Класс I	Пластикация и инжекция совмещены	Поршневая (*А*)			—
		Одночервячная (*Б*)			—
		Двухчервячная (*В*)		—	—

Пластикация и инжекция разделены

Поршневая (*Г*)				
Одночервячная	С осевым перемещением червяка (*Д*)			—
	Без осевого перемещения червяка (*Е*)			
Двухчервячная	С осевым перемещением червяка (*Ж*)			—
	Без осевого перемещения червяка (*З*)	—		

отражение в применении машин с предварительной пластикацией материала (класс II в табл. VII.1).

Сначала были созданы узлы поршневого типа с двумя поршнями (одноцилиндровая конструкция *Г-1*). В этой конструкции каждый поршень выполнял отдельные операции: пластикацию и инжекцию. Затем появились машины двухцилиндровой конструкции (*Г-2*), в которых пластикация материала происходит в одном цилиндре (пластикационном), а инжекция его в форму — из другого цилиндра (инжекционного). Трехцилиндровые конструкции имеют промежуточный цилиндр (копильник, или аккумулятор), позволяющий постепенно накапливать определенную порцию расплавленного материала и выдерживать ее при заданных температурных условиях (конструкция *Г-3*).

Наилучшие условия пластикации материала обеспечиваются в одноцилиндровых конструкциях *Д-1* с червячной пластикацией, в которых червяк совершает вращательное (при пластикации) и поступательное (при инжекции) движения. Такие конструкции наиболее компактны, технологичны и обеспечивают возможность регулирования основных параметров процесса литья в широких пределах.

Модернизация поршневых машин заключается в применении червячной двухцилиндровой конструкции. В таких конструкциях червяк в пластикационном цилиндре может совершать не только вращательное движение, обеспечивающее пластикацию материала и подачу его в инжекционный цилиндр (конструкция *Е-2*), но и совершать поступательное движение для подачи предварительно пластицированной порции материала в инжекционный цилиндр (конструкции *Д-2*).

Одноцилиндровые конструкции с полым червяком (*Е-1*), двухчервячные (*Ж-1*), двухцилиндровые конструкции с двумя червяками (*Ж-2* и *З-2*), а также трехцилиндровые конструкции с одним (*Е-3*) или двумя червяками (*З-3*) появлялись на отдельных этапах развития машин с предварительной пластикацией, но широкого распространения не получили.

Из всего многообразия приведенных конструкций инжекционных частей в результате многолетней производственной проверки наибольшее применение получила одноцилиндровая конструкция с червячной пластикацией (*Д-1*). Другие конструкции используются реже.

Рассмотрим подробнее поведение перерабатываемого материала в литьевых машинах поршневого и червячного типов.

В инжекционном цилиндре поршневой конструкции можно условно выделить зону, в которой материал находится в виде спрессованных гранул, переходную зону и зону расплавленного материала. Величина этих зон зависит от режимов литья, свойств перерабатываемого материала, его гранулометрического состава и т. д.

Материал размягчается вначале у стенки цилиндра, образуя слой, внутри которого перемещаются спрессованные гранулы. Слой расплавленного материала увеличивается по толщине по мере движения от зоны гранул к зоне вязко-текучего состояния до тех пор,

пока гранулы в центре потока полностью не расплавятся. В тонком зазоре между торпедой и стенкой цилиндра материал интенсивно плавится и нагревается до необходимой температуры. В передней части цилиндра материал оказывается полностью расплавленным, и его температура стабилизируется до заданной.

В цилиндрах поршневой конструкции вследствие трения материала имеют место большие потери давления. В результате этого давление, передаваемое поршнем на впрыскиваемый в форму материал, снижается. Потери давления возникают за счет сопротивления, оказываемого внутренней частью цилиндра и, особенно, торпедой. В некоторых случаях до 50% прикладываемого усилия затрачивается на трение в инжекционном цилиндре и не передается расплаву. Потери давления на трение могут быть уменьшены введением в материал смазочных добавок.

На потери давления в цилиндре преобладающее влияние оказывает зона спрессованных гранул. Потери в этой зоне составляют до 80% от общих потерь. Кроме того, на передаваемое в форму давление влияют конфигурация и размеры цилиндра. Увеличение длины цилиндра и уменьшение толщины кольцевого сечения между внутренней стенкой цилиндра и торпедой приводят к повышению потерь давления.

С возрастанием времени цикла передаваемое давление увеличивается, так как материал разогревается лучше, длина «холодной пробки» гранул уменьшается, а вместе с этим потери давления по длине цилиндра снижаются. Увеличение температуры материала также способствуют уменьшению потерь давления в цилиндре. Обогреваемая торпеда обеспечивает лучшие условия передачи давления, так как в этом случае снижается сопротивление гранул.

Геометрические параметры цилиндра влияют на его пластикационную производительность, которая повышается с увеличением длины и диаметра цилиндра и с уменьшением толщины кольцевого сечения между внутренней стенкой цилиндра и торпедой. При разработке конструкций инжекционных цилиндров с торпедой трудно совместить высокую пластикационную производительность с малыми потерями давления. Поэтому поршневые литьевые машины были заменены червячными машинами с предварительной пластикацией материала.

В инжекционном цилиндре червячной конструкции можно условно выделить три зоны. В первой из них гранулированный материал находится в твердом состоянии, во второй зоне (переходной) наряду с твердыми нерасплавленными частицами имеется расплавленный материал, в третьей зоне материал полностью расплавлен до вязко-текучего состояния. В соответствии с этим в общем случае червяк имеет зоны загрузки, пластикации (уплотнения) и дозирования.

В зоне загрузки гранулированный материал захватывается витками червяка, перемешивается в результате смещения слоев и, прогреваясь, транспортируется вперед. В зависимости от размеров

гранул и высоты витка червяка меняется степень заполнения межвиткового пространства в этой зоне.

В зоне пластикации материал продвигается по цилиндру, размягчается и уплотняется. Степень заполнения межвиткового пространства в этой зоне больше, чем в первой.

При движении материала вдоль червяка нерасплавившиеся частицы материала смешиваются с расплавившимися и вовлекаются в винтовое движение. Прежде всего расплавляется материал вблизи толкающей кромки винтовой нарезки червяка. Остальная часть канала остается заполненной гранулированным материалом. В следующих витках червяка зона расплавленного материала по сечению канала увеличивается.

Размягчение материала сопровождается его уплотнением в межвитковом пространстве. Конструкция червяка предусматривает уплотнение (сжатие) материала на определенном участке червяка. Степень сжатия определяется как отношение межвиткового объема одного витка червяка в зоне загрузки к объему витка в зоне дозирования. Сжатие материала достигается за счет изменения глубины канала или изменения шага червяка.

Параметры червяка и степень сжатия материала устанавливаются в зависимости от свойств перерабатываемого материала. В передней части червяка материал находится в расплавленном состоянии и полностью заполняет все межвитковое пространство. При правильном режиме пластикации твердые гранулы до этой зоны не доходят.

В зоне дозирования материал дополнительно разогревается в результате сдвиговых усилий и достигает заданной температуры*.

Таким образом, геометрией червяка учитываются форма и размер гранул, особенности перехода материала из твердого в вязкотекучее состояние и термостабильность материалов. Например, для кристаллических полимеров, расплавленных в узкой температурной области, первая зона должна иметь бóльшую длину, чем в случае аморфных материалов, переходящих в расплав постепенно.

Загрузка порции материала сопровождается отходом червяка от сопла. Относительное положение зон червяка и зон обогрева цилиндра изменяется. Рабочая длина червяка при этом уменьшается на величину хода. Обычно ход червяка $H = (1{,}5 \div 3)D$, где D — диаметр червяка.

Величина хода червяка при его смещении влияет на изменение температуры дозы материала по длине цилиндра. Длинные червяки менее чувствительны к изменению рабочей длины при пластикации. Отношение межвиткового объема червяка к расчетному объему отливки для материалов с высокой термостабильностью выше, чем в случае материалов с малой термостабильностью.

Технологические режимы пластикации назначаются в зависимости от физико-механических свойств полимера, продолжительности

---

* Подробнее о поведении материала в цилиндре с червяком см. гл. VI.

цикла изготовления изделия, конструктивных особенностей машины, а также от конструкции и размеров червяка. При этом для каждого конкретного случая определяются: температура инжекционного цилиндра по зонам обогрева, давление пластикации (т. е. приходящееся на единицу поверхности усилие, прикладываемое к червяку со стороны гидроцилиндра при вращении червяка), а также скорость вращения червяка. Правильное сочетание конструкции червяка с режимом пластикации оказывают непосредственное влияние на качество подготовленного для впрыска материала (его температуру и однородность температуры и вязкости по объему порции), на производительность инжекционного узла и на потребляемую при пластикации мощность.

Применение специализированных червяков (для определенных групп материалов) позволяет упростить подбор технологического режима пластикации. При этом требования к машине не выходят за пределы ее возможностей по мощности, температуре и скоростным показателям.

Сопоставление технологических свойств и характера поведения полимеров при пластикации позволяет выделить три группы инжекционных частей, которые должны иметь отличия в оформлении червяка, его наконечника, инжекционного цилиндра и сопла. Каждой группе инжекционных частей соответствует червяк с определенным профилем.

Червяки инжекционных частей первой группы (I) применяются для аморфных и кристаллических материалов с относительно высокой термостабильностью (полистирол и его сополимеры, полиэтилен и т. д.); второй группы (II) — для материалов с высоким содержанием кристаллической фазы, отличающихся высокой жесткостью и резким изменением вязкости в области пластического состояния; третьей группы (III) — для материалов с низкой термостабильностью и материалов, чувствительных к сдвиговым напряжениям (полиформальдегид, жесткий поливинилхлорид и т. д.), а также для термореактивных материалов (табл. VII.2).

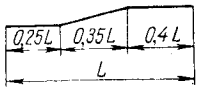
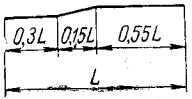
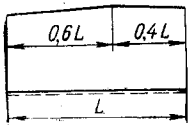
Зоны загрузки, уплотнения и дозирования имеются в червяках первой и второй групп. Червяки третьей группы выполняются с одной или двумя зонами: загрузки и уплотнения или только уплотнения.

Зоны червяков для разных групп отличаются размерами. Отношение длины каждой зоны к общей длине червяка, а также отношение длины червяка к его диаметру и величина степени сжатия для каждой из групп указаны в табл. VII.2.

Червяки третьей группы имеют каналы во внутренней полости для подвода охлаждающего агента (воды или воздуха). Охлаждение червяка позволяет быстро снижать температуру расплава в случае нарушения температурного режима переработки, вызывающего перегрев и разложение материала. В некоторых случаях во внутреннюю полость червяка можно подавать нагретый жидкий агент для создания лучших условий прогревания материала в цилиндре.

Таблица VII.2

Конструктивные особенности инжекционных частей

Группы инжекционных частей	Червяки			Наконечник червяка	Сопло
	схема соотношения длин зон	L/D	степень сжатия		
I		11—15	2,5—3	С клапаном и без клапана (торпедной конструкции)	Открытое, самозапирающейся конструкции со скользящим штоком и игольчатым клапаном
II		13—16 (до 18)	2—2,5	С клапаном	Самозапирающейся конструкции с игольчатым клапаном
III		15—18 (для термопластов)	1,5—2 (для термопластов)	Конический с углом 20—30°	Открытое
		12—16 (для реактопластов)	0,8—1 (для реактопластов)	Конический с углом 40—60°	

Наконечники червяков также имеют различную конструкцию (табл. VII.3). Для материалов с невысокой вязкостью применяют следующие наконечники: 1) цилиндрические с коническим хвостовиком или обратным клапаном (конструкция *I.2, а* в табл. VII.3), предназначенным для предотвращения утечки материала во время впрыска; 2) гладкие, торпедной конструкции (*I.2, б*). Обратный клапан может быть выполнен в виде шарика, гладкой втулки (*I.2, а*; вариант *1*) или втулки со сквозными отверстиями, расположенными по радиусу (*I.2, а*, вариант *2*).

В наконечнике с обратным клапаном при вращении червяка материал проходит через кольцевой канал и попадает в переднюю часть цилиндра. При поступательном движении червяка вперед во время впрыска шарик или кольцо перемещается назад и закрывает проходное отверстие. Уплотнение деталей происходит по притертым плоскостям. Наконечники червяков с клапанами обеспечивают более стабильный объем порций расплавленного материала, поэтому применяются чаще, чем наконечники торпедной конструкции.

Для материалов с низкой вязкостью червяк снабжают наконечником с клапаном кольцевого типа (*II.2, а*), так как при этом опасность образования застойных зон материала в каналах клапана сводится к минимуму.

Для материалов с высокой вязкостью используют наконечник червяка без клапана. Для уменьшения застойных зон применяют наконечники простой геометрической формы, чаще всего гладкий конический наконечник (*III.2,а*). Такая конструкция позволяет обеспечить оптимальные условия переработки и не способствует накоплению материала от предшествующего цикла. Угол конической части наконечника червяка для термопластов не превышает 20—30° (*III.2, в*), а для реактопластов достигает 40—60° (*III.2, г*).

В некоторых случаях (при работе машин в режимах интрузии) наконечник червяка выполняется коническим со спиральной нарезкой (*III.2, б*), обеспечивающей дополнительный разогрев материала непосредственно перед поступлением его в форму. Конический наконечник с острыми кромками (ножами) обеспечивает очистку стенок передней части цилиндра от расплава и снижает возможность образования зон застаивания материала на стенках сопла (*III.2, в*).

Инжекционные сопла и цилиндры, конструкции которых показаны в табл. VII.3, должны предотвращать деструкцию материала в застойных зонах. Инжекционный цилиндр выполняется гладким, без втулок. Внутренняя полость передней части цилиндра имеет обтекаемую форму без резких переходов и углов. Она должна соответствовать конфигурации наконечника червяка.

Необходимо, чтобы конструкция передней части инжекционного цилиндра при переработке реактопластов обеспечивала свободный доступ к передним виткам червяка с целью очистки его при преждевременном отверждении массы (*III.1, г*).

При переработке материалов с низкой вязкостью применяют сопла открытого типа (*I.3*, *а*) и самозапирающиеся сопла со скользящим штоком, которые открываются при соприкосновении с формой (*I.3*, *б* и *в*). В открытых соплах выходной канал выполняется коническим, что исключает образование пробок из остывшего материала. Открытые сопла снижают потери давления при впрыске, а также способствуют меньшей деструкции материала. Они могут применяться при переработке вязких материалов или при работе с соплом, прижатым к форме во время литья.

Для литья тонкостенных изделий обычно используют самозапирающиеся сопла игольчатого типа (*II.3*, *б*), в которых впрыск материала в форму происходит только после создания определенного давления. Для материалов с высокой вязкостью применяются сопла открытого типа (*III.3*), допускающие свободное течение расплава. Внутренняя полость сопла имеет коническую форму и является продолжением внутренней поверхности передней части цилиндра.

Для создания необходимых условий нагревания материала по длине червяка в случае внешних источников тепла инжекционный цилиндр должен иметь не менее 3—4 зон обогрева, а сопло — самостоятельный регулируемый обогрев. Системы обогрева цилиндра и сопла должны обеспечивать возможность поддержания температурного режима в заданных пределах. Материалы с узкой температурной областью переработки вызывают необходимость тщательного контроля температуры по зонам обогрева инжекционного цилиндра, включая самостоятельный обогрев сопла. Температуру цилиндра и сопла регулируют с точностью, обеспечивающей колебание температуры материала в пределах $\pm(1 \div 2)$ *град*.

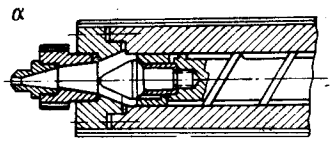
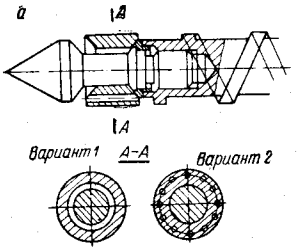
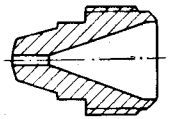
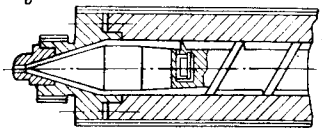
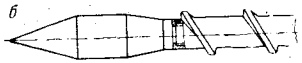
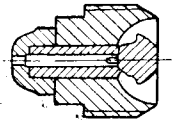
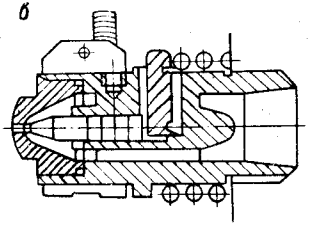
Для предупреждения перегрева материала с низкой термостабильностью целесообразно контролировать его температуру термопарой, введенной во внутреннюю полость сопла. Для сокращения времени пребывания в цилиндре материала с низкой термостабильностью пластикация новой порции расплава должна заканчиваться непосредственно перед началом нового цикла. С этой целью в машине применяют реле времени, определяющее момент начала пластикации. При переработке материалов с низкой вязкостью, когда возникает опасность вытекания материала из сопла в период между циклами литья, следует по окончании пластикации полностью снимать давление в гидроцилиндре впрыска. Для создания оптимальных условий пластикации при переработке различных материалов необходимо в конструкциях червячного пластикатора плавно регулировать скорость вращения червяка и давление пластикации.

В экструзионных машинах (см. гл. VI) размеры червяка рассчитываются только по пластикационной производительности. В литьевых машинах к условиям обеспечения необходимой пластикационной производительности добавляются требования обеспечения выдавливания определенной порции материала за один ход червяка.

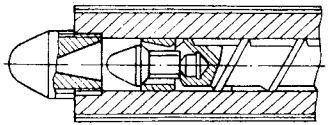
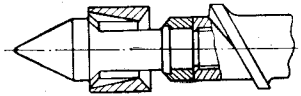
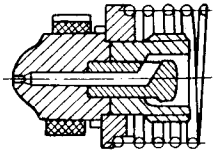
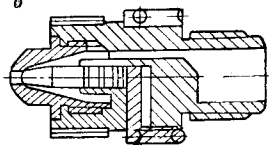
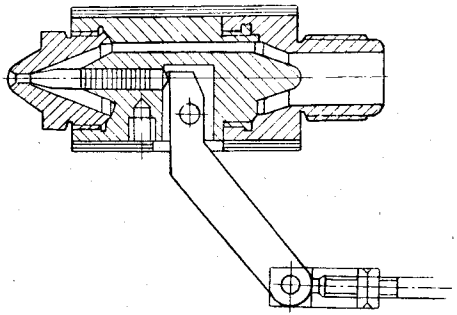
Объем материала, выдавливаемого за один ход червяка, зависит от диаметра червяка. Усилие впрыска обеспечивается соблюдением

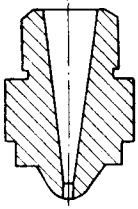
Таблица VII.3

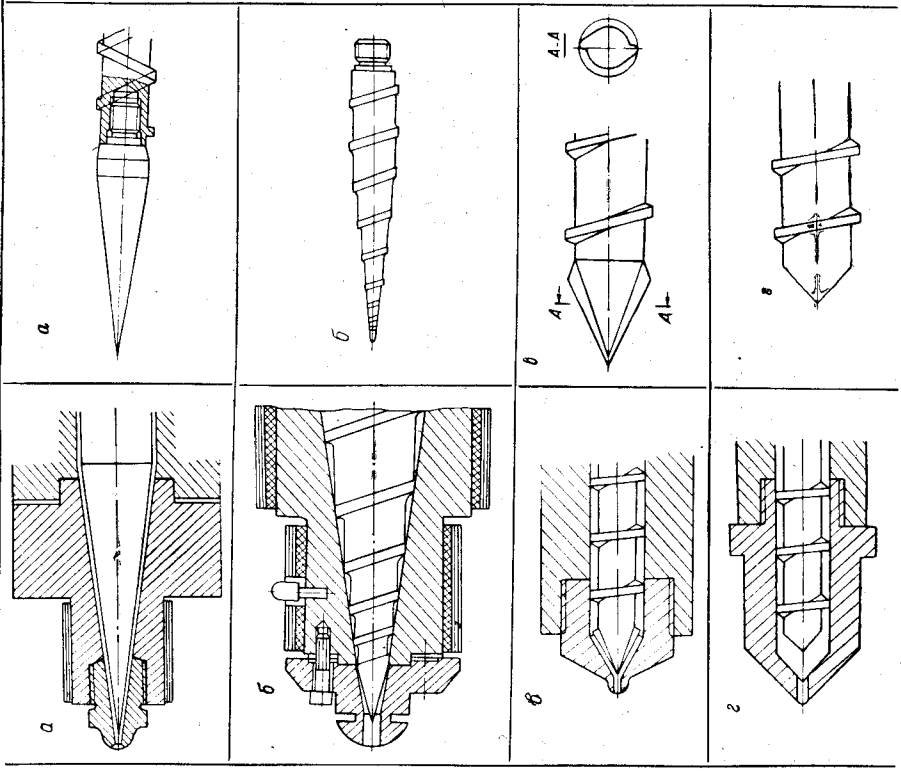
Конструкция наконечников червяков и сопел для различных групп инжекционных частей

Группы инжекционных частей	Конструкция передней части инжекционного цилиндра (1)	Конструкция наконечника червяка (2)	Конструкция сопла (3)
I	а 	а 	а 
	б 	б 	д 
			б 

Продолжение табл. VII.3

Группы инжекционных частей	Конструкция передней части инжекционного цилиндра (1)	Конструкция наконечника червяка (2)	Конструкция сопла (3)
II			а 
			б 
			в 





III

определенного размерного соотношения между диаметром плунжера в гидравлическом цилиндре привода и диаметром червяка при выбранном давлении в гидросистеме впрыска. Время пластикации определяется производительностью червячного пластикатора и зависит от диаметра червяка и его геометрических размеров (длины, глубины канала, шага и т. д.), а также от технологических параметров процесса литья (температуры материала, скорости вращения червяка, давления пластикации), которые в свою очередь связаны с геометрией червяка. Величина и диапазон регулируемого давления пластикации накладывают требования на конструкцию и параметры гидропривода червячного пластикатора.

Основной размер червячного пластикатора — диаметр червяка. Для литьевых машин он должен рассчитываться из условий обеспечения объема отливки, пластикационной производительности, давления литья и определенной геометрии червяка. Кроме того, при расчете диаметров червяков для серийных литьевых машин добавляется еще одно условие — соотношение между диаметрами червяков различных по типоразмерам машин.

В литьевых машинах применяются различные механизмы для обеспечения поступательного движения червяка или поршня (табл. VII.4). Привод червяка является силовым механизмом, во многом определяющим энергоемкость машины, так как он должен обеспечить высокую скорость перемещения червяка при больших давлениях впрыска.

В простых конструкциях перемещение поршня во время впрыска (H) и дожатия (h) производится одним механизмом гидравлического, рычажного или винтового типа. Скорость перемещения червяка во время впрыска (на ходе H) и дожатия (на ходе h) различна. В простых гидравлических конструкциях изменение скорости достигается за счет изменения расхода жидкости.

В сблокированных конструкциях впрыск производится механическим устройством. При этом достигается высокая скорость перемещения на ходе H, после чего дальнейшего перемещения механизма не происходит. Перемещение на ходе h при дожатии производится гидропневматическим, пружинным или гидравлическим компенсатором (аккумулятором).

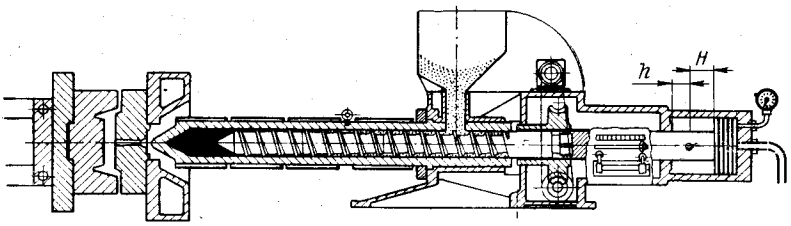
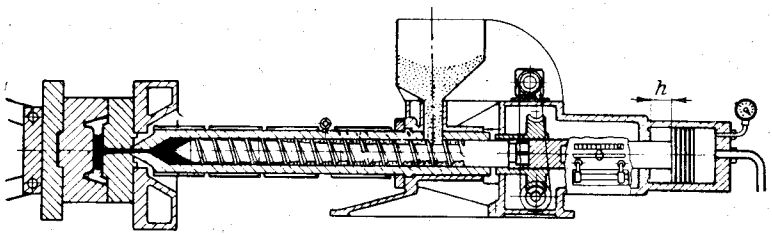
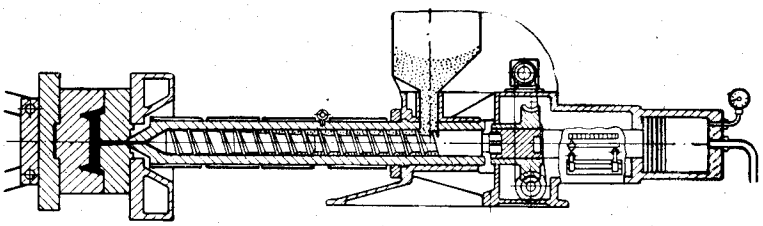
Основными параметрами инжекционной части литьевой машины являются: объем отливки, давление впрыска, скорость или время впрыска, пластикационная производительность.

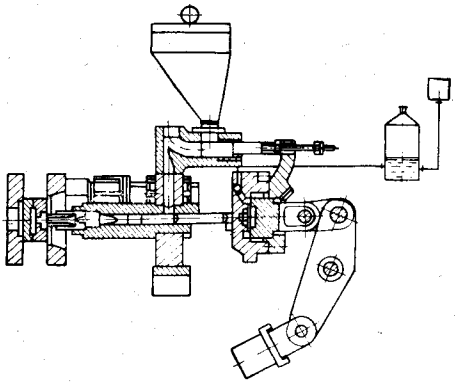
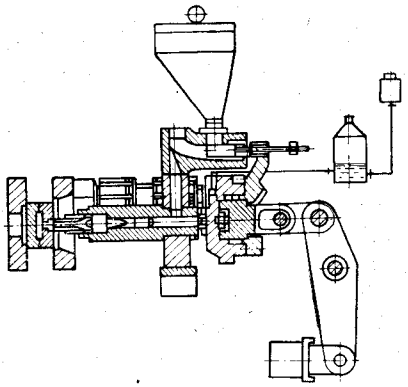
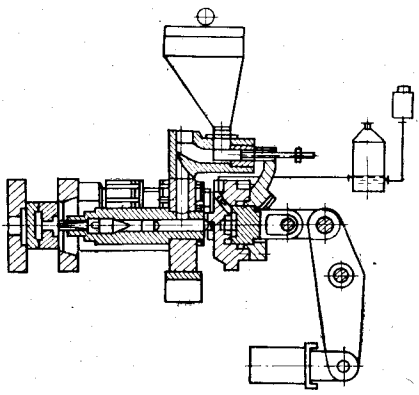
Объем отливки определяется потребностью в производстве соответствующих деталей. В настоящее время выпускаются литьевые машины с объемом отливки от 2 до 30 000 $см^3$. Отечественные литьевые машины имеют следующие номинальные объемы отливок: 8; 16; 32; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 и 8000 $см^3$. Первые восемь типов машин выпускаются серийно, последние три типа — по специальным заказам.

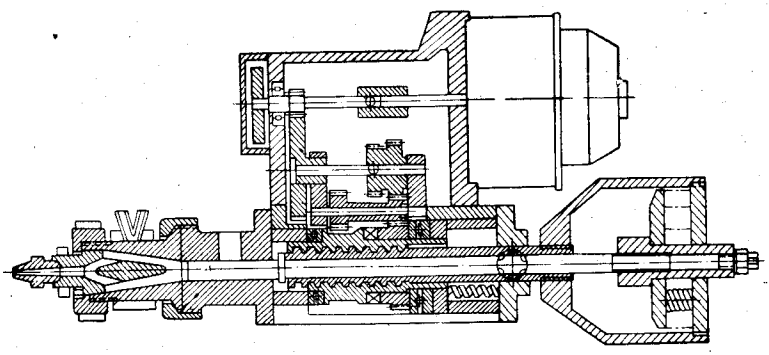
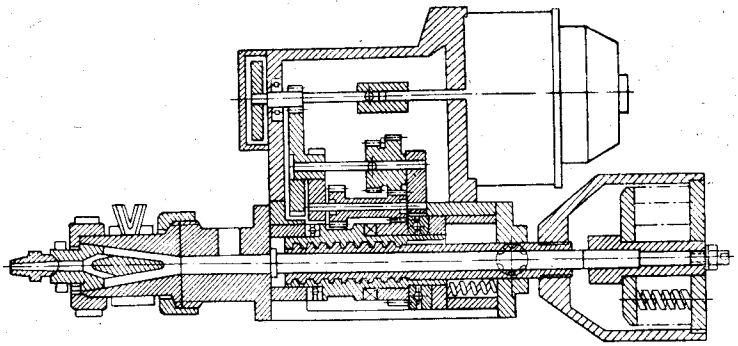
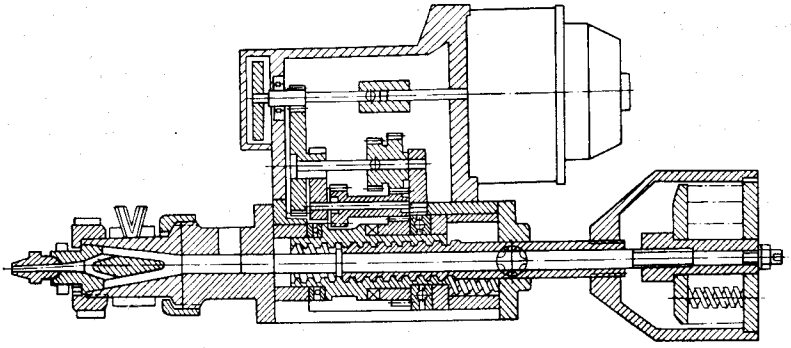
Время впрыска характеризует объемную скорость впрыска. При недостаточной скорости впрыска заполняющий форму материал

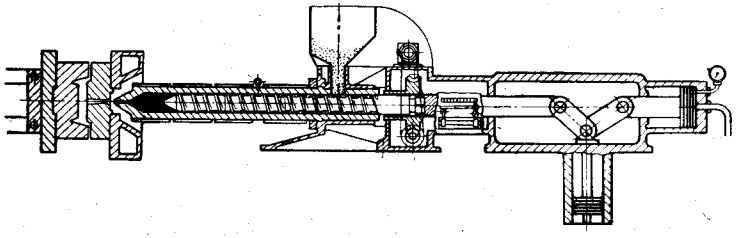
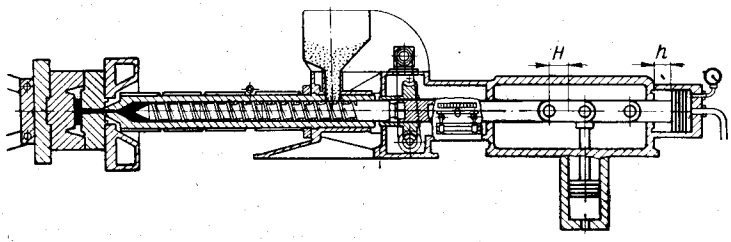
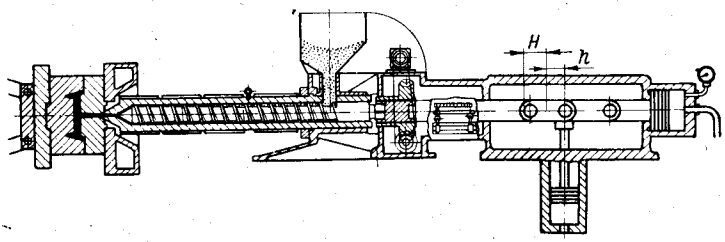
Таблица VII.4

Классификация механизмов привода поршней и червяков инжекционных частей

Позиция механизмов в цикле	Простые механизмы (перемещение червяка или поршня для впрыска материала в форму H и дожатия h осуществляется одним механизмом)
Исходная	
Впрыск окончен	
Дожатие окончено	

Позиция механизмов в цикле	Сблокированные механизмы (перемещение поршня для впрыска материала в форму производится механически, перемещение поршня для дожатия материала осуществляется гидропневматическими механизмами)
Исходная	
Впрыск окончен	
Дожатие окончено	

Позиция механизмов в цикле	Сблокированные механизмы (перемещение поршня для впрыска материала в форму производится механически, перемещение поршня для дожатия материала осуществляется пружинными механизмами)
Исходная	
Впрыск окончен	
Дожатие окончено	

Позиция механизмов в цикле	Сблокированные механизмы (перемещение поршня для впрыска материала в форму производится механически, перемещение поршня для дожатия материала осуществляется гидравлическими механизмами)
Исходная	
Впрыск окончен	
Дожатие окончено	

может преждевременно охлаждаться и затвердевать, а при чрезмерной скорости происходит механическая и тепловая деструкция полимерного материала. Высокие скорости впрыска вызывают большие сдвиговые напряжения и требуют больших давлений. При медленном движении материала по холодной (для термопластов) и нагретой (для реактопластов) форме увеличивается вязкость материала, что приводит к увеличению необходимого давления литья.

Для отливки изделий объемом >1000 *см*^{3} время впрыска не должно превышать 1—3 *сек*. При отливке тонкостенных деталей (толщиной 0,2—0,8 *мм*) используются машины, имеющие время впрыска 0,3—0,5 *сек*.

Давление впрыска влияет на качество детали, ее физико-механические свойства и в каждом конкретном случае определяется в зависимости от конструкции формы, свойств материала и температуры переработки. Высокие значения впрыска требуются при получении тонкостенных изделий из материалов с большой вязкостью. Вместе с тем давление впрыска, необходимое для формования изделий хорошего качества, в большинстве случаев невелико. Для многих материалов оно не превышает 25—50 *Мн/м*^{2}. На современных машинах его величина может устанавливаться в пределах от 60 до 180 *Мн/м*^{2}.

Помимо основного инжекционного цилиндра, обеспечивающего номинальный объем отливки, литьевая машина обычно комплектуется 2—4 дополнительными цилиндрами с различными внутренними диаметрами. Это позволяет, имея один привод инжекционной части, обеспечивать различное давление впрыска. Замена цилиндров вызывает и соответственное изменение объема отливки. При использовании различных цилиндров достигаются необходимые условия для формования изделий из различных материалов.

Пластикационная производительность — это количество пластицированного материала, которое может подготовить инжекционная часть машины за 1 *ч*. Для каждого типоразмера машины она должна подсчитываться с учетом подготовки необходимого количества материала за время пластикации $\tau_{пл}$:

$$Q = \frac{3{,}6 \cdot 10^{-3} V \rho}{\tau_{пл}} \qquad \text{(VII.1)}$$

где Q — пластикационная производительность, *кг/ч*; V — объем отливки, *см*^{3}; ρ — плотность перерабатываемого материала, *г/см*^{3}; $\tau_{пл}$ — время пластикации, *сек*.

Пластикация материала обычно происходит во время охлаждения материала в форме ($\tau_{охл}$) после выдержки под давлением ($\tau_{выд}$) и может осуществляться во время смыкания ($\tau_{см}$) и размыкания ($\tau_р$) формы:

$$\tau_{пл} = \tau_{охл} + \tau_{см} + \tau_р \qquad \text{(VII.2)}$$

Время пластикации может быть выражено через технологическое время цикла $\tau_т$:

$$\tau_т = \tau_{выд} + \tau_{охл} \qquad \text{(VII.3)}$$

Обозначим

$$K_1 = \frac{\tau_{выд}}{\tau_т}; \quad K_2 = \frac{\tau_{см} + \tau_р}{\tau_т}$$

Тогда выражение (VII.1) запишется в виде:

$$\tau_{пл} = (1 - K_1)\,\tau_т + K_2\tau_т = (1 - K_1 + K_2)\,\tau_т \qquad \text{(VII.4)}$$

Продолжительность технологического времени зависит от теплофизических свойств материала, толщины изделия и режима переработки. Поэтому производительность машины является величиной переменной. Расчет пластикационной производительности Q (в *кг/ч*) с учетом технологического времени цикла $\tau_т$ производится по формуле:

$$Q = 3{,}6 \cdot 10^{-3} \frac{V\rho}{\tau_т (1 - K_1 + K_2)} \qquad \text{(VII.5)}$$

§ 3. ПРЕССОВЫЕ ЧАСТИ ЛИТЬЕВЫХ МАШИН

Прессовая часть литьевой машины предназначена для смыкания и размыкания литьевой формы и создания усилия, необходимого для удержания формы в замкнутом состоянии при впрыске и формовании материала.

По назначению прессовые части можно подразделить на универсальные и специальные. Универсальные конструкции предназначены для установки различных литьевых форм. Специальные конструкции создаются для машин, на которых изготавливаются определенные изделия. По направлению движения формовочных плит прессовые механизмы подразделяются на горизонтальные (в большинстве случаев) и вертикальные.

В случае литья изделий с крупногабаритной арматурой обслуживание машины облегчается при использовании форм с горизонтальным разъемом, т. е. вертикальным расположением прессовой части. Иногда для изготовления изделий применяют литьевые машины, у которых прессовая и инжекционная части расположены на отдельных станинах, что позволяет располагать их под углом 90° друг к другу.

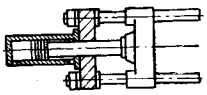
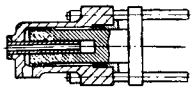
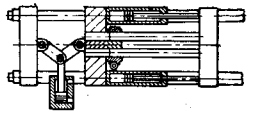
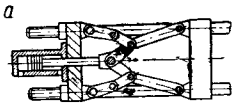
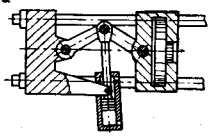
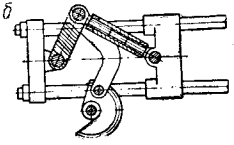
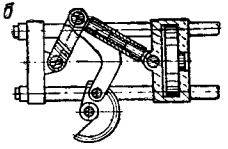
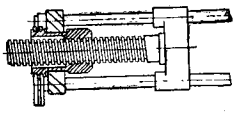
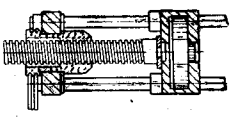
Усилия запирания форм и другие параметры определяются технологическим режимом литья, размером и конфигурацией изделий.

Конструкция механизма запирания оказывает существенное влияние на технико-экономические показатели машины и трудоемкость ее изготовления. Вес прессовой части составляет более 50% веса машины.

На практике применяется большое количество разнообразных конструкций механизмов запирания, которые можно подразделить на две группы: простые и сблокированные (табл. VII.5). В простых конструкциях механизмы перемещения и запирания совмещены, т. е. смыкание формы и создание усилия запирания производится одним механизмом (I группа). В сблокированных конструкциях перемещение подвижной плиты происходит под действием одного

Таблица VII.5

Классификация прессовых частей литьевых машин

Номер п/п	Механизмы перемещения	Механизмы запирания формы		
		простые (I группа)	сблокированные (II группа)	
			гидравлические (*А*)	рычажные (*Б*)
1	Гидравлические (или пневматические)			
2	Рычажные: гидромеханические (или пневматические)	*а* 	*а* 	—
	электромеханические	*б* 	*б* 	—
3	Электромеханические			—

механизма, а усилие запирания создается другим механизмом (II группа). Сблокированные конструкции разделяются на гидравлические (*А*) и рычажные (*Б*).

Механизмы перемещения могут подразделяться на гидравлические (или пневматические), рычажные и электромеханические. В простых гидравлических конструкциях (*I.1* в табл. VII.5) перемещение плиты и создание усилия запирания обеспечиваются одним гидравлическим механизмом. В простых гидромеханических (*I.2*, *а*) и электромеханических (*I.2*, *б*) конструкциях те же функции выполняются соответственно гидро- или электромеханическими механизмами.

Электромеханический привод механизма запирания осуществляется от электродвигателя через механическую передачу (конструкция *I.3*). В сблокированных гидравлических конструкциях перемещение плиты может происходить под действием гидроцилиндра (конструкция *II.А.1*), под действием гидроцилиндра через рычажную систему (*II.А.2*, *а*), от электродвигателя через рычажную (*II.А.2*, *б*) или механическую (*II.А.3*) систему.

В сблокированной рычажно-гидравлической конструкции (*II.Б.1*) перемещение плиты происходит под действием гидроцилиндров, а запирание формы обеспечивается гидравлическим механизмом.

Основные параметры прессовой части литьевой машины — площадь литья, усилие запирания, ход подвижной плиты, максимальное расстояние между плитами, наибольшая и наименьшая высоты устанавливаемых форм.

Площадь литья определяется ассортиментом деталей данного веса. Этот параметр оказывает влияние на усилие, необходимое для запирания форм, и на габариты плит.

Усилие запирания определяет конструкцию прессовой части машины (механическую, гидромеханическую или гидравлическую). На величине усилия, необходимого для запирания формы, отражаются технологические режимы литья, свойства перерабатываемого материала, конструкция формы и многие другие факторы процесса литья. Машина с небольшим усилием запирания формы требует при разработке технологического режима литья особенно тщательного анализа процесса формования, а также хорошо отработанной технологической оснастки (литьевой формы, инжекционного сопла и т. д.).

Усилие, необходимое для запирания формы $P_{зап}$, определяется распределением давлений в форме, и приближенно может подсчитываться по формуле:

$$P_{зап} = P_0 S k \qquad \text{(VII.6)}$$

Здесь P_0 — давление на входе в форму (давление формования); S — площадь литья; k — коэффициент, определяемый из зависимости

$$k = \int_0^R f(r)\, dr \qquad \text{(VII.7)}$$

где $f(r)$ — функция, описывающая перепад давления по длине формы; R — радиус детали; r — текущий радиус.

Исследования процесса формования термо- и реактопластов показали, что прочностные свойства изделий из многих материалов имеют хорошие показатели при давлениях формования до 50 $Мн/м^2$.

Расчет усилий запирания проводят на средние давления в форме в пределах 25—35 $Мн/м^2$. Создание указанных средних давлений осуществляют путем уменьшения давления в форме (сброс давления) в момент ее заполнения или еще до полного заполнения. Если давление в форме не уменьшают, то после заполнения формы в ней развиваются высокие давления, которые создают большие распорные усилия, превышающие усилия запирания машины. В этом случае форма может раскрыться.

Ход подвижной плиты для каждого типоразмера машины определяется так же, как и площадь литья, ассортиментом изделий.

Наибольшее расстояние между плитами связано с ходом подвижной плиты. Максимальная высота формы, устанавливаемая на машине, определяет глубину (высоту) изделия. Для съема глубокого изделия требуется определенный ход, зависящий от конфигурации изделия. Наибольшее расстояние между плитами и ход плиты определяют максимальную высоту изделия, которая может быть получена на данной машине.

Размер формы определяется расстоянием между плитами и возможностями его регулирования. Изготовление различных по высоте изделий на одной машине требует изменения размера формы по высоте. Правильно установленная на машине величина регулировки расстояния между плитами сокращает вес формы, облегчает ее эксплуатацию и повышает надежность в работе, так как исключает необходимость применения специальных прокладок, которые могут вызвать перекосы деталей формы и, следовательно, разнотолщинность отливаемой детали.

Если при расчете задаются наибольшим расстоянием между плитами, рассчитывается ход плиты. Поскольку эти параметры взаимосвязаны, при расчете можно задаваться также ходом подвижной плиты. В этом случае рассчитывается наибольшее расстояние между плитами. Регулировка расстояния между плитами обычно составляет 0,3—0,5 от наибольшего расстояния между плитами.

Размеры плит прессовой части литьевой машины определяются числом колонн и их расположением, диаметром колонн и расстоянием между ними, конструкцией крепежных приспособлений и величиной центрирующих отверстий.

В некоторых случаях параметры прессовой части универсальной литьевой машины не могут полностью удовлетворить конкретным условиям переработки. Например, при изготовлении тонкостенных линз, шкафов для холодильников требуются большие площади литья и значительные усилия запирания, а объем отливки при этом остается небольшим.

Наиболее простым и быстрым способом удовлетворения производственных задач является создание типового ряда прессовых частей и компоновка из них требуемого типоразмера машин, т. е. применение принципа агрегатирования. При этом машины проектируют с таким расчетом, чтобы для нескольких типоразмеров инжекционных частей имелось несколько типоразмеров прессовых частей, взаимное сочетание которых позволяет создать большой набор вариантов литьевых машин.

§ 4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ЛИТЬЕВЫХ МАШИН

Работа литьевой машины в режимах инжекции

Термопласты при литье под давлением попадают в холодную форму. Охлаждение и связанная с этим усадка материала, а также поступление новых порций материала из инжекционного цилиндра определяют характер изменения давления в литьевой форме в период формования изделий. После охлаждения материала в литнике поступление новых порций материала из цилиндра в форму прекращается, и давление в форме падает. Если давление впрыска снимается до того, как литник полностью застынет, то снижение давления в форме ускоряется из-за частичного вытекания материала из формы. После охлаждения и затвердевания изделия форма раскрывается и готовое изделие извлекается.

Литьевые формы для термопластов обычно охлаждаются водой.

Реактопласты, наоборот, формуются в обогреваемой форме при температуре 160—210° С. Поступающий из инжекционного цилиндра в форму материал дополнительно нагревается, проходя через литник и полость обогреваемой формы. Характер изменения давления в форме определяется процессами нагревания и отверждения материала, а также поступлением новых порций материала из инжекционного цилиндра. Нагревание и отверждение материала в литнике прекращает приток в форму новых количеств материала из инжекционного цилиндра.

Диаграммы изменения температуры материала в течение цикла литья, начиная от загрузки его в инжекционный цилиндр и кончая съемом готового изделия, показаны на рис. VII.2. Точка *1* характеризует температуру материала на входе в инжекционный цилиндр. На участках *1—2* и *2—3* материал нагревается по мере прохождения по цилиндру. Во время впрыска температура материала при движении через сопло возрастает (участки *3—4*).

Температура термореактивного материала по мере прохождения по форме увеличивается (сплошная линия *4—5*). В форме во время отверждения изделия температура повышается еще больше (сплошные линии *4—5*, *4—6*, *4—7* показывают изменение температуры в различные моменты времени).

Штриховыми линиями показано изменение температуры термопластических материалов во время цикла формования. В этом слу-

чае материал в форме охлаждается (штриховые линии *4—5*, *4—6*, *4—7* показывают изменение температуры в различные моменты времени).

Изменение давления во время цикла формования может быть представлено диаграммой «давление — время» (рис. VII.3), которая иллюстрирует изменение давления в одной из точек формы. Участок *а* соответствует ходу поршня до создания давления на материал.

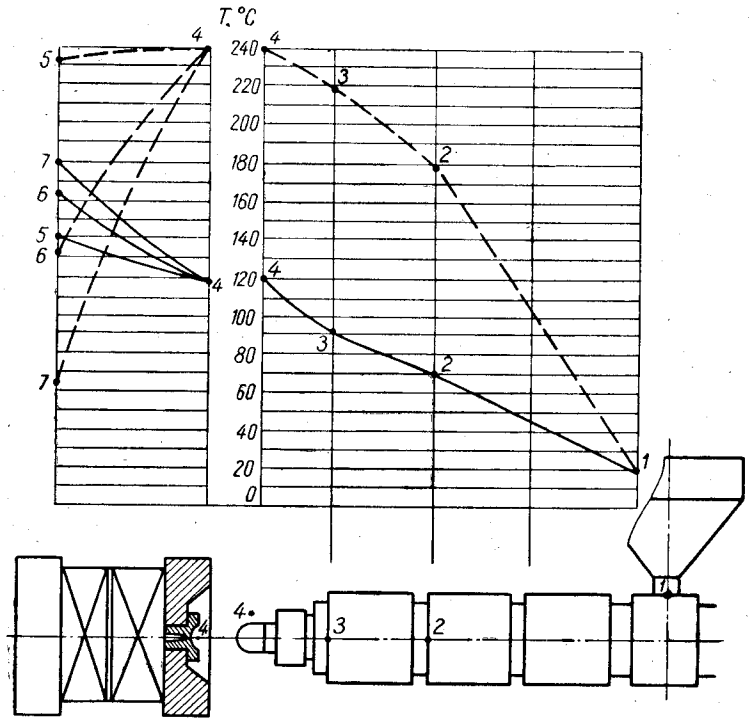


Рис. VII.2. Диаграммы изменения температуры материала при литье под давлением термопластов (штриховые линии) и реактопластов (сплошные линии).

Заполнение формы (участок *б*) сопровождается повышением давления. После полного заполнения формы (участок *в*) давление в ней продолжает возрастать и материал в форме уплотняется (участок *г*). Отвод инжекционного поршня в исходное положение вызывает спад давления в форме (участок *д*). После охлаждения литниковой системы и материала в полости формы происходит дальнейшее уменьшение давления (участок *е*). Диаграмма построена для процесса формования термопластов в литьевой форме, установленной на машине без предварительной пластикации материала (кривая *2*).

Штрихом показана та же диаграмма для машины с предварительной пластикацией материала (кривая *1*). Отличием ее является

отсутствие времени холостого хода поршня для перемещения гранул до создания давления. Поскольку поршень или червяк в машинах с предварительной пластикацией соприкасается непосредственно с расплавом, движение поршня практически одновременно передается материалу. Заполнение формы и скорость нарастания давления увеличиваются. Давление во время формования сохраняется на постоянном уровне.

Изменение давления в точках формы, удаленных на различные расстояния от впускного отверстия, неодинаково (см., например, кривые *1—3* на рис. VII.4). Падение давления тем больше, чем дальше от отверстия расположен рассматриваемый участок формы. Это объясняется тем, что в более удаленные точки затруднен приток новых порций материала для компенсации уменьшения объема материала, вызванного усадкой. Изменение давления при формовании более наглядно представляется в трехмерных координатах. На рис. VII.4 показано изменение давления в литьевой форме. По мере заполнения формы давление на входе в форму и в каждой точке заполненной части формы возрастает. В точке a_n, соответствующей времени заполнения τ_1, форма заполнена. Проводя сечение поверхности a_1, b_1, c_1, d_1, e_1, a_2, b_2, c_2, d_2, e_2 плоскостями, параллельными плоскости POL, получим распределение давления в форме в каждый момент времени в течение всего периода заполнения формы. Точка b_1 соответствует моменту заполнения формы τ_1, точка c_1 — моменту нарастания давления τ_2, точка d_1 — моменту выдержки под давлением τ_3. Точки a_2, b_2, c_2, . . ., a_n, b_n, c_n характеризуют эти же моменты в других участках формы.

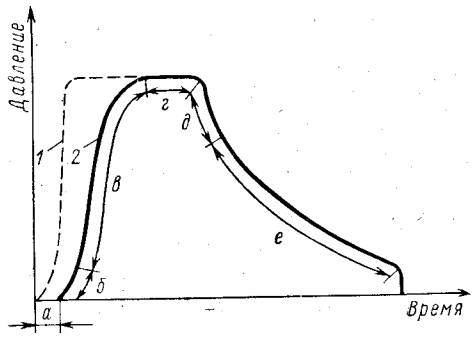


Рис. VII.3. Диаграммы «давление — время»:

1 — для литьевой машины с предварительной пластикацией; *2* — для литьевой машины без предварительной пластикации.

Если эту эпюру рассечь плоскостями, параллельными плоскости $PO\tau$, получим картину изменения давления в определенной фиксированной точке в течение всего цикла формования.

Таким образом, из диаграммы следует, что кривые изменения давления отличаются тремя периодами, соответствующими заполнению формы, нарастанию в ней давления и спаду давления.

Первый период характеризуется последовательным заполнением формы материалом, находящимся в вязкотекучем состоянии. Второй период начинается после заполнения формы и отличается повышением давления во всех точках формы. В этот период в форму из инжекционного цилиндра под действием внешнего давления

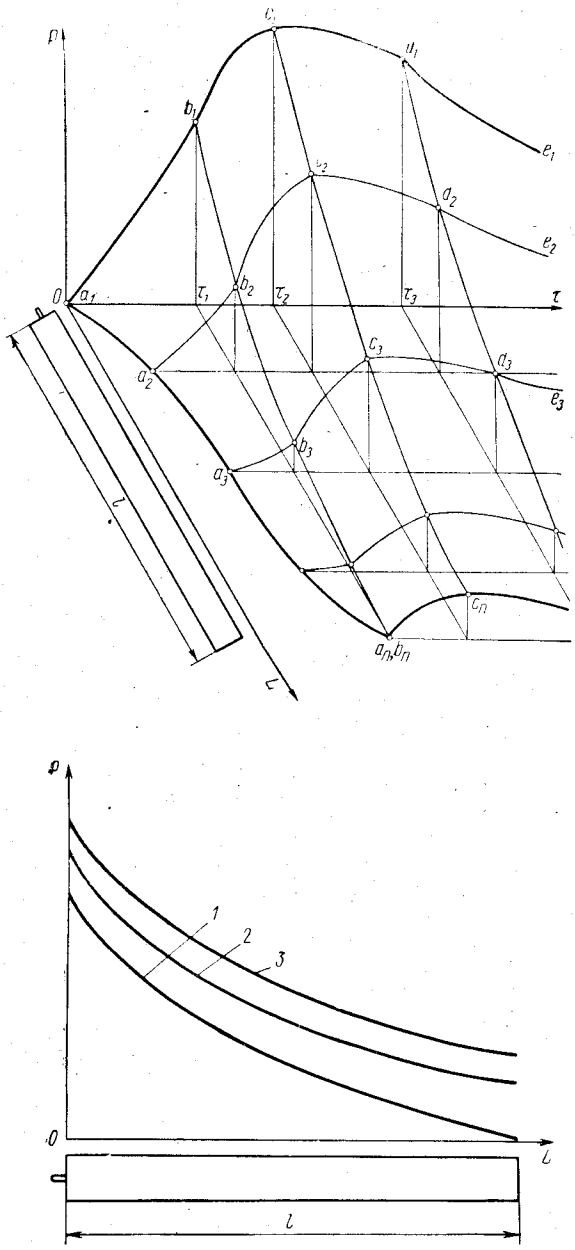


Рис. VII.4. Диаграмма изменения давления в литьевой форме в процессе формования:

1—3 — кривые изменения давления в различных точках формы.

поступают новые порции материала, вызывающие уплотнение и повышение давления по длине формы. Третий период характеризуется уменьшением давления по длине формы. Изменение давлений в этот период также определяется соотношением притока новых количеств (порций) материала в форму и изменением средней температуры материала (по объему), его усадкой, а также размерами и конструкцией формы.

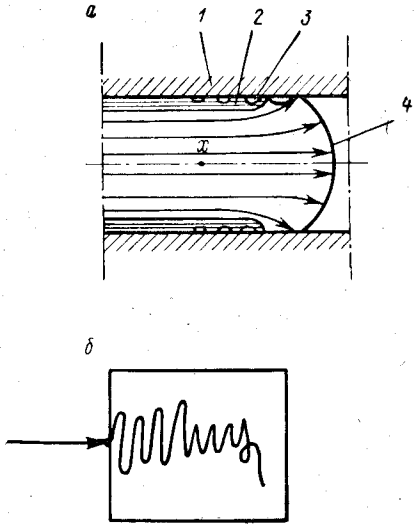


Рис. VII.5. Схемы движения материала при заполнении литьевой формы:

а — с небольшой скоростью; *б* — с большой скоростью;
1 — стенка формы; *2* — менее подвижные слои материала; *3* — волны материала; *4* — фронтальная пленка.

Рассмотрим подробнее поведение материала во все три названных периода.

Период заполнения формы. Заполнение различных по конфигурации литьевых форм происходит в ламинарном режиме. Линии течения расплава внутри формы должны быть непрерывны на протяжении всего периода заполнения. На характер движения значительно влияет расположение литника. Примыкающие к стенкам формы слои в движении не участвуют.

В общем случае при заполнении литьевой формы расплав перемещается путем последовательного растягивания фронтальной пленки *4* и выдавливания новых порций материала из менее подвижных слоев *2* материала у стенок *1* холодной формы (рис. VII.5, *а*). Дальнейшее продвижение расплава по форме сопровождается нарастанием давления в точке x. Это увеличение давления разглаживает образовавшиеся волны *3*. При медленном течении поверхностные слои могут охладиться и на изделии останутся следы неразгладившихся волн.

В тех случаях, когда литник расположен в направлении течения материала, характер заполнения формы будет иным. При движении материала с большой скоростью заполнение формы происходит не сплошным фронтом, а в виде отдельной непрерывной струйки, которая, хаотически завихряясь, заполняет форму (рис. VII.5, *б*). По мере заполнения формы отдельные участки струи «свариваются». После того как форма заполнится, давление повышается и расплав, охлаждаясь, приобретает конфигурацию внутренней части формы.

Характер течения термореактивного материала при заполнении формы зависит также от места расположения литника на изделии. При расположении литника на торце изделия заполнение происходит путем впрыскивания струи материала, случайно располага-

ющейся в полости формы. По мере увеличения давления в форме отдельные струи «свариваются» в монолитное изделие.

Наиболее благоприятно для заполнения крупное сечение литьевого канала и впускного отверстия. Увеличение длины литниковых каналов повышает сопротивление течению материала.

Основными факторами, влияющими на заполнение формы, являются вязкостные свойства и температура расплава, режим прикладываемого давления, геометрические параметры изделия, конструкция и температура формы. Влияние температуры формы значительно уменьшается при увеличении скорости заполнения. В тех случаях, когда форма подогревается с помощью термостата до высоких температур, условия заполнения облегчаются, а давление для заполнения формы понижается.

При литье реактопластов повышение температуры литьевой формы значительно облегчает заполнение, но во избежание отверждения материала требует также увеличения скорости заполнения.

Скорость движения материала по литьевой форме в период ее заполнения возрастает с повышением степени предварительного сжатия материала. Для заполнения литьевых форм различной геометрии необходимы разные скорости литья. Оформление тонкостенных деталей требует более высоких температур материала и форм и более высоких скоростей, чем для деталей с большей толщиной стенки.

При движении материала в литьевой форме по уровням, равноудаленным от впускного отверстия, в ней равномерно повышается давление в заполненных материалом сечениях. На рис. VII.6 показаны последовательные этапы заполнения формы (линии *1* и *2*) и распределение давления после заполнения (линия *3*) в различные моменты времени в механизмах машины и в форме (a — b — потери давления в гидравлике, b — c — в инжекционном цилиндре, c — d — в сопле, d — e — в литниковой втулке, e — f — в форме).

Высокие давления, развиваемые на входе в литьевую форму и по ее длине при течении материала в период заполнения форм, требуют высоких усилий запирания формы. После заполнения давление в форме выравнивается по ее длине, что приводит к необходимости еще большего усилия для удержания формы в замкнутом состоянии. Таким образом, усилия, возникшие при заполнении формы (как следствие гидродинамического процесса заполнения формы), определяют давление, при котором формуется материал. Однако для формования изделий удовлетворительного качества высоких давлений часто не требуется. Давление, необходимое в период формования, обычно намного меньше давлений, требующихся для заполнения формы. Для того чтобы осуществить формование детали при давлении, достаточном для переработки соответствующего материала, после заполнения формы вводится операция сброса давления, которая заключается в уменьшении давления после достижения определенной его величины.

В режиме работы машины со сбросом давления заполнение литьевой формы материалом производится на высокой скорости.

Формование изделия после заполнения литьевой формы осуществляется при меньшем давлении (линия *4* на рис. VII.6). Однако и при наличии сброса давления уже в период заполнения формы в ряде случаев могут развиться такие высокие давления, которые смогут открыть литьевую форму, что приводит к образованию облоя на изделии.

Для устранения подобных явлений применяют цикл заполнения формы с регулируемой скоростью. В этом цикле скорость поступательного движения червяка регулируется при его движении путем изменения расхода жидкости, подаваемой в гидроцилиндр.

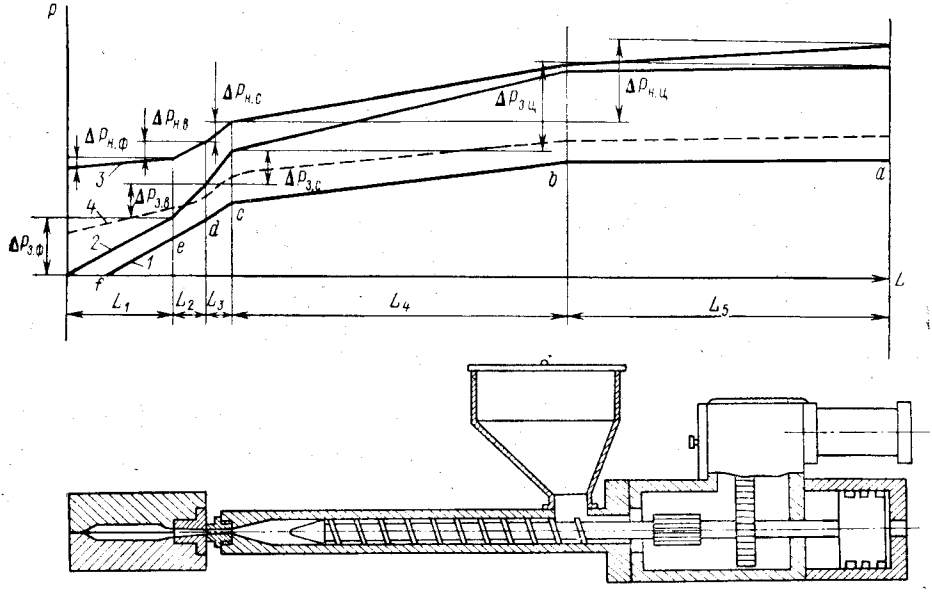


Рис. VII.6. Диаграммы изменения давления в процессе литья:

1, *2* — при заполнении формы; *3* — после заполнения формы; *4* — выдержка под давлением.

В таком режиме скорость заполнения формы материалом на определенном участке уменьшается. Это приводит к снижению требуемого давления на входе в литьевую форму и по ее длине. В результате величина усилия, необходимого для удержания формы в закрытом состоянии, уменьшается.

Использование сброса давления и регулирования скорости заполнения формы позволяют машине работать в режиме саморегулирования. В этом случае в зависимости от веса получаемых изделий и с учетом сигналов специальных датчиков производится регулирование параметров давления в момент заполнения и формования.

В начале работы до выхода на стабильный режим литья машина работает без сброса давления, с высоким давлением заполнения. При получении изделия большего веса датчики веса и контроля раскрытия формы дают команды на сброс давления.

Подобные команды подаются последовательно в каждом цикле. При этом время сброса давления в каждом последующем цикле уменьшается. Так происходит до тех пор, пока литьевая форма перестанет раскрываться в цикле заполнения. После этого давление формования повышается до величины, соответствующей установленному по весу эталону. Действительный цикл работы машины несколько сложнее, поскольку ее работа контролируется дополнительно датчиками температуры и времени, которые регулируют температуру материала и продолжительность отдельных операций.

Период нарастания давления. Давление в различных точках литьевой формы в данный период увеличивается неодинаково по ее длине. Величина давлений на входе в форму и в самой форме в этот период зависит от давления в цилиндре машины, свойств материала, конструкции формы и сопла, а также режима литья. При этом потери давления складываются из потерь давления в гидроприводе, нагревательном цилиндре, сопле машины, литниковых каналах формы и самой форме.

Выше на рис. VII.6 была приведена диаграмма изменения давления в узлах машины с предварительной пластикацией (в форме L_1, в литниковой втулке L_2, в сопле L_3, в инжекционном цилиндре L_4, в гидроцилиндре L_5) в момент заполнения литьевой формы (кривая *1* — в промежуточный момент, кривая *2* — в момент заполнения) и в момент создания наибольшего давления (кривая *3*). В момент нарастания давления его потери в соответствующих узлах машины ($\Delta P_н$) меньше, чем в момент заполнения литьевой формы ($\Delta P_з$).

Потери давления в гидроприводе $\Delta P_{з.ц}$ и $\Delta P_{н.ц}$ складываются из потерь давления в гидроцилиндре, трубопроводах, золотниках, дросселях, напорных клапанах и другой гидроаппаратуре. Потери давления в сопле $\Delta P_{н.с}$ и $\Delta P_{з.с}$ определяются диаметром выходного отверстия сопла. Повышение температуры снижает потери в сопле. Потери давления в литниковой втулке $\Delta P_{з.в}$ и $\Delta P_{н.в}$ определяются ее длиной и диаметром. Увеличение длины литниковой втулки и уменьшение диаметра приводит к возрастанию потерь давления.

Помимо того, что давление передается в литьевую форму с определенными потерями, имеются потери давления в самой форме ($\Delta P_{з.ф}$ и $\Delta P_{н.ф}$). При меньшем давлении в гидроприводе потери давления в узлах машины и в форме показаны кривой *4*.

Диаграмма изменения давления в гидроприводе литьевой машины с предварительной пластикацией материала представлена на рис. VII.7. На участке до точки *a* червяк перемещается вперед, производя впрыск материала в литьевую форму (давление в гидросистеме машины за время τ_1 увеличивается). После заполнения формы происходит дальнейшее нарастание давления P в гидроприводе до установленной величины. При этом червяк совершает некоторое перемещение вперед (участок a — b). В период выдержки червяка под давлением значение P в гидроприводе сохраняется на постоянном уровне. После окончания выдержки под давлением (время τ_2) червяк под действием материала отводится назад (участок b—c).

Давление P в гидроприводе понижается до величины, необходимой для пластикации материала.

Отличительной особенностью таких машин является то, что благодаря отсутствию нерасплавленных гранул перед червяком сопротивление движению червяка меньше, чем в машинах без предварительной пластикации. Заполнение одних и тех же литьевых форм на машинах с предварительной пластикацией производится при меньших давлениях, чем на поршневых машинах. В результате этого мощность привода уменьшается. Поэтому при равной мощности привода на машине с предварительной пластикацией обеспечивается большая скорость заполнения форм.

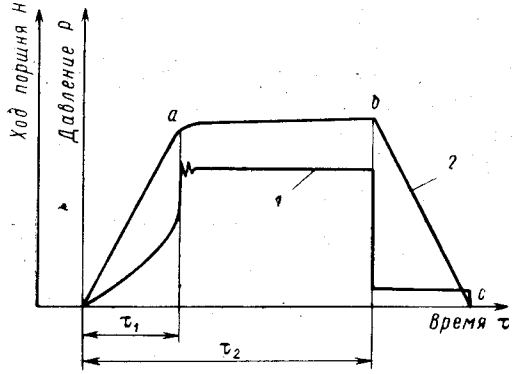


Рис. VII.7. Диаграммы изменения давления (кривая *1*) в гидросистеме впрыска и хода поршня или червяка (кривая *2*) литьевых машин с предварительной пластикацией и гидравлическим приводом.

На машинах без предварительной пластикации давление, передаваемое в литьевую форму, непостоянно во время выдержки под давлением. На машинах с предварительной пластикацией значение P во время выдержки поршня под давлением остается на постоянном уровне. Вследствие этого регулирование давления во время формования на этих машинах значительно упрощается.

Передача давления от гидроцилиндра в форму зависит от конструкции машины. На машинах без предварительной пластикации характер нарастания давления в форме и значение P зависят от давления инжекционного поршня, величины порции материала, подаваемой в инжекционный цилиндр, температурного режима переработки и т. д. Увеличение температуры цилиндра в зоне загрузки приводит к уменьшению времени нарастания давления. Такое же влияние оказывает предварительное уплотнение гранул и увеличение времени их прогревания. Возрастание потерь давления в зоне загрузки приводит к снижению скорости нарастания давления. На этих же машинах наибольшее давление на входе в форму зависит от величины прикладываемого к поршню усилия, величины загрузки, времени выдержки поршня под давлением, температурного режима литья, конструкции инжекционного цилиндра, формы и литника. Поддержание постоянного давления в форме в процессе работы возможно только при точной весовой дозировке загружаемого материала и строгом соблюдении теплового режима литья. Поэтому отработка оптимального технологического режима на таких машинах в производственных условиях достигается труднее и требует

большого практического навыка и знания особенностей каждой машины.

Использование машин с предварительной пластикацией материала упрощает подбор и регулирование технологического режима литья (в частности, давления) и улучшает качество получаемого изделия.

На машинах с предварительной пластикацией передача давления в форму зависит от конструкции червяка и его наконечника, а также от свойств материала.

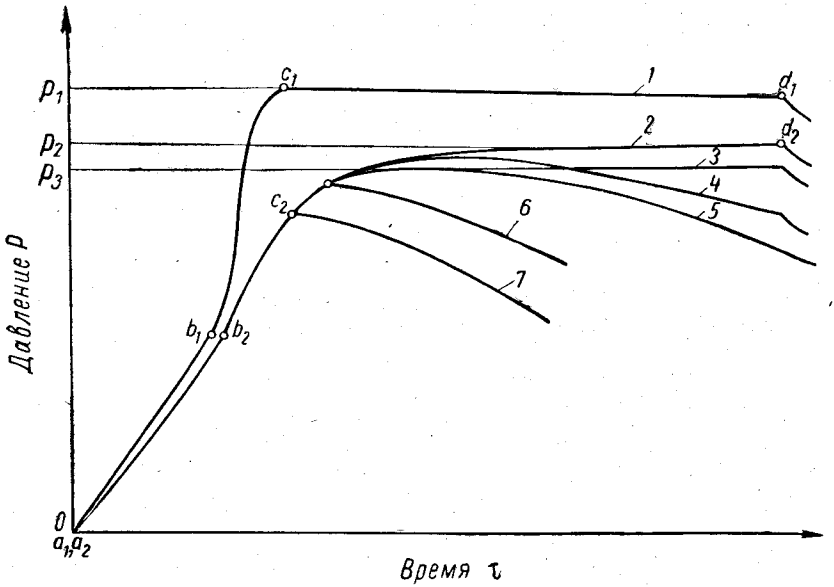


Рис. VII.8. Диаграмма «давление — время» для различных условий литья:

1 — на машине с предварительной пластикацией; *2*, *3* — на машине без предварительной пластикации; *4*—*7* — при уменьшении порции материала.

Различие в передаче давления отражается на весе получаемых деталей. На машинах, у которых конец червяка не снабжен клапаном, наблюдаются колебания веса отливок. Это происходит в результате обратного течения части материала по винтовому каналу червяка. При этом уменьшаются давление в форме и вес детали. На машинах, снабженных клапаном на конце червяка, колебания в весе отливок минимальны.

Характер создания давления на входе в форму можно проиллюстрировать диаграммой «давление — время» (рис. VII.8), которая показывает изменение наибольшего давления в форме в одной из точек при различных условиях литья.

Если на машине без предварительной пластикации величина загрузки достаточна, а привод отрегулирован на определенное

давление, которому в этом случае соответствует наибольшее давление в форме P_2, изменение давления в форме будет происходить по линии *2*.

Когда привод отрегулирован на меньшее давление, чем в первом случае (давлению в гидроприводе будет соответствовать максимальное давление P_3 в форме), изменение давления в форме при прочих равных условиях будет происходить по линии *3*. Точки a_1, b_1, d_1 и a_2, b_2, d_2 соответствуют началу периодов заполнения формы, нарастания давления и его спада.

Если давление привода отрегулировано на величину, которой соответствует давление P_2 в форме, а порция уменьшена, то изменение давления может происходить по линиям *4—7* в зависимости от величины порции материала.

Достигнуть такого соотношения между величиной порции и прикладываемым усилием, при котором давление в форме на участке $c_2 - d_2$ сохраняется постоянным, в эксплуатационных условиях на машинах без предварительной пластикации очень трудно: необходимо строго соблюдать соответствующий режим литья и следить за точностью дозировки загружаемого материала. На машинах с предварительной пластикацией постоянство давления на этом участке обусловлено конструкцией машины (материал дозируется в виде расплава). Потери усилия в расплавленном материале невелики. Давление в сопле машины и на входе в форму соответствует давлению в гидросистеме и поддерживается постоянным (для любой порции).

При изменении температуры материала участок $a_1—b_1$ смещается влево или вправо. В этом случае изменяется и скорость нарастания давления. На машинах с предварительной пластикацией участок $a_1—b_1$ смещается влево, затем давление нарастает быстрее и выдерживается на постоянном уровне P_1 (линия *1*, участок $c_1—d_1$). Постоянство давления на участке $c_1—d_1$ в машинах с предварительной пластикацией материала является большим технологическим преимуществом этих машин по сравнению с машинами без предварительной пластикации.

Давление на входе в литьевую форму зависит не только от давления в гидроприводе и потерь, но для машин без предварительной пластикации еще и от порции загружаемого материала, а также от времени выдержки поршня в переднем положении. Давление в форму на машинах с предварительной пластикацией передается, как отмечалось, более стабильно, и его проще регулировать. Поэтому на машинах с предварительной пластикацией используются различные режимы приложения давления.

Величина давления в одинаковых точках формы в период нарастания давления больше, чем в период заполнения формы. Передача давления по длине формы зависит от температуры материала и его свойств, геометрических параметров формы, скоростей заполнения и нарастания давления.

При замедленном заполнении формы и медленном нарастании давления величина давления по длине формы уменьшается даже в

случае увеличения абсолютных значений прикладываемых давлений. Это объясняется тем, что в случае заполнения формы и нарастания давления с меньшей скоростью, материал быстрее охлаждается, теряет текучесть и хуже передает давление по длине формы.

Передача давления по длине формы зависит от толщины оформляющей полости формы. Увеличение толщины улучшает передачу давления, так как при этом меньше скорость охлаждения и дольше сохраняется текучесть материала .Длина формы также влияет на передачу давления. Чем больше расстояние от впускного отверстия до конца формы, тем ниже и быстрее уменьшается давление. Увеличение температуры и уменьшение вязкости материала способствует лучшей передаче давления. Скорость впрыска также влияет на давление в форме. При высокой скорости заполнения материал интенсивно прогревается, проходя по литникам, вязкость его понижается, поэтому давление передается лучше. При медленном заполнении формы материал затвердевает, вязкость его повышается, передача давления ухудшается.

Среднее давление в форме можно ориентировочно определить по формуле:

$$P_{ср} = k' P_0 \qquad \text{(VII.8)}$$

где P_0 — давление на входе в форму; k' — коэффициент ($k' = 0{,}7 \div 0{,}8$ и $0{,}9 \div 1$ при переработке реактопластов на поршневых и червячных машинах соответственно; при переработке термопластов $k' = 0{,}5 \div 0{,}8$).

Прочность отливаемых изделий связана с их плотностью. Плотность литьевых изделий зависит от прикладываемого давления.

Для некоторых материалов повышение давления в форме выше 10—30 *Мн/м*^{2} не способствует улучшению физико-механических свойств изделия. Вместе с тем повышение давления может привести к раскрытию формы и образованию на изделии грата. Чтобы избежать излишнего уплотнения материала в форме, перелива (чрезмерной инжекции) и образования на изделии грата, после заполнения формы давление в гидросистеме уменьшается до расчетной величины (сброс давления).

В ряде случаев при переработке реактопластов усилие смыкания форм может быть уменьшено для выпуска летучих веществ. Во избежание перелива формы усилие инжекции также уменьшается. Формование реактопластов производится при давлении до 10—25 *Мн/м*^{2}. При давлениях выше 50 *Мн/м*^{2} плотность отливаемых изделий практически не повышается. Поэтому в форме обычно поддерживается давление порядка 25 *Мн/м*^{2}.

Период спада давления характеризуется изменением давления в зависимости от скорости охлаждения материала.

Работа литьевой машины в режимах интрузии

Как было отмечено в § 1, режим интрузии заключается в том, что заполнение формы материалом производится при различных сочетаниях поступательного и вращательного движения червяка.

Метод интрузии применяется для изготовления толстостенных изделий и изделий с большим весом, в 2—3 раза превышающим номинальный объем отливки, на который рассчитана машина. Этот метод может применяться также для переработки нетермостабильных материалов. Отличительной особенностью работы машины в режиме интрузии является то, что расплавленный материал заполняет форму при низком давлении (до 25 *Мн/м*^{2}). Формование изделий в режиме интрузии может производиться различными способами.

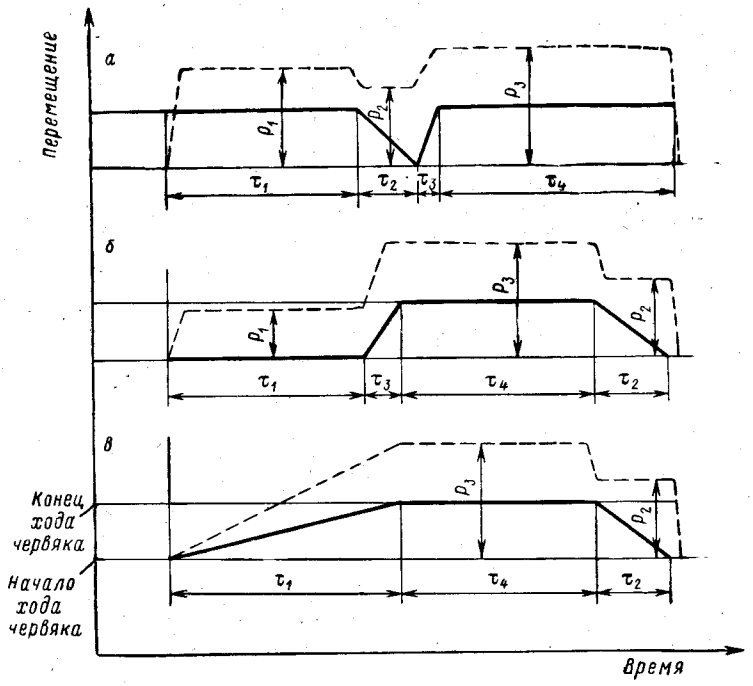


Рис. VII.9. Диаграммы работы машины в режимах интрузии:

а — при нормальном давлении впрыска; *б* — при повышенном давлении; *в* — при повышенных давлении и скорости впрыска.

В случае, представленном на рис. VII.9, *а* заполнение формы на 70—80% происходит при давлении P_1 за счет вращательного движения червяка, находящегося в передней части цилиндра. В переднем положении червяк удерживается давлением жидкости гидроцилиндра. По мере заполнения формы давление в передней части инжекционного цилиндра перед червяком повышается. Под действием этого давления червяк отходит назад, преодолевая противодавление гидроцилиндра. После частичного заполнения формы в течение времени τ_1 давление в гидроцилиндре снижается до величины P_2. Червяк, вращаясь, отходит назад для набора новой порции материала. При этом червяк может придти в исходное положение (как показано

на рис. VII.9, *а*) или занять промежуточное положение, определяемое необходимой величиной порции материала для последующего впрыска. Время движения червяка назад равно τ_2. Затем под действием поступательного движения червяка вперед (при этом он может вращаться) подготовленная порция материала впрыскивается в форму за время τ_3. Происходит выдержка (τ_4) материала в форме при заданном давлении P_3.

Такой же способ интрузии может осуществляться следующим образом. Червяк находится в переднем положении. Со стороны гидропривода установлено необходимое противодавление. Вращательным движением червяка материал подается в форму. По мере заполнения формы сопротивление внутренней полости увеличивается. Под действием создавшегося давления червяк отходит назад для набора новой порции материала. Далее поступательным движением червяка материал вспрыскивается в форму.

В тех случаях, когда при изготовлении толстостенных изделий за один поступательный ход червяка не удается полностью компенсировать усадку, материал в форму может подаваться несколько раз. При многократной подготовке новых порций материала, нагретого до высокой температуры (при одинарном впрыске большой порции материала температура его по длине порции может быть неоднородна), достигается гомогенная структура расплава, поступающего в форму. При этом сердцевина детали постоянно подпитывается горячим материалом, что обеспечивает хорошее качество изделия (без раковин, пузырей, швов и т. д.).

Во избежание преждевременного охлаждения в литниках материала, движущегося с небольшой скоростью (время заполнения формы может составлять 80 *сек* и более), в начале цикла может производиться впрыск в форму небольшого количества расплавленного материала для получения на стенках формы тонкой изолирующей пластмассовой пленки. Далее режим аналогичен рассмотренным выше.

Режимы интрузии чаще всего применяются при изготовлении изделий с отношением длины пути расплава к толщине стенки не выше 70 : 1. Когда же это отношение больше и при литье деталей требуется высокое давление для заполнения формы, используется режим интрузии, представленный на рис. VII.9, *б*. В начале цикла червяк отведен назад. Перед червяком находится определенная порция расплавленного материала, подготовленного в предыдущем цикле. Заполнение формы производится вращающимся червяком. Сопротивление, создаваемое в форме, невелико. Давление заполнения формы равно P_1. Количество подаваемого материала контролируется по времени τ_1. Далее происходит впрыск в форму материала, находящегося перед червяком в течение времени τ_3 и имеющего давление P_3, необходимое для полного заполнения формы. Затем червяк, вращаясь, отходит назад в первоначальное положение для накопления новой порции материала, нужной для впрыска в следующем цикле; при этом давление пластикации равно P_2.

Режим интрузии, представленный на рис. VII.9, *в*, применяется в тех случаях, когда требуются высокое давление и большая скорость заполнения формы, а объем отливки за один ход червяка должен превышать номинальный не более чем на 40%. Заполнение формы происходит при одновременном вращательном и поступательном движении червяка за время τ_1. После полного заполнения формы червяк удерживается в переднем положении с заданным усилием P_3 в течение времени τ_4. При этом червяк может вращаться или быть неподвижным. Далее происходит пластикация и подготовка материала к следующему циклу.

Работа червячной литьевой машины может происходить в режиме экструзии. Такой режим возможен при изготовлении толстостенных изделий, не требующих высоких давлений литья. При этом заполнение формы и выдержка под давлением с заданными усилиями производится вращающимся червяком без осевого перемещения.

Цикл работы литьевой машины в режиме интрузии осуществляется в той же последовательности, что и обычно. Отличие состоит только в условиях заполнения формы и подпитки охлаждающейся детали новыми порциями материала. Особенностью метода интрузии является малая скорость заполнения формы, допустимая при получении толстостенных изделий. Скорость поступления материала в форму при вращательном движении зависит в основном от параметров червяка и скорости его вращения. Давление, создаваемое при вращательном движении червяка, ниже чем при обычном литьевом методе. Поэтому каналы в форме должны иметь большое поперечное сечение для того, чтобы материал в них не застыл раньше, чем окончится заполнение формы.

При изготовлении толстостенных изделий в режиме интрузии небольшая скорость заполнения формы расплавом может вызвать образование на поверхности детали (в месте соединения потоков расплава) спаев или швов, которые снижают механическую прочность отливки. Для предотвращения этого явления после заполнения формы к вращающемуся червяку кратковременно (толчком) прикладывается более высокое давление (сварочное давление), которое превышает давление заполнения формы. Давление в форме повышается, вследствие чего достигается требуемая однородность потоков.

Работа литьевой машины в инжекционно-прессовом режиме

Инжекционно-прессовой метод заключается в том, что формование осуществляется не только за счет работы инжекционной, но и прессовой частей. Если в режимах литья назначение прессовой части сводилось только к плотному запиранию формы и созданию замкнутого объема, то в режиме инжекционного прессования перемещение механизма запирания используется для компенсации

усадки материала и для придания необходимой конфигурации материалу при формовании его в изделие.

Диаграмма работы машины в инжекционно-прессовом режиме представлена на рис. VII.10.

В начале цикла форма смыкается не полностью, давление запирания формы P_1 меньше необходимого давления формования P_2. После смыкания формы (время τ_1) и подвода сопла к литниковой втулке (время τ_2) происходит впрыск расплавленного материала в приоткрытую форму (время впрыска τ_3). Затем сопло отводится от формы (время τ_4) и изделие формуется под действием давления P_2.

Пластикация материала может осуществляться сразу же после впрыска (как показано на диаграмме) или через определенное задаваемое время. После пластикации материала (τ_5) и охлаждения изделия в форме (τ_6) последняя раскрывается (τ_7) и готовое изделие извлекается.

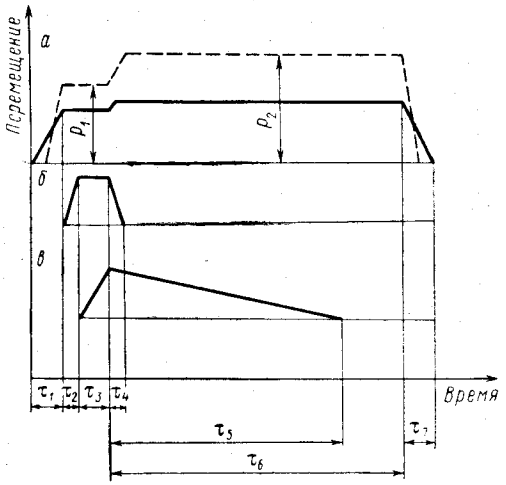


Рис. VII.10. Диаграммы работы машины в инжекционно-прессовом режиме:

а — для механизма смыкания; б — для инжекционной части, в — для червяка.

Инжекционное прессование полимеров можно производить иначе. В начале цикла форма смыкается полностью. Заданная порция материала впрыскивается в форму. Под действием развивающегося в форме давления пуансон несколько отходит, увеличивая объем полости формы. Далее к пуансону формы прикладывается полное давление, форма закрывается и происходит окончательное оформление изделия под действием давления, создаваемого пуансоном формы.

При инжекционном прессовании термопластов применяются большие проходные сечения сопла и литниковых каналов, что позволяет избежать высокой скорости и давления впрыска. Это обеспечивает получение деталей с меньшей степенью ориентации материала и с меньшими по величине внутренними напряжениями. Инжекция материала в незамкнутую форму позволяет значительно снизить давления впрыска.

Во время заполнения литьевой формы потери давления определяются главным образом потерями в инжекционном цилиндре, сопле и литниковой втулке формы. Правда, поскольку инжекционным прессованием изготавливаются преимущественно толстостенные

изделия, литниковые втулки также имеют большие диаметры и создают значительно меньшие потери давления по сравнению с обычным способом литья. Движение материала по литьевой форме осуществляется с меньшими скоростями по сравнению с заполнением литьевых форм для изготовления изделий малой толщины. Поэтому и перепад давления по длине литьевой формы при инжекционном прессовании в период заполнения невелик. При изготовлении этим способом деталей большого веса и значительных размеров заполнение производится при подпоре со стороны прессовой части. В этом случае давление при заполнении определяется еще и величиной подпора.

После окончания заполнения формы в период, когда формование производится под действием давления, создаваемого только прессовой частью, перепад ΔP в форме выравнивается и материал формуется практически при равном давлении по всей поверхности изделия.

§ 5. ЛИТЬЕВЫЕ МАШИНЫ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ТЕРМОПЛАСТОВ

В настоящее время отечественная промышленность серийно выпускает литьевые машины для переработки термопластов с объемом отливки от 8 до 1000 *см*³. Технические характеристики машин приведены в табл. VII.6.

Конструкция горизонтальной литьевой машины для термопластов может быть показана на примере машины модели Д3328 (рис. VII.11) с объемом отливки 63 *см*³. На сварной станине *13* машины установлены механизмы инжекции *7* и запирания *2*. В станине смонтированы гидроаппаратура и гидрокоммуникации. На переднюю стенку станины выведены электрический пульт управления *12*, регулирующая аппаратура, краны *11* для регулирования расхода охлаждающей воды, поступающей в различные точки системы. Сбоку помещается электродвигатель *10* гидропривода.

Инжекционный узел *7* установлен на станине неподвижно и крепится на плитах. На передней плите расположен инжекционный цилиндр *5*, на задней плите — редуктор и гидроцилиндр *8* впрыска. Вращение червяку передается от гидравлического двигателя через червячный редуктор, скорость вращения плавно регулируется. Осевые нагрузки, возникающие при работе червяка, воспринимаются упорным подшипником, расположенным в поршне гидроцилиндра впрыска. Через крышку гидроцилиндра *8* проходит стержень *9*, связанный с поршнем. На стержне имеются регулировочные гайки, с помощью которых регулируется переднее (для сброса давления) и заднее (для набора порции) положения червяка при его перемещении.

Инжекционный цилиндр имеет три зоны обогрева (мощность каждой зоны — по 1 *квт*). Загрузочное отверстие цилиндра охлаждается. Температура каждой зоны контролируется терморегулятором. Напряжение тока в каждой зоне регулируется автотрансформаторами. Инжекционный цилиндр снабжается несколькими

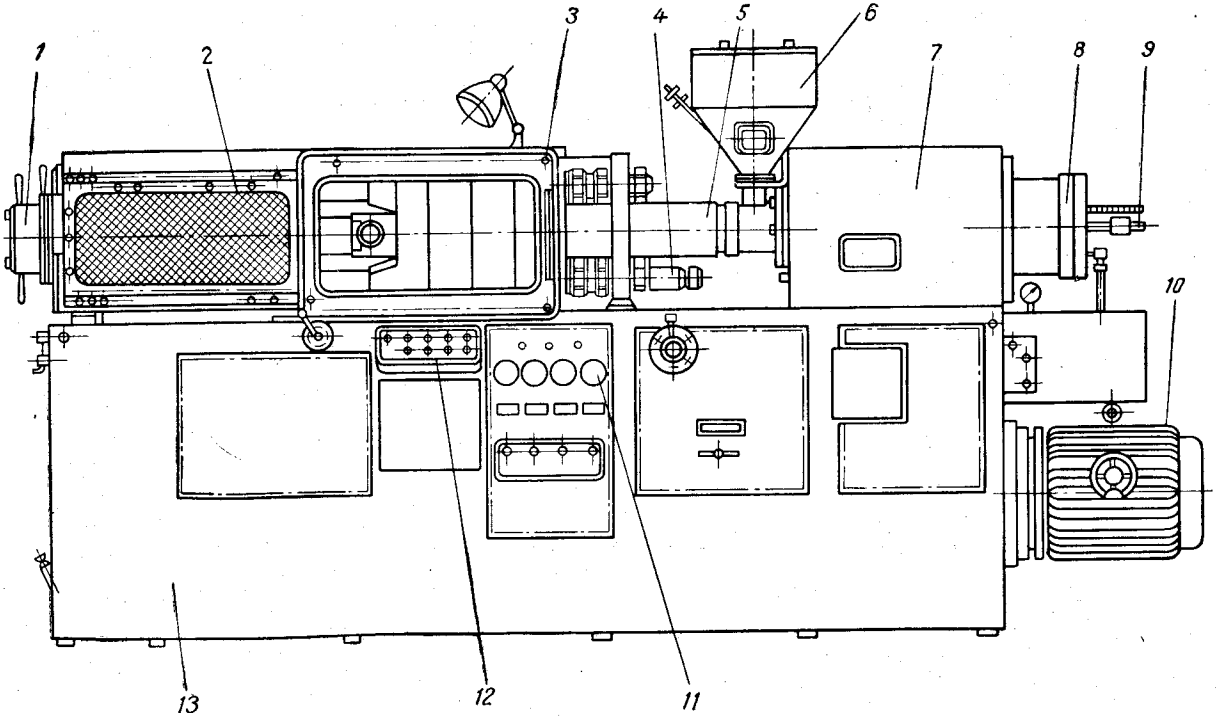


Рис. VII.11. Литьевая машина модели Д3328:

1 — регулировочное устройство; *2* — механизм запирания; *3* — плита; *4*, *8* — гидроцилиндры; *5* — инжекционный цилиндр; *6* — бункер; *7* — механизм инжекции; *9* — стержень; *10* — электродвигатель; *11* — кран; *12* — пульт управления; *13* — станина.

Таблица VII.6

Технические характеристики отечественных однопозиционных литьевых машин для переработки термопластов

Параметры	Модели машин							
	ТП-8	Д3322	Д3325	Д3328	Д3231	Д3234	Д3237	Д3240
Наибольший объем впрыскиваемого материала за один цикл, *см*³	8	16	32	63	125	250	500	1000
Усилие закрытия формы, *кн*	100	180	320	560	1000	1800	3200	6300
Удельное давление впрыска, *Мн/м*² . .	120	120	140	140	160	160	180	180
Ход подвижной плиты, *мм*	125	150	200	250	320	400	500	630
Наибольшее расстояние между подвижной и неподвижной плитами, *мм*	250	320	400	500	630	800	1000	1250
Регулировка расстояния между подвижной и неподвижной плитами, *мм*	—	—	⩽90	⩽110	⩽140	⩽180	⩽220	⩽280
Расстояние между колоннами в свету, *мм*	160	200	250	320	400 320	500 400	630 500	800 630
Время одного закрытия и раскрытия формы, *сек*	1,2	1,8	2,5	3,6	5	7	10	14
Время впрыскивания материала в форму, *сек*	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3,2

червяками со сменными наконечниками и соплами, предназначенными для переработки различных термопластичных материалов.

Бункер *6* прикреплен на кронштейне к плите и соединен с цилиндром *5* рукавом. Отвод сопла от формы для отрыва литника производится передней подпружинной плитой *3*. Механизм запирания *2* (гидромеханической конструкции) оснащен качающимся гидроцилиндром, расположенным внутри станины.

Расстояние между плитами регулируется винтовым устройством *1* при вращении гайки. Положение передней плиты *3* регулируется в пределах 10 *мм* упорными гайками и контргайками на колоннах. Гидроцилиндр *4* предназначен для перемещения плиты на наладочном режиме.

Гидравлическая схема литьевой машины модели Д3328 представлена на рис. VII.12. Работа машины осуществляется в следующей последовательности. Нажатием на кнопки управления

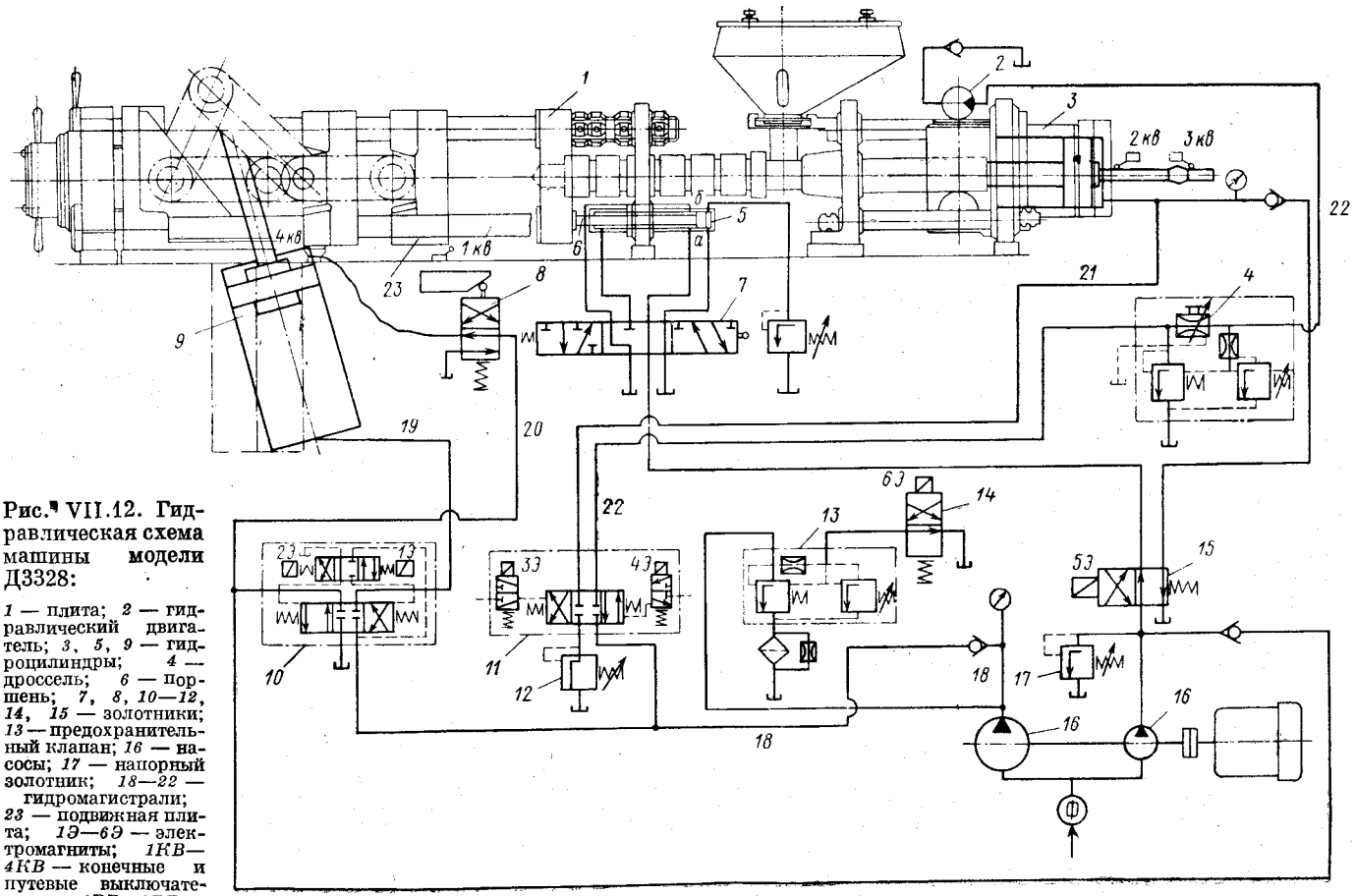


Рис. VII.12. Гидравлическая схема машины модели Д3328:

1 — плита; *2* — гидравлический двигатель; *3*, *5*, *9* — гидроцилиндры; *4* — дроссель; *6* — поршень; *7*, *8*, *10*—*12*, *14*, *15* — золотники; *13* — предохранительный клапан; *16* — насосы; *17* — напорный золотник; *18*—*22* — гидромагистрали; *23* — подвижная плита; *1Э*—*6Э* — электромагниты; *1КВ*—*4КВ* — конечные и путевые выключатели; *1РВ*—*3РВ* — реле времени.

включаются электродвигатель насоса *16* и электромагниты *6Э* и *1Э*. К напорной магистрали *18* подключается предохранительный клапан *13*. Реверсивный золотник *10* переключается влево. Масло по магистралям *18* и *19* через золотник блокировки *8* поступает в штоковую полость цилиндра запирания *9*. Происходит смыкание формы. В конце хода подвижной плиты нажимается конечный выключатель *1КВ*, который включает электромагнит *3Э* и *5Э*.

Электромагнит *3Э* перемещает золотник *11* вправо. Масло от насоса *16* большой производительности (100 *л/мин*) поступает по магистралям *18* и *21* в поршневую полость цилиндра впрыска *3*. Электромагнит *5Э* переключает золотник *15*, и масло от насоса *16* малой производительности (8 *л/мин*) поступает в гидроцилиндр впрыска. Происходит впрыск материала в форму. В конце хода червяка срабатывает конечный выключатель *2КВ*, который отключает электромагниты *1Э*, *3Э*, *6Э* и включает реле времени *1РВ* выдержки материала в форме под давлением. Насос *16* большой производительности через золотник *14* работает на слив. Давление в системе впрыска во время выдержки под давлением поддерживается и регулируется напорным золотником *17*.

По окончании времени выдержки под давлением отключается реле *1РВ*, которое включает реле времени выдержки под охлаждением *2РВ*. Включаются электромагниты *4Э* и *6Э*, а электромагнит *5Э* отключается. Электромагнит *4Э* переключает золотник *11* влево. Электромагнит *6Э* перекрывает слив из насоса *16* большой производительности, и масло по магистралям *18* и *22* поступает в гидравлический двигатель *2*. Скорость вращения червяка регулируется дросселем *4*. Масло из поршневой полости гидроцилиндра впрыска *3* поступает на слив по магистрали *21* через напорный золотник *12*, который устанавливает необходимую величину противодавления в цилиндре.

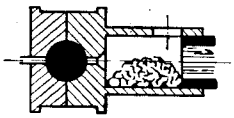
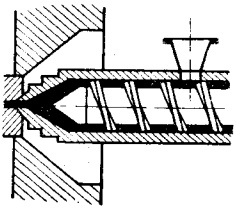
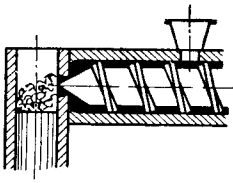
В конце хода червяка назад нажимается конечный выключатель *3КВ*. Отключаются электромагниты *4Э* и *6Э*. Насос *16* большой производительности разгружается через клапан *13* и золотник *14*. По окончании выдержки материала на охлаждение реле времени *2РВ* отключается. Включаются электромагниты *6Э* и *2Э*. Масло от насоса *16* большой производительности по магистралям *18* и *19* подается в поршневую полость цилиндра запирания. Происходит размыкание формы. При движении подвижной плиты *23* назад вместе с ней под действием пружин движется передняя плита *1*. Поршень *6* наладочного цилиндра *5* перемещается влево. Движение плиты *1* происходит до тех пор, пока поршень наладочного цилиндра не перекроет отверстия *а* и *б*, через которые масло поступает в цилиндр. Плита останавливается. Цилиндр *5* позволяет производить перемещение плиты на наладочном режиме работы машины. Управление цилиндром осуществляется золотником *7* с помощью рукоятки. В конце хода раскрытия форм нажимается конечный выключатель *4КВ*, отключаются электромагниты *2Э* и *6Э* и включается реле времени *3РВ* паузы между циклами.

§ 6. ЛИТЬЕВЫЕ МАШИНЫ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ РЕАКТОПЛАСТОВ

Принципиальные схемы наиболее распространенных типов машин для переработки реактопластов приведены в табл. VII.7.

Таблица VII.7

Классификация литьевых машин для переработки реактопластов

Без предварительной пластикации	С предварительной пластикацией		
	одноцилиндровая конструкция	двухцилиндровая конструкция с червячной пластикацией	двухцилиндровая конструкция с поршневой пластикацией
			Не реализована

В машинах поршневого типа возникают значительные потери давления между поршнем и литниковой системой. Скорость впрыска на этих машинах определяется степенью прогревания материала, находящегося перед поршнем. Машины поршневого и червячного типа двухцилиндровой конструкции отличаются тем, что дозировка и первоначальный прогрев материала происходят в отдельном цилиндре.

Литьевые машины одноцилиндровой конструкции с червячной пластикацией имеют те отличия, что перед червяком материал находится в вязкотекучем состоянии. В результате этого удается регулировать основные технологические параметры процесса литья: скорость заполнения формы и режим приложения давления на формуемый материал. Это в свою очередь обеспечивает бо́льшую производительность по сравнению с процессом, происходящим на других типах оборудования, лучшее качество изделия, значительно больший диапазон применения (по номенклатуре, конфигурации и размерам изделий), меньшие отходы материала. Такие машины получили широкое применение.

Создаваемые в настоящее время литьевые машины для переработки реактопластов в значительной степени унифицируются с машинами для переработки термопластов.

Машина для отливки изделий объемом до 63 $см^3$ из реактопластов показана на рис. VII.13. Механизм запирания (гидравлической конструкции) оснащен гидроблоком. В гидроцилиндре *2* поршень *3* имеет внутреннюю полость *б*, отделенную от поршневой полости *а* цилиндра обратным клапаном *1*. Поршень *4* служит для быстрого

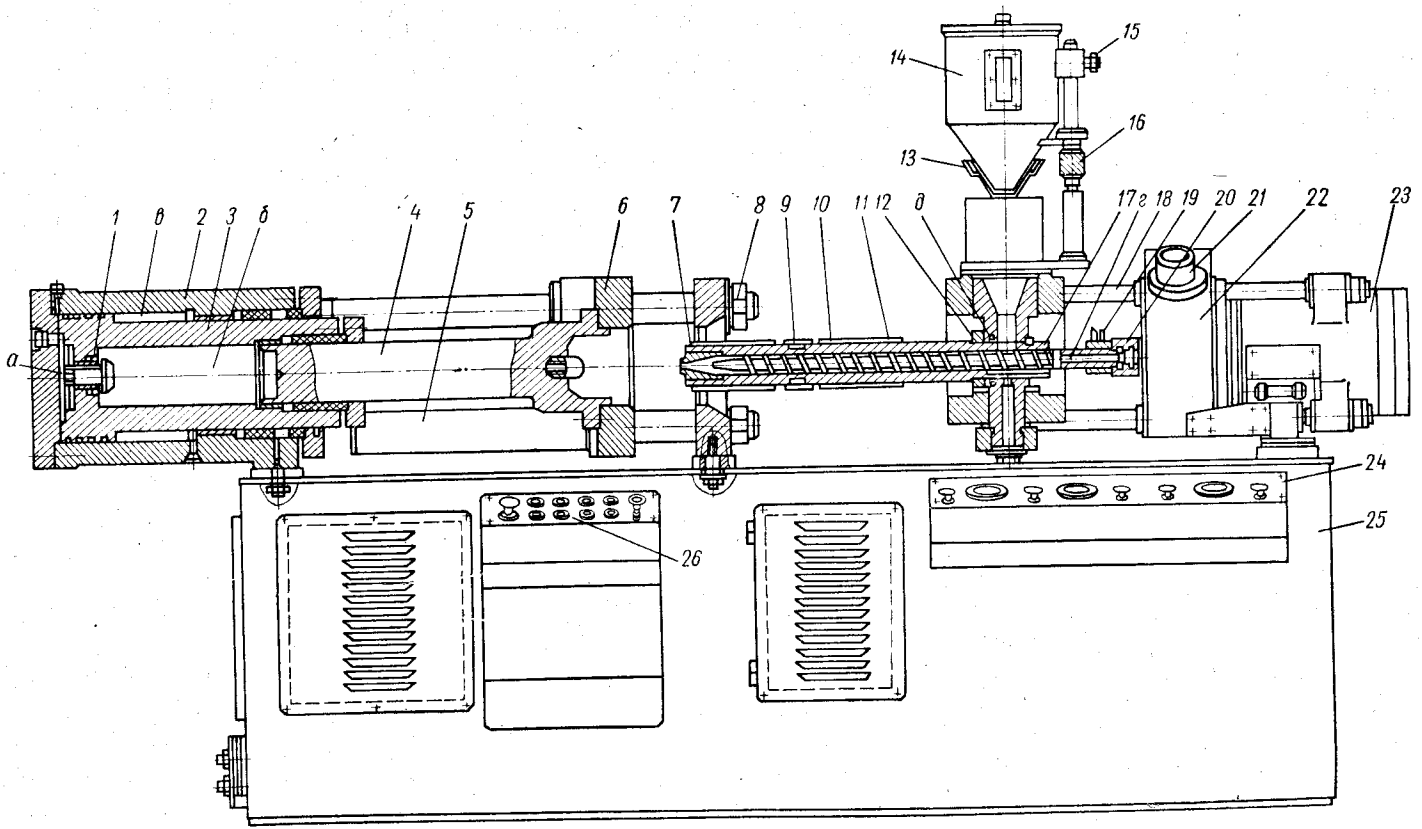


Рис. VII.13. Литьевая машина для реактопластов:

1 — обратный клапан; *2*, *5* — гидроцилиндры; *3*, *4* — поршни; *6* — плита; *7* — сопло; *8* — наконечник; *9* — кольцо; *10* — червяк; *11* — инжекционный цилиндр; *12*, *16*, *17* — регулировочные гайки; *13* — вибродозатор; *14* — бункер; *15* — винт; *18* — колонна; *19* — коллектор; *20* — муфта; *21* — тахометр; *22* — каретка; *23* — гидроцилиндр впрыска; *24* — панель; *25* — станина; *26* — пульт управления.

перемещения подвижной плиты *6* вперед. Обратное движение плиты *6* происходит под действием двух гидроцилиндров *5*. В исходном положении механизма поршень *4* находится в крайнем левом положении. Обратный клапан *1* открыт. Масло подается в проточку *а* поршневой полости и через открытый обратный клапан поступает в полость *б*. Подвижная плита *6* перемещается вперед с большой скоростью.

После соприкосновения форм давление в поршневой полости увеличивается. Обратный клапан *1* закрывается под действием пружины. Полость *б* становится замкнутой и через нее передается давление. При раскрытии форм давление в поршневой полости *а* снимается и передается в штоковые полости *в* цилиндра *2* и в цилиндры *5* обратного движения. Подвижная плита *6* с поршнем *4* перемещается назад до исходного положения. Формы имеют электрический обогрев с автоматическим контролем и регулированием температуры.

Инжекционный узел установлен на колоннах и перемещается для подвода и отвода сопла с помощью гидроцилиндра, расположенного ниже инжекционного цилиндра (на рисунке не показан).

Привод червяка *10* осуществляется от гидравлического двигателя через червячный редуктор. Каретка *22* с приводом перемещается по колоннам *18*. Число оборотов червяка контролируется тахометром *21*. Поршневая и штоковая полости гидроцилиндра впрыска *23* управляемы. Это позволяет производить отвод червяка на наладочном режиме. Инжекционный цилиндр *11* крепится к плите гайкой *12*. Червяк соединяется с приводным валом муфтой *20*. Положение цилиндра относительно плиты регулируется гайками *12* и *17*, что позволяет менять расстояние между соплом *7* и наконечником *8* червяка в его переднем положении.

Две зоны электрического обогрева разделены кольцом *9*, в которое подводится охлаждающая вода. Загрузочное отверстие цилиндра охлаждается по каналам *д*. В каждой зоне обогрева в стенке цилиндра установлены термопары. Температура контролируется показывающими милливольтметрами.

Червяк (диаметр 40 *мм*, отношение $L/D = 16 : 1$) не имеет зоны сжатия. Во внутреннюю полость червяка по каналам *г* подводится вода из коллектора *19* для поддержания заданной температуры. Коническая форма наконечника *8* червяка соответствует внутренней полости сопла.

Бункер *14* машины снабжен вибродозатором *13*, осуществляющим подачу материала в загрузочное отверстие цилиндра. Положение бункера над лотком дозатора регулируется гайкой *16* и фиксируется винтом *15*. Лоток дозатора крепится на пластинчатых пружинах и под действием магнита совершает колебательные движения. Интенсивность вибрации регулируется. Включение вибратора в работу производится во время пластикации.

Узлы запирания и инжекции установлены на сварной станине *25* коробчатой формы. В нижней части станины справа расположен бак для масла гидропривода. На верхней части бака и в боковых стенках станины установлена гидроаппаратура. На передней стенке

станины расположен электропульт управления *26* и панель *24* с манометрами и маховиками для подключения манометров к гидросистеме. Регулируются и контролируются следующие параметры: давление впрыска и запирания, вторичное давление литья (давление формования), давление пластикации, давление в гидравлическом двигателе. Скорость впрыска и скорость вращения червяка также регулируются. Команда на сброс давления во время впрыска производится конечным выключателем.

На машине предусмотрен вывод газов из формы во время отверждения материала (дегазация материала). Дегазация осуществляется во время рабочего цикла машины и сопровождается уменьшением усилия впрыска и запирания в течение заданного времени и повторным созданием усилий. Время начала дегазации определяется по реле времени. Пластикация материала может осуществляться при поджатом к форме сопле и при отведенном сопле (после выдержки под давлением).

§ 7. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ ЛИТЬЕВЫХ МАШИН

Однопозиционные машины

Методика расчета однопозиционных машин для литья изделий из реактопластов и термопластов одинакова. На производительность машины влияют объем отливки, длительность цикла литья, быстроходность машины. Для расчета производительности машины принимается объем отливки $V_р$, равный 0,75 от номинального его значения $V_{ном}$:

$$V_р = 0{,}75 V_{ном}$$

Время цикла работы машины ($\tau_ц$) состоит из машинного ($\tau_м$) и технологического ($\tau_т$) времени цикла:

$$\tau_ц = \tau_т + \tau_м$$

Быстроходность $Б$ машины определяется по формуле:

$$Б = \frac{3600}{\tau_м} \qquad \text{(VII.9)}$$

В большинстве случаев машинное время определяется длительностью впрыска, смыкания и размыкания плит, подвода инжекционного цилиндра к форме (время отвода инжекционного узла и поршня или червяка является перекрываемым).

Время цикла работы машины может быть выражено следующим образом:

$$\tau_ц = \tau_т + \frac{3600}{Б} \qquad \text{(VII.10)}$$

Количество циклов в час:

$$n_ч = \frac{3600}{\tau_ц} = \frac{3600}{\tau_т + \frac{3600}{Б}} \qquad \text{(VII.11)}$$

Число циклов работы машины в год ($n_г$) при годовом эффективном фонде времени $T_г$:

$$n_г = \frac{3600}{\tau_т + \frac{3600}{Б}} \cdot T_г \qquad \text{(VII.12)}$$

Тогда количество переработанного за год материала Q (в *т/год*) будет равно:

$$Q = \frac{27 \cdot 10^{-4} V_р T_г \rho}{\left(\tau_т + \frac{3600}{Б}\right) 10\,000} \qquad \text{(VII.13)}$$

где ρ — плотность материала, *г/см*^{3}.

Как следует из формулы (VII.13), производительность машины определяется ее быстроходностью. Увеличение быстроходности приводит к повышению производительности машины, при этом годовые эксплуатационные расходы, приходящиеся на весовую единицу переработанного материала, снижаются.

Многопозиционные машины

Многопозиционные литьевые машины имеют несколько позиций впрыска и смыкания форм и отличаются большей производительностью по сравнению с однопозиционными машинами. Применяются револьверные, револьверно-роторные и роторные многопозиционные литьевые машины. Револьверные машины имеют одну позицию впрыска и несколько позиций смыкания форм, расположенных на вращающемся столе. В роторных машинах число позиций впрыска и смыкания форм одинаково. Револьверно-роторные машины имеют несколько позиций впрыска и несколько позиций смыкания форм, причем число позиций впрыска не равно числу позиций смыкания.

Схема револьверной литьевой машины представлена на рис. VII.14. На вращающемся столе *1* укреплено несколько форм. В позиции *I* форма сомкнута и в нее подается расплавленный материал, подготовленный в инжекционном узле *2*. Происходит выдержка материала под внешним давлением. После ее окончания давление формования снимается и вращающийся стол поворачивается в следующую позицию. В позицию *I* устанавливается другая форма и вновь производится впрыск материала в форму и т. д. В позиции *VI* форма раскрывается и из нее извлекается готовое изделие. Далее цикл повторяется.

Работа роторной и револьверно-роторной машины отличается от работы револьверной машины непрерывностью перемещения стола. На роторной машине выдержка под давлением производится в каждой позиции, на револьверно-роторной — только в позициях, связанных с инжекционными узлами.

По назначению многопозиционные литьевые машины можно подразделить на универсальные, предназначенные для получения широкого ассортимента изделий, и специальные, предназначенные для изготовления определенных видов изделий. К числу специальных многопозиционных машин относится, например, машина для заливки подошв обуви.

Многопозиционные машины создаются в горизонтальном и вертикальном исполнении механизмов смыкания и инжекции. Они предназначены для переработки как термопластичных, так и термореактивных материалов. Конструктивной особенностью многопозиционных машин, отличающей их от однопозиционных, является

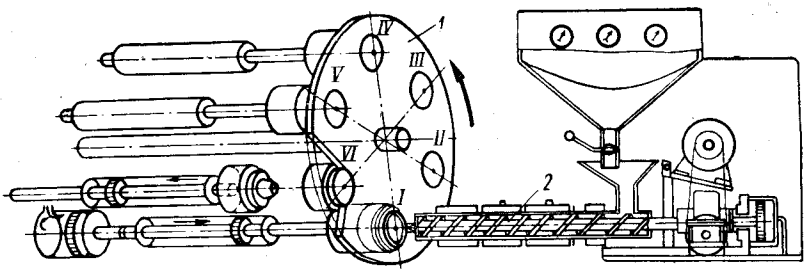


Рис. VII.14. Схема револьверной литьевой машины:
1 — вращающийся стол; *2* — инжекционный узел; *I—VI* — позиции формования.

наличие вращающегося барабана (стола, ротора) с формами, механизма поворота, механизма фиксации подвижных узлов и механизма удаления литников. Между собой многопозиционные машины различаются по конструктивному оформлению основных узлов. Для обеспечения автоматической работы таких машин в их конструкциях предусматриваются механизмы для извлечения литника из литниковой втулки формы и механизмы, проверяющие чистоту литникового отверстия перед впрыском.

Производительность многопозиционной машины, по аналогии с однопозиционной, подсчитывается по зависимости (в *кг/год*)

$$Q = \frac{3{,}6}{\sum \tau_{ц}} \rho V T_{г} \qquad \text{(VII.14)}$$

или другой формуле (в *кг/ч*)

$$Q = 3{,}6 \frac{V\rho}{\sum \tau_{ц}} \qquad \text{(VII.15)}$$

Здесь V — объем отливки, *см*^{3}; $T_г$ — фонд времени работы машины в год, *ч*; $\Sigma \tau_ц$ — общая продолжительность (время) цикла, *сек*; ρ — плотность материала, *г/см*^{3}.

Время цикла при работе револьверной машины складывается из длительности следующих операций:

$$\sum \tau_{ц} = \tau_{впр} + \tau_{выд} + \tau_{пов} + \tau_{п} \qquad \text{(VII.16)}$$

где $\tau_{впр}$, $\tau_{выд}$, $\tau_{пов}$, $\tau_{п}$ — соответственно продолжительности впрыска, выдержки под давлением, поворота ротора машины на одну позицию и паузы между циклами.

Время полного поворота ротора определяется продолжительностью охлаждения изделия и складывается из времен $\tau_{впр}$, $\tau_{выд}$, $\tau_{пов}$ и $\tau_{п}$ в каждом цикле.

Величины $\tau_{впр}$ и $\tau_{выд}$ определяются конструкцией формы, $\tau_{п}$ — конструкцией машины, а $\tau_{пов}$ рассчитывается из условия обеспечения требуемой продолжительности цикла.

С учетом числа позиций револьверной машины значение $\tau_{пов}$ вычисляется по формуле:

$$\tau_{пов} = \frac{1}{k_{р.\,м} - k_{в.\,р} - 1} \cdot \tau_{охл} + (\tau_{впр} + \tau_{выд} + \tau_{п}) \frac{k_{р.\,м} - k_{в.\,р} - 2}{k_{р.\,м} - k_{в.\,р} - 1} \qquad \text{(VII.17)}$$

где $k_{р.\,м}$ — число позиций револьверной машины; $k_{в.\,р}$ — число позиций между позицией впрыска и размыкания (может быть нецелым числом).

Пластикационная производительность $Q_{пл}$ (в *кг/ч*) револьверной машины рассчитывается по формуле:

$$Q_{пл} = \frac{3{,}6 V_0 \rho}{\tau_{пл}} \qquad \text{(VII.18)}$$

где V_0 — номинальный объем отливки, *см*^{3}; ρ — плотность перерабатываемого материала, *г/см*^{3}; $\tau_{пл} = \tau_{пов} + \tau_{п}$ — время пластикации, *сек*.

При расчете производительности машины принимается, что пластикационная производительность ее инжекционного цилиндра обеспечивает подготовку материала для рассчитанного цикла при наибольшей быстроходности машины.

* * *

Обслуживание литьевого оборудования требует соблюдения мер техники безопасности. Это особенно важно при наладке машины и ее эксплуатации, при обслуживании формы, механизма запирания, а также эксплуатации нагревателей и электросистем. Во избежание травм при съеме изделия на машине имеются оградительные решетки, препятствующие проникновению рук в зону смыкания форм. При отладке формы, когда допускается работа на ручном режиме с открытым ограждением, перемещение плиты обеспечивается нажатием двух кнопок, которое производится обеими руками. В случае наладки машины следует остерегаться травм рук при чистке сопла и литниковой втулки. Для предотвращения ожогов рук обогреватели

инжекционного цилиндра защищены кожухом, снижающим теплопотери и температуру внешних деталей. Для предохранения от поражения электрическим током запрещается открывать электрошкаф при работающей машине и при включенном рубильнике электрошкафа.

ЛИТЕРАТУРА

С. Г. Гурвич, Г. А. Ильяшенко, С. Х. Свириденко, Машины для переработки термопластичных материалов, Изд. «Машиностроение», 1965.

В. К. Завгородний, Э. Л. Калинчев, Е. И. Марам, Литьевые машины для термопластов и реактопластов, Изд. «Машиностроение», 1968.

Г. Н. Кругляченко, И. С. Кричевер, Н. И. Найгуз, Термопластавтоматы, Изд. «Машиностроение», 1966.

Глава VIII

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЛИСТОВЫХ И ПЛЕНОЧНЫХ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

§ 1. ОСОБЕННОСТИ И КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ФОРМОВАНИЯ

Изделия из листовых и пленочных термопластичных материалов можно изготовлять методами вакуумного, пневматического и механического формования, при этом возможны комбинации перечисленных методов. Поскольку все указанные методы предусматривают переработку нагретого до высокоэластического состояния материала-заготовки, их можно объединить общим названием «термоформование».

Распространение термоформования объясняется относительной простотой, компактностью и невысокой стоимостью машин для вакуумного, пневматического и механического (штамповка) формования. Методы термоформования дают возможность применять технологичные конструкции формующего инструмента, что особенно важно при изготовлении тонкостенных и крупногабаритных изделий сложной конфигурации. Известно, что многие изделия из термопластов (облицовочные панели, дверцы и корпуса холодильников, контейнеры, тару и т. д.) можно изготовлять методом литья под давлением, а также методами термоформования. Опыт показывает, что формующие машины существенно дополняют возможности литьевых термопластавтоматов, а в ряде случаев являются единственно приемлемыми, например, при изготовлении изделий площадью > 1 *м*^{2}. Наибольший технико-экономический эффект достигается, как отмечалось выше, при формовании крупногабаритных тонкостенных изделий и упаковочной тары в многогнездных формах.

К общим достоинствам методов термоформования относится простота автоматизации технологических процессов, а к их недостаткам — бóльшая, чем при литье под давлением, продолжительность циклов формования, сложность нагрева заготовок, формования и обрезки листов толщиной > 6 *мм*, повышенные отходы материала. Заготовки в виде листов и пленок на 70—100% дороже гранулированного сырья.

Рассмотрим особенности основных методов термоформования.

Схемы методов вакуумформования листовых термопластов даны на рис. VIII.1.

При негативном формовании (рис. VIII.1, *а*) предварительно размягченная нагревателем заготовка *1* втягивается в вогнутую форму *2* под действием разности между атмосферным давлением и остаточным давлением в вакуумируемой полости формы. Заготовка плотно прижимается по контуру зажимной рамой *4*. Воздух отсасывается из формы вакуум-насосом через трубопровод, расположенный в стойке *3*, и каналы в форме.

В случае позитивного формования (рис. VIII.1, *б*) нагретая заготовка предварительно вытягивается при перемещении снизу вверх

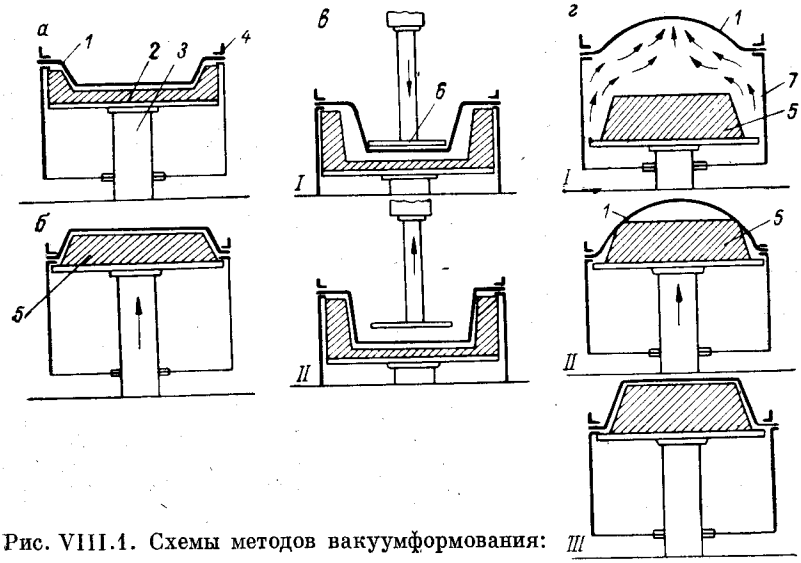


Рис. VIII.1. Схемы методов вакуумформования:

а — в негативной форме; *б* — в позитивной форме; *в* — с предварительной вытяжкой заготовки пуансоном; *г* — с предварительной пневматической вытяжкой заготовки.
1 — заготовка (лист); *2* — негативная форма; *3* — стойка; *4* — зажимная рама; *5* — позитивная форма; *6* — пуансон; *7* — формовочная камера; *I* — *III* — позиции формования.

выпуклой формы *5*. После этого трубопровод и форма соединяются с вакуумной линией и производится окончательное формование изделия. Нагретый лист можно также опускать и натягивать на форму.

Вакуумформование в негативной форме с помощью пуансона показано на рис. VIII.1, *в*. Пуансон *6*, перемещающийся под действием пневматического или гидравлического цилиндра, осуществляет предварительную вытяжку материала (позиция *I*). Окончательное формование происходит при вакуумировании полости формы (позиция *II*). Метод применяется при формовании изделий с глубокой полостью, а также изделий из листов толщиной 3—5 *мм*.

Позитивное формование часто сочетают с предварительной пневматической вытяжкой формуемой заготовки сжатым воздухом, который нагнетается в формовочную камеру *7* (рис. VIII.1, *г*) через

каналы формы и трубопровод, обычно предназначенные для вакуумного отсоса воздуха (позиция *I*). Такая операция позволяет изготовлять изделия с более равномерной толщиной стенок. После этого нагретая заготовка дополнительно вытягивается поднимающейся позитивной формой *5* (позиция *II*), а затем лист или пленка *1* плотно облегает форму (позиция *III*).

При осуществлении метода «свободного» формования листовая заготовка нагревается над вакуум-камерой, после чего втягивается в нее под действием атмосферного давления. Изделие в виде сферы (при цилиндрической камере) не касается стенок камеры и охлаждается при частичном вакууме для сохранения полученной формы.

В случае свободного пневмоформования нагретый лист формуется под давлением нагнетаемого в камеру сжатого воздуха. Нагнетание воздуха прекращается после придания изделию необходимой конфигурации.

Метод механической вытяжки цилиндрическим пуансоном позволяет получать конические изделия.

Профильные изделия из нагретых листовых термопластов формуют также методом штамповки в форме, состоящей из неподвижной матрицы и подвижного пуансона.

При всех описанных методах формования после нагрева формуемой заготовки до необходимой температуры нагреватель необходимо удалять из зоны формования.

Области применения указанных выше методов различны. Так, например, негативное формование глубоких изделий с прямыми стенками и острыми углами вызывает уменьшение толщины стенок в зоне дна, в ребрах между стенками и в углах. При предварительной механической вытяжке заготовки пуансоном можно изготовлять более равностенные изделия с глубокой полостью. Однако дно таких изделий имеет увеличенную толщину, поскольку в зоне контакта заготовки с пуансоном формуемый материал не растягивается. Если толщина дна и стенок изделия должны быть одинаковы, перед механической вытяжкой производят пневматическую вытяжку. Еще лучшие результаты достигаются при помощи создания воздушной «подушки» между пуансоном и заготовкой, а также некоторого противодавления воздуха в негативной форме или формовочной камере с противоположной стороны формуемой заготовки. В этом случае при вытяжке предварительно размягченной и прижатой к форме заготовки наружная поверхность ее не соприкасается с холодными стенками гнезд формы, что позволяет избежать царапин на наружной поверхности формуемого изделия. Необходимый воздушный подпор создается вследствие быстрой деформации формуемой заготовки движущимися пуансонами при частично открытом вакуумном вентиле.

Качество формуемых изделий зависит от зазора между краями зажимной рамы и кромкой гнезда формы. В свою очередь величина зазора находится в зависимости от толщины заготовки, размеров и конфигурации формуемого изделия, а также от температуры

формования и составляет 12,5—75 *мм*. Контур зажимной рамы подобен наружному контуру гнезда формы. Во избежание разностенности формуемых изделий при использовании многогнездных форм зажимная рамка должна прижимать формуемую заготовку в зоне каждого гнезда формы.

Пуансон обычно изготовляют из плотных пород дерева или из металлов. В последнем случае во избежание охлаждения формуемой заготовки пуансон обогревается. Площадь торца пуансона составляет ~80% площади дна гнезда формы, а контуры их аналогичны. Длина пуансона и глубина гнезда формы чаще всего одинаковы или отличаются незначительно, что позволяет избежать царапин и морщин

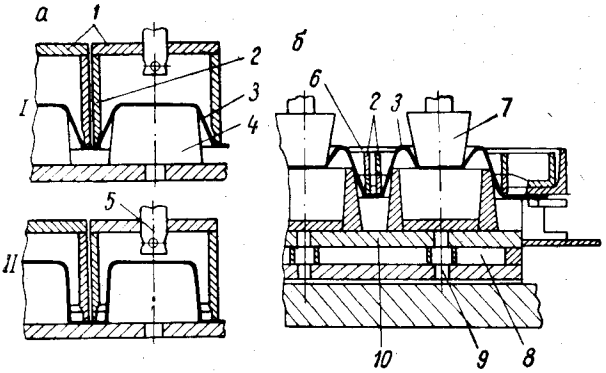


Рис. VIII.2. Схемы методов пневмоформования:

а — с помощью формовочной камеры; *б* — с предварительной вытяжкой заготовки (комбинированный метод);
1 — формовочная камера; *2* — ребра; *3* — формуемый лист; *4* — знак; *5* — труба; *6* — рама; *7* — пуансон; *8*, *9* — каналы; *10* — плита; *I*, *II* — позиции формования.

на кромках изделий, а при наличии воздушного подпора — утонения изделий в верхней части пуансона. Скорость движения пуансона не должна быть слишком высокой, так как при этом трудно точно регулировать давление в полости формы даже при наличии предохранительных пневматических клапанов. При недостаточной скорости движения пуансона формуемая заготовка может переохладиться до начала формования. Обычно скорость движения пуансона при формовании изделий из листов составляет ~ 25 *мм/сек*.

Схемы методов пневмоформования показаны на рис. VIII.2. По первому из приведенных методов (рис. VIII.2, *а*) процесс осуществляется с помощью формовочных камер *1*, ребра *2* которых выполняют роль зажимной и формующей рамы. Это позволяет упростить конструкцию машины и использовать для зажима формуемой заготовки (листа) *3* усилие верхнего пневматического цилиндра. Предварительное драпирование формуемым листом выпуклых знаков *4* позитивной формы осуществляется путем механической вытяжки материала (позиция *I*).

Для окончательного формования изделий через трубу *5* нагнетается сжатый воздух (позиция *II*). В данном случае давление сжатого воздуха может значительно превышать 0,1 *Мн/м*^{2}, что позволяет формовать листы термопласта большой толщины.

Один из вариантов комбинированного пневмовакуумформования показан на рис. VIII.2, *б*. Формуемый лист *3* зажимают в раме *6* с ребрами *2* и нагревают до пластичного состояния. После этого поднимается плита *10* с многогнездной негативной формой, через гнезда которой при соприкосновении с листом нагнетается сжатый

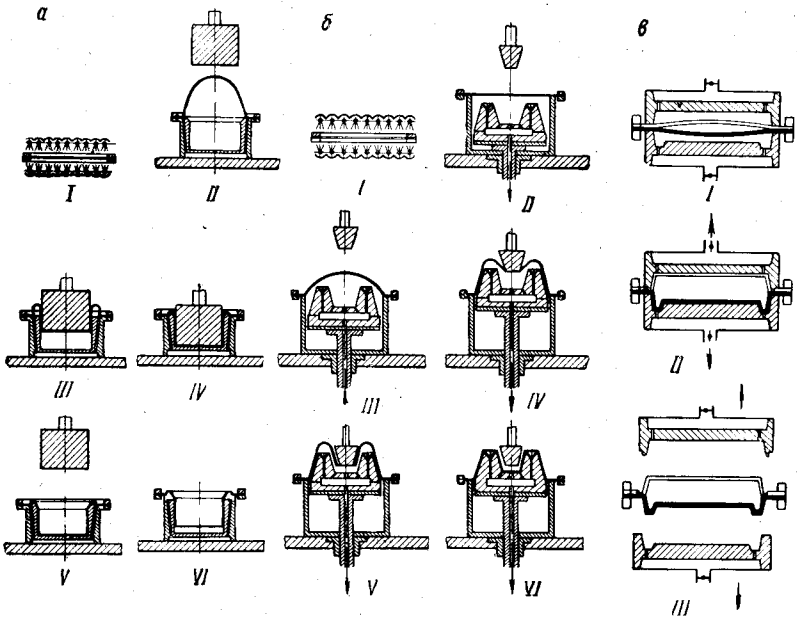


Рис. VIII.3. Пооперационные схемы формования изделий:

а — пуансоном для образования глубокой полости; *б* — комбинированным методом; *в* — методом двухстороннего формования; *I—VI* — позиции формования.

воздух для предварительной пневматической вытяжки формуемой заготовки. Предварительное формование изделий производится пуансонами *7*, а окончательное формование — при вакуумировании гнезд формы через каналы *9*. При этом можно изготовлять изделия не только с равномерной, но и с переменной, заранее заданной толщиной стенок. Форма охлаждается водой, циркулирующей в каналах *8*.

Пооперационные схемы формования отдельными из рассмотренных методов приведены на рис. VIII.3.

Схема формования пуансоном изделий с глубокой полостью из листовых заготовок дана на рис. VIII.3, *а*. После двухстороннего нагрева листа инфракрасным нагревателем (позиция *I*) зажимная

рама с листом устанавливается на форму и производится предварительная пневматическая вытяжка формуемого материала (позиция *II*). В двух последующих позициях осуществляется формование изделий пуансоном (в позиции *III* в полости формы сохраняется воздушная «подушка», а в позиции *IV* форма соединяется с вакуумной линией). После охлаждения изделия пуансон поднимается (позиция *V*) и рама с изделием удаляется из формы (позиция *VI*). Для облегчения выталкивания изделия в полость формы обычно нагнетается сжатый воздух.

На рис. VIII.3, *б* показана операционная схема формования изделий комбинированным методом с применением выпуклой подвижной формы и пуансона. Нагретый лист устанавливают над формовочным ящиком (позиции *I* и *II*). После предварительной пневматической вытяжки форма поднимается, а пуансон опускается, соприкасаясь с нагретым материалом (позиции *III* и *IV*). Окончательное формование листа (позиции *V* и *VI*) осуществляется пуансоном и атмосферным давлением воздуха (благодаря вакуумированию полости формы). Воздух отсасывается и нагнетается через каналы в форме и центральный канал в штоке. В позиции *II* отсасывается небольшое количество воздуха для частичной деформации листа в нижнем направлении. В позиции *III* лист вытягивается нагнетаемым сжатым воздухом. В позициях *IV—VI* из формы постепенно отсасывается воздух. Однако при деформации листа пуансоном в полости формы остается воздушная «подушка», вследствие чего обеспечивается равностенность формуемых изделий.

Большой интерес представляет схема двухстороннего вакуумного формования (рис. VIII.3, *в*). В раме одновременно зажимаются и нагреваются две заготовки (листа). После этого раму с листами устанавливают в форму с двухсторонним вакуумным отсосом. Верхняя и нижняя полуформы сближаются, зажимая лист по периферии (позиция *I*). После этого полости обеих полуформ соединяются с вакуумной линией и оба листа приобретают очертания своих полуформ (позиции *I* и *II*). В позиции *III* полуформы разводятся, освобождая два отформованных изделия, удерживаемых на зажимной раме.

Нагрев заготовок перед формованием обычно производится инфракрасными нагревателями, реже — нагревательными спиралями сопротивления. Это — одна из ответственных технологических операций. Нагрев может быть одно- и двухсторонним.

При формовании тонких листов и пленки из полиэтилена материал нагревают только с одной стороны. Продолжительность нагрева несколько превышает суммарное время формования, охлаждения и извлечения изделия из формы. Двухсторонний нагрев применяется при формовании листов толщиной >6 *мм*.

При нагреве заготовок лучистой энергией плоского нагревателя края листа нагреваются медленнее, чем середина (в связи с более интенсивными потерями тепла в окружающую среду). Для устранения этой неравномерности нагрева площадь нагревателя должна несколько превышать площадь нагреваемой заготовки, а сам нагре-

ватель должен находиться на близком расстоянии от заготовки, но не менее 100 *мм*. Для нагрева листов толщиной > 5 *мм* обычно применяют инфракрасные излучатели с рефлекторами, которые создают тепловой барьер и отражают часть инфракрасных лучей на зажимную раму, вследствие чего уменьшаются потери тепла на краях листа и продолжительность нагрева. Наиболее эффективные виды нагревателей показаны на рис. VIII.4.

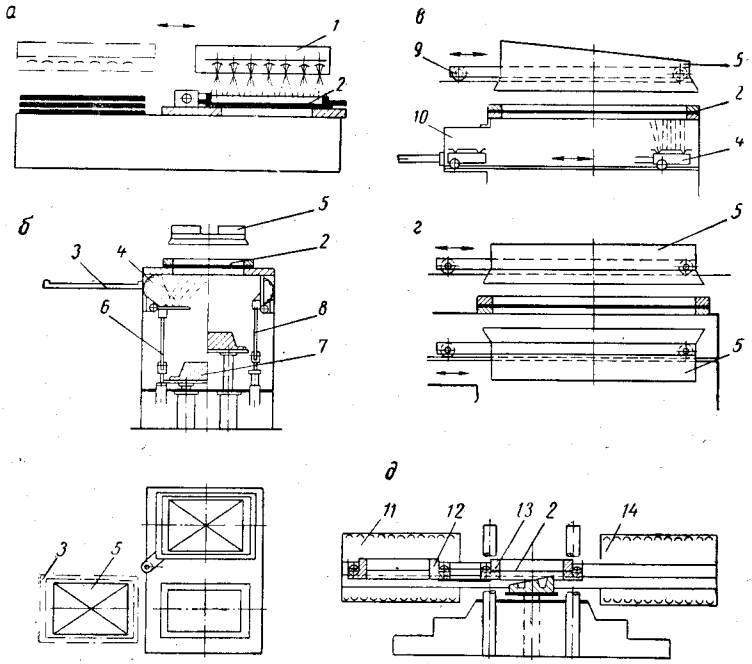


Рис. VIII.4. Инфракрасные нагреватели:

а — передвижной нагреватель для одностороннего нагрева; *б—г* — передвижные нагреватели для двухстороннего нагрева; *д* — устройство для двухстороннего нагрева листов в двух камерах;
1, 4, 5 — нагреватели; *2* — нагреваемый лист; *3, 12, 13* — зажимные рамы; *6* — рефлектор; *7* — позитивная форма; *8* — шток; *9* — каретка; *10* — ниша; *11, 14* — камеры.

Для одностороннего верхнего нагрева формуемой заготовки *2* (рис. VIII.4, *а*) применяют передвижной нагреватель *1*. В то время, как в левой позиции формуется и охлаждается изделие, в правой осуществляется нагрев заготовки. После закладки очередной заготовки, например, в левую форму, нагреватель перемещается в ту же сторону.

Формующее устройство с нагревателями для двухстороннего нагрева заготовок (листов) *2* показано на рис. VIII.4, *б*. Лист вначале устанавливают на поворотной зажимной раме *3*. Сверху он нагревается подвижным нагревателем *5*, а снизу — нагревателями *4*

с отражательными рефлекторами *6*. При подъеме позитивной формы *7* рефлектор поворачивается под действием подвижных штоков *8*. В другом случае (рис. VIII.4, *в*) применяют установленный на каретке *9* верхний нагреватель *5* и передвижной нижний нагреватель *4*, который в процессе нагрева перемещается вдоль листа *3*, а при формовании устанавливается в нише *10*. Перед началом формования удаляется и верхний нагреватель. Для двухстороннего нагрева применяются также спаренные нагреватели, установленные на подвижных каретках (рис. VIII.4, *г*). По мере надобности верхний и нижний нагреватели удаляются от листа в процессе формования.

Стабильный нагрев материала и равномерное температурное поле обеспечивается нагревательными камерами *11* и *14* (рис. VIII.4,*д*), расположенными справа и слева от формующего устройства. В верхней и нижней части каждой камеры установлены инфракрасные нагреватели с отражательным экраном. В формующем устройстве применены две соединенные между собой зажимные рамы *12* и *13*. В то время как лист *2* нагревается в левой раме, в правой он формуется. После удаления отформованного изделия и закладки нового листа рамы перемещаются вправо таким образом, что зажатый в левой раме лист формуется, а установленный в правой раме — нагревается.

Продолжительность нагрева материала τ (в *сек*) определяют по приближенной зависимости:

$$\tau = \frac{c\rho\,(t_2 - t_1)\,\delta^2}{1{,}15 \cdot 10^3 \lambda\,\Delta t} \qquad \text{(VIII.1)}$$

где c — удельная теплоемкость материала, *дж/(кг·град)*; ρ — плотность материала, *кг/м*^{3}; t_1 — начальная температура материала, °С; t_2 — температура размягчения материала, °С; δ — толщина нагреваемого листа, *м*; λ — теплопроводность материала, *вт/(м·град)*; Δt — разность температур на противоположных поверхностях листа, *град*.

Поскольку в указанной зависимости имеется несколько переменных величин (t_2, Δt, λ), расчет продолжительности нагрева производят методом последовательного приближения. На практике пользуются номограммами, построенными по этой зависимости.

Кроме расчета τ производится определение основных технологических параметров и производительности оборудования, которое рассматривается здесь на примере машины для вакуумформования.

Изменение давления в форме в течение цикла формования описывается уравнением:

$$p_i = \frac{(p_i + Kp_o)\,V_\Phi}{V_\Phi\,(1+K) - V_i} \qquad \text{(VIII.2)}$$

где p_o — остаточное давление в вакуумном ресивере; V_i — объем воздуха, вытесняемого из формы; V_Φ — объем полости формы; $K = V_p/V_\Phi$ — отношение объема ресивера к объему полости формы.

Формуемые листы или пленки деформируются под действием разности между атмосферным давлением p_a и давлением в форме p_t:

$$p_t' = p_a - p_t = \frac{KV_ф(p_a - p_o) - V_t p_t}{V_ф(1+K) - V_t} \qquad \text{(VIII.3)}$$

Давление формования в начале и конце формования $p_н'$ и $p_к'$ (т. е. когда соответственно $V_t = 0$ и $V_t = V_ф$; $p_o = 0$, $p_a = 1$):

$$p_н' = \frac{K}{1+K} \qquad \text{(VIII.4)}$$

$$p_к' = \frac{K-1}{K} \qquad \text{(VIII.5)}$$

Перепад между максимальным и минимальным давлениями формования равен:

$$\Delta p' = \frac{1}{K(K+1)} \qquad \text{(VIII.6)}$$

Работа формования определяется по уравнению

$$A = \int_0^V p_t' \, dV = \int_0^V \frac{KV_ф(p_a - p_o) p_t V_t}{V_ф(1+K) - V_t} \, dV$$

в результате интегрирования которого получим:

$$A = V_ф [p_a - (p_a - Kp_o) \ln \frac{1+K}{K} \qquad \text{(VIII.7)}$$

После преобразований и подстановки значений p_o и p_a (в $н/м^2$) уравнение (VIII.7) примет вид (A будет выражено в $н \cdot м$, если $V_ф$ — в $м^3$):

$$A = 10V_ф \left(1 - 2{,}303 \lg \frac{1+K}{K}\right)$$

Теоретическая мощность, расходуемая на вакуумное формование, рассчитывается следующим образом:

$$N_т = \frac{A}{\tau_ц} = 10V_ф \frac{\left(1 - 2{,}303 \lg \frac{1+K}{K}\right)}{102\tau_ц \eta}$$

где $\tau_ц$ — продолжительность цикла формования, *сек*; $\eta = N_т/N$ — к. п. д. вакуумформовочной машины (N — мощность привода вакуум-насоса).

Усилие зажима листа при формовании равно:

$$S = qP_п w \qquad \text{(VIII.8)}$$

где q — удельное давление зажима (значение q должно быть меньше предела текучести термопласта при температуре формования); $P_п$ — периметр зажимного листа; w — ширина зажимаемой кромки.

Выбранное усилие зажима должно удовлетворять условию:

$$S \geqslant \frac{\sigma \delta P_{\text{п}}}{f} \qquad \text{(VIII.9)}$$

где σ — напряжение, возникающее в листе (определяется опытным путем); δ — толщина листа; f — коэффициент трения.

Производительность вакуумформовочной машины зависит от продолжительности нагрева материала, а также от длительности вспомогательных операций, связанных с обслуживанием машины:

$$Q = \frac{kF\delta\rho}{\tau_{\text{ц}}} \qquad \text{(VIII.10)}$$

где Q — производительность вакуумформовочной машины, *кг/ч*; $k = 0{,}75 \div 0{,}85$ — коэффициент использования машинного времени; F — площадь формуемого материала, *м*^{2}; δ — толщина материала, *м*; ρ — плотность материала, *кг/м*^{3}; $\tau_{\text{ц}}$ — продолжительность цикла формования, *ч*.

На производстве установлены определенные технологические рекомендации по изготовлению качественных изделий методом вакуумформования.

При позитивном формовании изделий из полиэтилена высокой плотности диаметр отверстий в форме, через которые производится вакуумирование, не превышает 0,6 *мм*. Формование начинают после достижения высокоэластического состояния, при котором полиэтилен становится прозрачным. Вследствие хорошего контакта между листом полиэтилена и формой при позитивном формовании материал быстро остывает, что способствует уменьшению усадки. Для получения равномерной толщины стенок рекомендуется температура формы 70—80° С и невысокая скорость вытяжки.

Из ударопрочного полистирола изготовляют изделия с глубокой полостью при температуре 100—140° С. Во избежание потери глянца полированные листы следует формовать при температуре ⩽110° С. В формах со сложным профилем получают изделия из неполированного полистирола при температуре 130—140° С, что способствует более точному воспроизведению профиля формы. Изделия из листового полиметилметакрилата (ПММА) формуют при 130—150° С. В этом случае необходима предварительная многократная вакуумная и пневматическая вытяжка материала. Перед установкой листа в зажимную раму его целесообразно предварительно нагреть. Отформованное изделие вначале нагревают, а затем охлаждают под вакуумом с целью устранения коробления изделий под действием усадки. Для изготовления изделий из ПММА обычно применяют метод свободного формования (см. выше).

Из листового винипласта, получаемого методом прессования многослойной каландрированной винипластовой пленки, формуют изделия при температуре 98—130° С. Нагрев материала не должен быть интенсивным во избежание порчи глянца, расслаивания материала и его термического разложения. Винипласт применяется для формования мелких изделий.

Из перечисленных материалов для вакуумного формования наиболее пригоден ударопрочный полистирол. При его формовании диаметр вакуумных отверстий в форме не должен превышать половины толщины формуемого листа (во избежание отпечатков на изделиях). Для листов толщиной >2 *мм* диаметр отверстий равен 0,8—1 *мм* (увеличивается в направлении к наружным стенкам формы). Наибольшее количество отверстий должно быть расположено в углах и на ребрах формы, а также в местах, где требуется оформление мелких деталей профиля формы. На плоских участках формы количество отверстий — минимальное.

В формах для позитивного формования необходимо избегать участков, в которых мог бы скапливаться воздух. Конструкция формы должна быть не только прочной, но и жесткой. Для этой цели в форме обычно предусматриваются ребра жесткости и применяются соответствующие комбинации материалов. Желательно оснащать формы системой охлаждения. Формы изготовляют из дерева и гипса (для мелких партий формуемых изделий), а также из металлов (при массовом производстве).

Хорошо зарекомендовали себя алюминиевые формы, которые обычно отливаются по деревянным моделям и отличаются небольшим весом и стабильностью размеров. Алюминиевые формы применяются при крупносерийном производстве, а также при формовании изделий толщиной >3 *мм*, требующих длительного охлаждения. В таких формах облегчено сверление отверстий для вакуумного отсоса. Однако стоимость форм сравнительно высока из-за необходимости их механической обработки.

Для изготовления форм применяют также сплавы свинца, олова и сурьмы, фенопласт и другие материалы. Формы из цветных сплавов отличаются большим весом, хорошей стабильностью размеров и обрабатываемостью при сверлении. Однако такие формы трудно ремонтировать и модифицировать.

Гипсовые формы очень дешевы, но непрочны, легко повреждаются и плохо охлаждаются. Иногда для упрочнения поверхности гипсовые формы покрывают фенольными или эпоксидными смолами. Такие формы пригодны для формования небольших серий простых изделий из тонкого материала.

Формы изготовляют также из прочных пород дерева. Недостатком деревянных форм является растрескивание в процессе эксплуатации и трудность охлаждения. Поверхность деревянных форм рекомендуется покрывать фенольным или эпоксидным лаком.

Большое распространение при изготовлении форм получили эпоксидные компаунды. Такие формы отличаются размерной стабильностью и легко восстанавливаются при ремонте.

§ 2. ВАКУУМФОРМОВОЧНЫЕ МАШИНЫ

В настоящее время выпускается большое количество разнотипных вакуумформовочных машин с ручным, полуавтоматическим и автоматическим управлением. Некоторые комбинированные

машины позволяют дополнительно выполнять следующие операции: штамповку, обрезку кромок, сварку, фальцовку краев, декорирование и прокатку.

Вакуумформовочные машины классифицируются по ряду признаков в зависимости от вида, толщины и площади формуемого материала (листов или пленки), метода нагрева материала (с односторонним и двухсторонним нагревом), цикличности работы (периодиче-

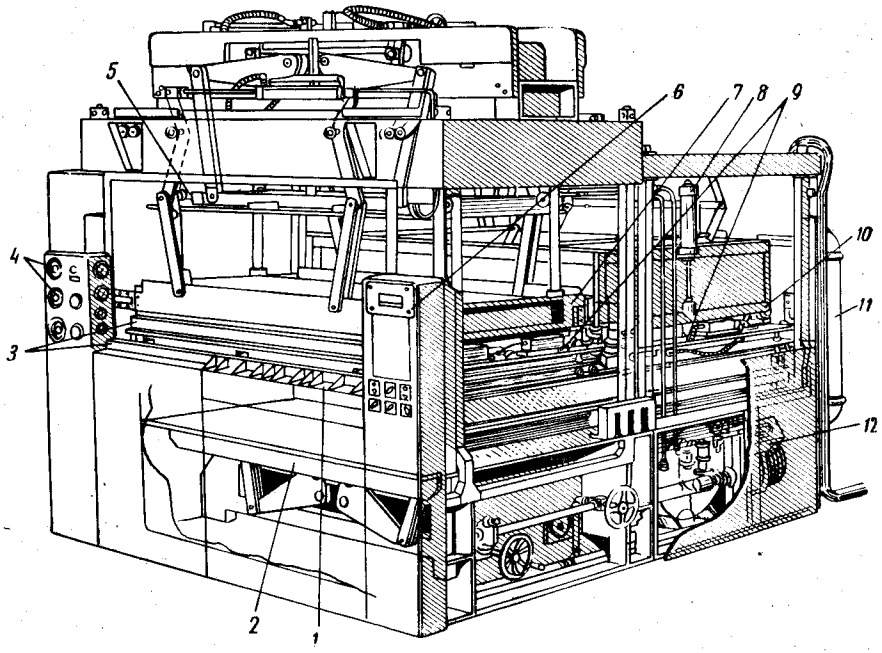


Рис. VIII.5. Универсальная вакуумформовочная машина:

1 — кнопочная станция; *2*, *5* — плиты; *3* — зажимные рамки; *4*, *6* — реле времени; *7* — зажимная рама; *8* — гидравлический цилиндр; *9* — рамки; *10* — верхний нагреватель; *11* — аккумулятор; *12* — вакуум-насос.

ского или непрерывного действия), степени универсальности (количества выполняемых на машине методов формования). Различают также одно- и многопозиционные машины, револьверные, ротационные и ленточные машины. Револьверные и ротационные машины барабанного типа применяются главным образом для формования изделий из рулонных (пленочных) термопластичных материалов. Перспективны машины роторного и ленточного типа, обеспечивающие не только формование, но и заполнение, укупорку и вырубку отформованных изделий.

Универсальная вакуумформовочная машина для переработки листовых заготовок показана на рис. VIII.5. Для увеличения производительности в машине предусмотрено совмещение операций по

времени: при формовании и охлаждении изделия осуществляется нагрев очередного листа термопласта. Машина позволяет формовать изделия методами негативного формования, позитивного формования с предварительной пневмовытяжкой и без вытяжки, механической вытяжки верхним пуансоном с воздушной подушкой (или без подушки), а также комбинацией указанных методов.

Подвижная плита *5* для установки пуансона и плита *2* для установки позитивной формы перемещаются по вертикали шарнирными механизмами, вследствие чего уменьшена высота машины и упрощены операции загрузки листа и выгрузки готового изделия. Ход плит *5* и *2* равен соответственно 114 и 61 *см*, а усилие прижима столов 26,6 и 53,3 *кн*. Предусмотрена возможность подачи сжатого воздуха через канал плиты *5*.

На машине установлены два нагревателя: верхний *10* мощностью 16 *квт/м*^{2} и нижний — мощностью 8,4 *квт/м*^{2}. Зазор между формуемым листом и каждым нагревателем можно регулировать индивидуально. По окончании операции нагрева нагреватели автоматически отводятся от листа при помощи гидравлического цилиндра *8*.

После установки листа между зажимными рамками *3* опускается главная зажимная рама *7*, которая при помощи специальных замков плотно запирает рамки *3*, а затем отходит в верхнее положение. Как только лист, зажатый в рамках *9*, нагреется до необходимой температуры, рамки с нагретым листом перемещаются в позицию формования, а зажатый в рамках *3* лист транспортируется в позицию нагрева. После этого снова опускается главная рама *7* и из нагретой заготовки формуется изделие. Максимальное усилие прижима главной рамы составляет 107 *кн*.

Окончательно отформованное изделие охлаждается сжатым воздухом и выталкивается из формы. Для поддержания необходимой температуры формы на машине установлен водяной термостат. Операции формования контролируются многопозиционным реле времени *6*, а продолжительность нагрева, охлаждения и включения вакуума регулируется с помощью реле времени *4*. По окончании цикла формования главная рама поднимается с верхней зажимной рамкой, при этом открывается защитная решетка, а оператор снимает готовое изделие и загружает машину очередным листом.

Привод машины — гидравлический, с двумя насосами и пневматическим аккумулятором *11*. Машина оснащена вакуум-насосом *12*. Общая мощность электродвигателей 11 *квт*. Машина рассчитана на подключение к цеховой магистрали сжатого воздуха, поэтому компрессор не предусмотрен. Кнопочная станция *1* предназначена для наладки машины.

Широкое распространение в странах СЭВ получили сейчас венгерские вакуумформовочные машины типа VP-Liliput, VP-Baby, VP1-940, VP-Rekord и VPB-Super (табл. VIII.1).

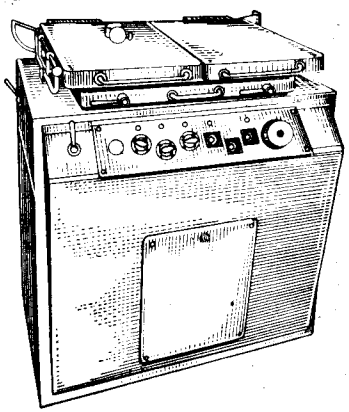
Малогабаритные машины типа VP-Liliput и VP-Baby предназначены для негативного и позитивного формования изделий небольших размеров из листовых термопластов (рис. VIII.6, *а*).

Таблица VIII.1

Технические характеристики вакуумформовочных машин

Параметры	Тип машины			
	VP-Liliput	VP-Baby	VP1-940	VP-Super
Площадь формования, *см*²	51×36	70×50	76×76	180×90
Толщина формуемого материала, *мм*	0,2—3	0,2—5	⩽6	⩽10
Максимальная глубина формования, *см*	16	36	40	40
Привод драпирующего стола	—	Пневматический	Механический или пневматический	Пневматический
Усилие драпирующего стола, *кн*	—	30	30	42
Привод и отвод нагревателя	Ручной	Пневматический	Ручной	Автоматический
Привод верхнего плунжера	—	—	—	Пневматический
Контроль операций формования по времени	—	Часовой механизм с ручным регулированием	Автоматическое и ручное регулирование	
Общая мощность привода и электрообогрева, *квт*	4	8,3	15,5	28,7
Зажимная формующая рама с изменяемыми размерами	Отсутствует		Имеется	
Размеры машины в плане, *см*	80×64×147	180×95×230	123×105×160	260×145×290
Вес машины, *кн*	3	6	13	20

а



б

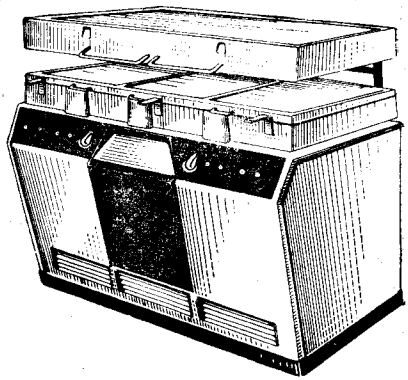


Рис. VIII.6. Общий вид вакуум-формовочных машин (ВНР):
а — типа VP-Baby; *б* — типа VP-Super.

Высокопроизводительная машина VP1-940 используется в основном для массового производства упаковочной тары. Машина позволяет изготовлять 200 коробок размером 40×40×20 *мм* в 1 *мин.*

Машина VP-Super (рис. VIII.6, *б*) имеет полуавтоматическое управление и предназначена для формования крупногабаритных изделий (ванн, корпусов холодильников и т. д.).

Для повышения производительности процесса формования изделий применяются линейные двухпозиционные или револьверные

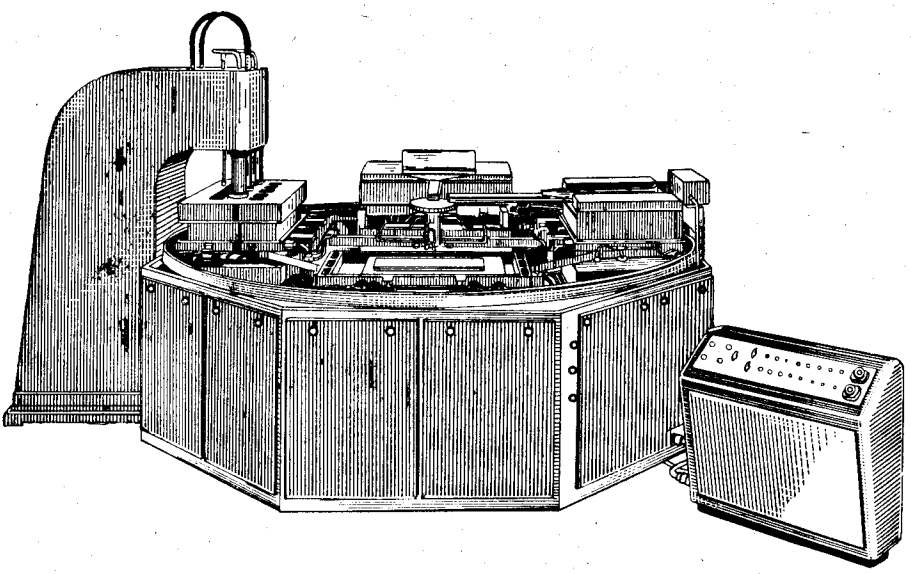


Рис. VIII.7. Четырехпозиционная револьверная вакуумформовочная машина (Италия).

многопозиционные машины. На рис. VIII.7 показана четырехпозиционная револьверная машина итальянской фирмы «Vacuum Forming Machinery».

В первой позиции оператор поднимает зажимную раму, вынимает отформованное изделие и укладывает новый лист формуемого материала. Во второй и третьей позициях осуществляется предварительный нагрев материала. В четвертой позиции, где установлен консольный пресс, происходит формование изделия.

Такая машина предназначена для формования крупногабаритных изделий из листового поливинилхлорида и ударопрочного полистирола. Вырезание или высверливание отверстий на изделиях осуществляется на машине одновременно с формованием. Максимальная площадь формования 160×80 *см*, глубина формования 20 *см*. Мощность нагревателя для двухстороннего нагрева составляет

42 *квт*. Пресс усилием 320 *кн* работает при давлении масла 14 $Мн/м^2$. Габаритные размеры машины 5×5×2,5 *м*, вес 85 *кн*.

На мощных вакуумформовочных машинах можно формовать крупногабаритные изделия с размерами 3,5×1,5×0,7 *м* (ванны, лодки и т. д.) из листов толщиной до 15 *мм*.

Представляет интерес вакуумформовочная машина для формования изделий из двухслойных материалов (рис. VIII.8), например, медицинских ванночек, состоящих из тонкого слоя прочного герметичного термопластичного материала и толстого слоя пористого

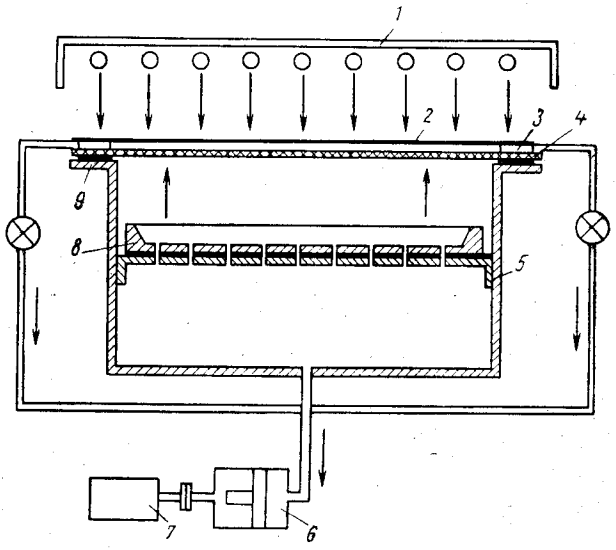


Рис. VIII.8. Схема машины для формования изделий из двухслойных материалов:

1 — нагреватель; *2* — пленка; *3* — рамка; *4* — пористый термопласт; *5* — формовочная камера; *6* — вакуум-насос; *7* — привод насоса; *8* — матрица; *9* — фланец камеры.

материала, как правило, изготовленного на той же основе. Прочное соединение между слоями происходит без применения клеящих веществ.

Машина состоит из инфракрасного нагревателя *1*, формовочной камеры *5* с зажимной рамой в верхней части и вакуум-насоса *6* с приводом *7*. В формовочной камере установлена матрица (вогнутая форма) *8* с каналами для отсасывания воздуха и создания вакуума в формовочном пространстве (между формой и формуемым материалом). На фланец *9* формовочной камеры укладывают лист пористого термопласта *4* и сверху помещают рамку *3*, имеющую по всему периметру каналы, соединенные с вакуум-насосом *6*. Рамку покрывают термопластичной пленкой *2*, после чего пакет плотно зажимают с помощью специальной рамы.

Вследствие вакуумирования зазора между слоями пористого материала *4* и пленки *2*, а также одновременного нагрева их инфракрасными лучами до пластичного состояния слои материала *2* и *4* плотно соединяются друг с другом. Затем матрица *8* поднимается, ее оформляющая полость вакуумируется и под действием разности давлений (атмосферного давления и остаточного давления в полости формы) двухслойный материал формуется в соответствии с конфигурацией формы. Небольшие газовые пузырьки, оставшиеся между слоями формуемых материалов при первой операции, полностью устраняются при окончательном вакуумном формовании изделия. Аналогичным способом можно изготовлять изделия, состоящие из трех и более слоев.

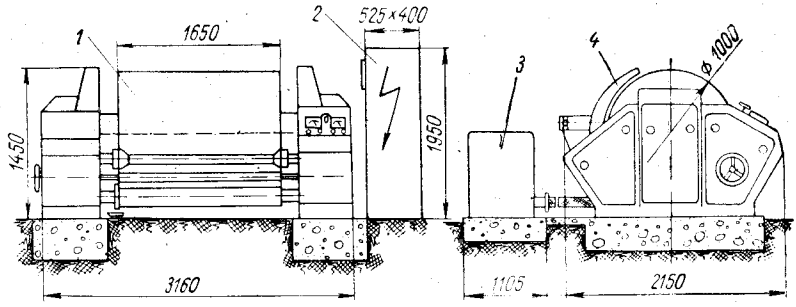


Рис. VIII.9. Ротационная вакуумформовочная машина для обработки пленки:

1 — формовочный барабан; *2* — шкаф управления; *3* — вакуумная установка; *4* — электронагревательная панель.

Полимерные пленочные материалы в настоящее время начали широко применяться для упаковки различных продуктов и изделий. При изготовлении мелких изделий типа упаковочных пакетов из пленки и завернутой в рулон ленты вакуумное формование обеспечивает очень высокую производительность. Обычно для формования изделий из рулонных термопластов используются ротационные вакуумформовочные машины, обеспечивающие непрерывное формование изделий.

Завод «Кузполимермаш» выпускает ротационную вакуумформовочную машину для нанесения рельефных рисунков на полиэтиленовые пленки толщиной 0,05—1 *мм* и шириной до 1600 *мм* (рис. VIII.9). Машина состоит из формовочного барабана *1* с приводом, электронагревательной панели *4*, устройства для охлаждения, намотки, прижима и обрезания пленки, а также вакуумной установки *3* и электрического шкафа управления *2*.

Пленка сматывается с рулона и подается на вращающийся вакуумируемый барабан, над которым расположена нагревательная панель. На барабане пленка нагревается и плотно присасывается под действием вакуума к покрывающей барабан узорчатой подложке.

При этом на пленке воспроизводится рисунок подложки. Затем пленка охлаждается и наматывается в рулон.

Скорость движения пленки составляет 0,6—6 *м/мин*. Производительность машины достигает 600 $м^2/ч$. Мощность инфракрасных нагревателей 27,3 *квт*, электродвигателя привода 2,2 *квт*, электродвигателя вакуум-насоса (производительностью 1,5 $м^3/мин$) 1,27 *квт*. Габаритные размеры машины 2,2×3×1,5 *м*, вес 31,5 *кн*.

Венгерская ротационная машина непрерывного действия типа KRV-900 предназначена для производства мелкой тары из термопластичных пленок толщиной 0,1—0,5 *мм* в многогнездных формах

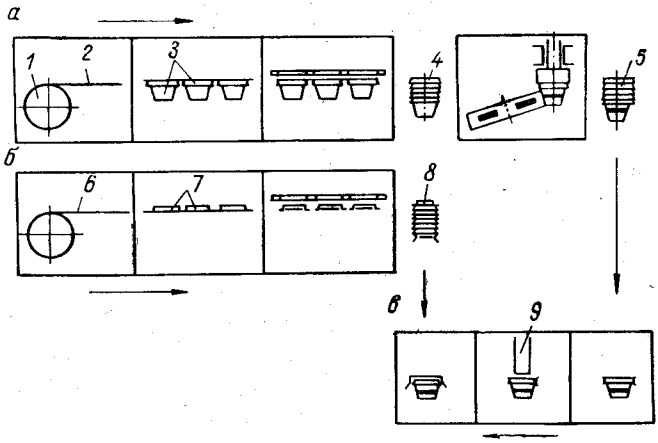


Рис. VIII.10. Пооперационная схема формования тары, ее заполнения и закупорки:

а — формование стаканов; *б* — формование крышек; *в* — заполнение и закупорка стаканов;
1 — рулон; *2* — формуемый материал; *3* — стаканы; *4*, *5* — стопки стаканов; *6* — рулонный материал; *7* — крышки; *8* — стопка крышек; *9* — дозирующее устройство.

и вырубки отформованной тары из полотна пленки. По окружности формовочного барабана можно разместить 144 формы диаметром 100 *мм* и глубиной до 35 *мм*. Отформованные изделия вырезаются специальными керамическими кругами, которые вращаются с высокой скоростью. Круги расположены таким образом, что отформованные изделия с максимальным диаметром 100 *мм* можно вырезать по всей ширине пленки. Скорость перемещения пленки шириной 800 *мм* составляет 8 *м/мин*. На машине можно получать от 10 000 до 40 000 изделий в 1 *ч*. Машина оснащена вакуум-насосом производительностью 100 $м^3/ч$ и вакуумным ресивером емкостью 100 *л*.

Схема работы машины для вакуумного формования стаканов и крышек из рулонного термопластичного материала, нанесения цветной печати на стаканы, их заполнения жидкими или сыпучими продуктами и герметичной закупорки стаканов крышками приведена на рис. VIII.10.

Последовательные операции формования стаканов *3* из свернутого в рулон *1* материала *2*, вырубки отформованных стаканов, складывания их в стопку *4*, нанесение на стаканы печати и повторное складывание стаканов в стопку *5* показаны на рис. VIII.10, *а*. Аналогично изготовляются из рулонного материала *6* крышки *7*, которые затем вырубаются и складываются в стопку *8* (рис. VIII.10, *б*). Операции заполнения стаканов определенным продуктом из дозирующего устройства *9* и герметичной закупорки стаканов крышками приведены на рис. VIII.10, *в*. Стаканы обычно формуются из поливинилхлорида, ударопрочного полистирола, ацетатцеллюлозы или полипропилена, а крышки — из таких же материалов или покрытого полимерной пленкой картона.

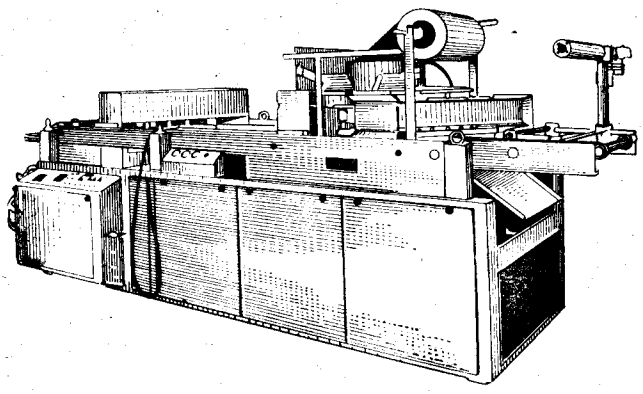


Рис. VIII.11. Общий вид машины для формования тары, ее заполнения и закупорки.

Общий вид машины для формования стаканов и крышек, а также заполнения и закупорки стаканов, выпускаемой английской фирмой «Baker Perkins», показан на рис. VIII.11. Ширина формуемого материала составляет 20—70 *см*, глубина формования достигает 10 *см*. Максимальная площадь одновременного формования равна 66×$\times$40 *см*. Машина обеспечивает до 20—24 комплексных циклов в 1 *мин* (в зависимости от размеров стаканов). Она оснащена устройствами для закупорки стаканов под вакуумом или в среде инертного газа (при закупорке сыров или мясных продуктов). Габаритные размеры машины 5,3×2,1×1,8 *м*, вес 40 *кн*.

§ 3. ПНЕВМОФОРМОВОЧНЫЕ МАШИНЫ

Пневматическое формование обычно применяют при изготовлении изделий из листов термопластов толщиной > 5 *мм*. Камеры для пневматического формования устанавливают на гидравлических прессах или специальных машинах. Давление сжатого воздуха, применяемого для пневматического формования, зависит от

формуемого материала, его толщины и температуры и обычно находится в пределах 0,6—2,5 *Мн/м*^{2}.

Пневматическая камера с подвижным пуансоном показана на рис. VIII.12. Предварительно нагретый лист укладывается на фланец нижней камеры *1* и зажимается по периметру при опускании верхней камеры *2*, прикрепленной к подвижной плите *3* пресса. С помощью нагревателя *4* формуемый материал доводится до высокоэластического состояния, после чего осуществляется предварительная механическая вытяжка пуансоном *6*, поднимающимся под действием плунжера *7*. Окончательное формование изделия *5* производится сжатым воздухом, нагнетаемым в камеру *2*.

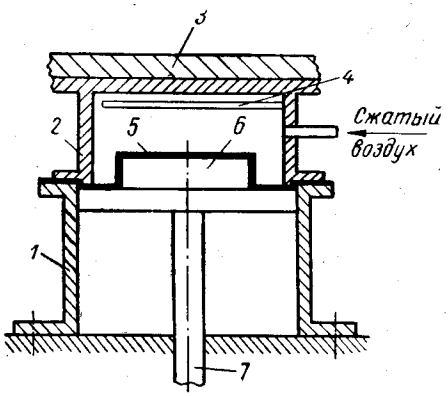


Рис. VIII.12. Пневматическая камера с подвижным пуансоном:

1 — нижняя камера; *2* — верхняя камера; *3* — подвижная плита; *4* — нагреватель; *5* — изделие; *6* — пуансон; *7* — плунжер.

Большой интерес представляет пневмоформование с деформацией предварительно раздутого листового материала (рис. VIII.13). Этим методом изготовляют изделия большой глубины с равномерной толщиной стенок. Нагретую заготовку *2* прижимают к фланцу пневматической камеры *4* рамкой *3*. При нагнетании

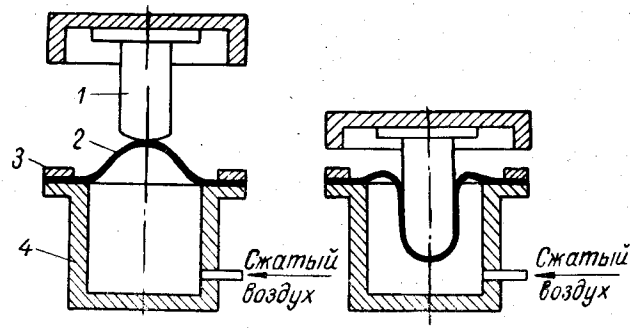


Рис. VIII.13. Схема пневмоформования с деформацией предварительно раздутого листового материала:

1 — пуансон; *2* — заготовка; *3* — рамка; *4* — пневматическая камера.

сжатого воздуха в камеру происходит предварительная пневмовытяжка материала. Затем опускают пуансон *1*, и под давлением сжатого воздуха материал постепенно плотно прилегает к пуансону. Толщина изделия в местах контакта с пуансоном фиксируется,

а дальнейшая вытяжка происходит за счет наименее вытянутых частей материала (около кромок листа).

Универсальная установка для пневмоформования термопластичных листов показана на рис. VIII.14. Формуемый материал *2* предварительно нагревается в электропечи *1* и затем подается в форму,

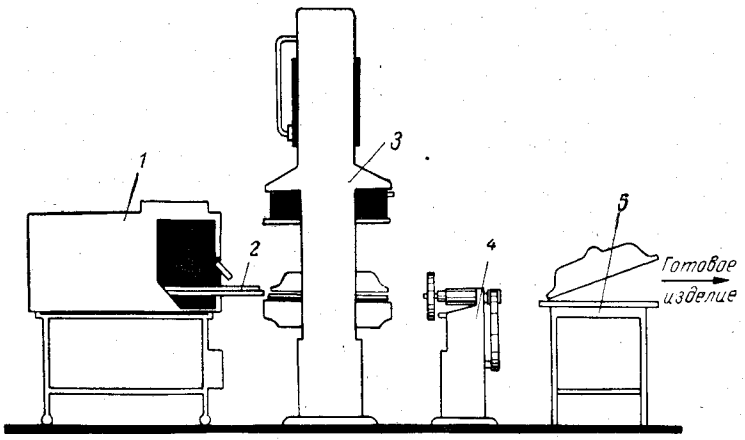


Рис. VIII.14. Универсальная установка для пневмоформования листов:

1 — электропечь; *2* — формуемый материал; *3* — гидравлический пресс; *4* — устройство для механической зачистки; *5* — стол для контроля готовых изделий.

установленную на столе гидравлического пресса *3*. В этой позиции происходит пневмоформование изделия и обрезка избыточных кромок формуемого листа. После охлаждения изделие извлекается из формы. Кромки его зачищаются на специальном устройстве *4*, а затем изделие проверяется контролером ОТК на столе *5*.

§ 4. МЕХАНОФОРМОВОЧНЫЕ (ШТАМПОВОЧНЫЕ) МАШИНЫ

Наряду с вакуумным и пневматическим формованием листовых и пленочных материалов (в основном в одинарных негативных и позитивных формах) применяется также механоформование (штамповка) предварительно нагретых заготовок в сдвоенных металлических формах. Такие формы состоят из матрицы и пуансона и обычно комплектуются устройством для вырубки отформованных изделий из листа или пленки.

Для штамповки применяются машины с возвратно-поступательным движением плит (или одной плиты), на которых установлены пуансон и матрица формы, а также используются машины с роторами и цепными механизмами, перемещающими, замыкающими и размыкающими установленные на них полуформы.

Схема машины с возвратно-поступательным движением плиты *4*, на которой установлен пуансон *5*, приведена на рис. VIII.15. Перемещение плиты осуществляется под действием кулачка *10* и коленно-рычажного устройства. Термопластичная заготовка — пленка или тонкая лента — разматывается с рулона *1* и подается тянущими роликами *2* к нагревателю *3* и в зону формования, расположенную между пуансоном *5* и матрицей *6*. Матрица установлена на четырех колоннах и в момент формования может перемещаться, сжимая установленные на колоннах пружины.

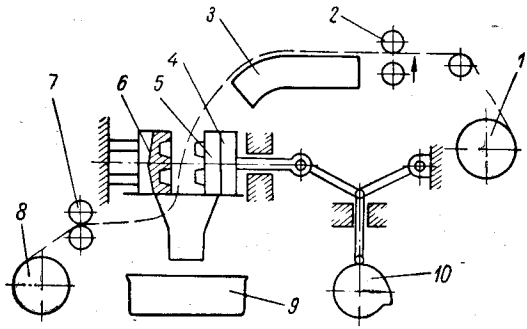


Рис. VIII.15. Схема машины для штамповки изделий из рулонных термопластов:

1 — рулон; *2* — тянущие ролики; *3* — нагреватель; *4* — плита; *5* — пуансон; *6* — матрица; *7* — ролики; *8* — рулон; *9* — приемная тара; *10* — кулачок.

Отформованные изделия вырубаются из полотна рулонного материала и падают в приемную тару *9*. Оставшаяся лента материала вытягивается роликами *7* и наматывается в рулон *8* для последующего измельчения и переработки.

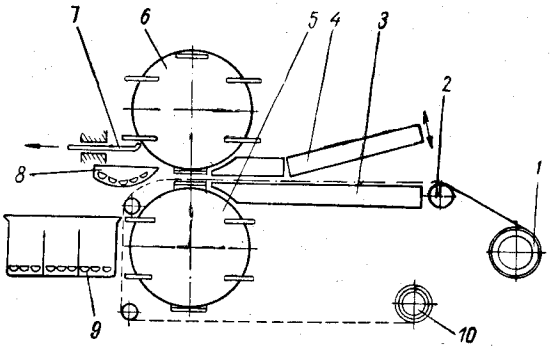


Рис. VIII.16. Схема роторной машины для штамповки изделий:

1 — рулон; *2* — ролик; *3*, *4* — нагреватели; *5*, *6* — вращающиеся роторы; *7* — съемное устройство; *8* — чаша весов; *9* — приемное устройство; *10* — рулон.

Роторная штамповочная машина схематично показана на рис. VIII.16. На двух непрерывно вращающихся роторах *5* и *6* установлены по шесть полуформ. Сматываемый с рулона *1* материал подается роликами *2* к нагревателям *3* и *4* и в зону формования. При замыкании полуформ изделия штампуются, вырубаются из рулон-

ного материала и остаются на полуформах верхнего ротора *6*. Под действием вакуумного отсоса через устройство *7* отформованные изделия извлекаются из гнезд полуформы и накапливаются в чаше *8* автоматических весов, которые перегружают изделия в приемное устройство *9*. Отходы материала наматываются в рулон *10*.

Схема цепной автоматической машины для штамповки стаканов и крышек из винипласта толщиной 0,3—1,0 *мм* приведена на рис. VIII.17. Машина имеет две бесконечные цепи *4* и *12*, надетые на приводные барабаны *2* и ведомые барабаны *9*. На каждой цепи установлено по четырнадцать четырехгнездных полуформ *7* и *8*. Намотанный на бобину материал *10* в виде пленки или ленты

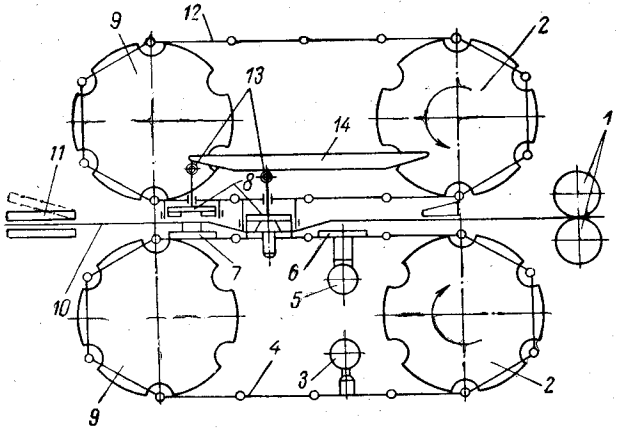


Рис. VIII.17. Схема цепной автоматической машины для штамповки изделий:

1, *3*, *5*, *13* — ролики; *2* — приводные барабаны; *4*, *12* — цепи; *6* — вырубной нож; *7* — матрица вырубного штампа; *8* — верхние полуформы; *9* — ведомые барабаны; *10* — формуемый материал; *11* — нагреватель; *14* — копир.

вытягивается роликами *1*, подвергаясь двухстороннему нагреву электрическим нагревателем *11*. По мере перемещения цепей с полуформами копир *14* воздействует на ролики *13* штоков верхних полуформ *8*, которые опускаются вниз и формуют крышки стаканов. В следующей позиции под действием набегающего на копир ролика *5* изделия вырубаются из листа или пленки.

Изделия выталкиваются из форм устройством, приводимым в движение роликом *3* (под действием копира), а остатки пленки транспортируются роликами *1*, наматываются на барабан и после измельчения используются для последующей переработки. Готовые изделия падают в поддон, из которого подаются наклонным ленточным транспортером на горизонтальный ленточный транспортер, где производится технический осмотр и сборка стаканов с крышками. Для регулировки натяжения цепей установлены винтовые регуляторы, при помощи которых перемещают валы приводных барабанов,

изменяя расстояние между осями ведущего и ведомого барабанов. Часовая производительность машин при изготовлении стаканов 9000—10 000 шт., а при изготовлении крышек 14 000 шт.

На большинстве машин для формования листовых термопластов не предусмотрена вырезка или вырубка отформованных изделий

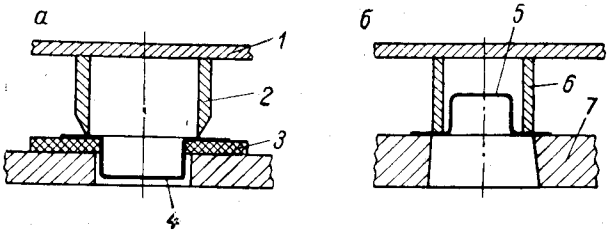


Рис. VIII.18. Схемы вырубных устройств:

а — с применением клинового вырубного ножа; *б* — с применением плоского ножа для постепенного скалывания материала по периметру изделия:
1 — плита; *2* — клиновой нож; *3* — прокладка; *4*, *5* — изделия; *6* — скалывающий нож; *7* — матрица вырубного штампа.

непосредственно на машине. Для вырубки изделий из формуемого листа применяются станки с клиновым или плоским ножом. В первом случае (рис. VIII.18, *а*) необрезанные кромки изделия *4* устанавливаются на резиновую или пластмассовую прокладку *3*. Для вырубки изделия применяется контурный клиновой нож *2*, расположенный на плите *1* кривошипного механического пресса. Во втором случае

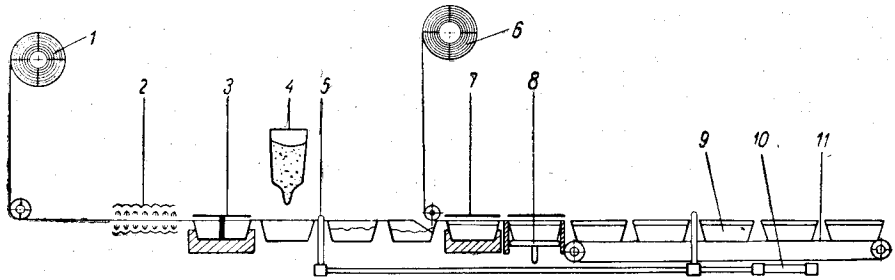


Рис. VIII.19. Схема машины для штамповки тары, ее заполнения, вырубки и укупорки:

1, *6* — рулоны; *2* — нагревательное устройство; *3* — устройство для штамповки; *4* — устройство для заполнения тары; *5* — шаговый конвейер; *7* — устройство для приварки крышек; *8* — вырубное устройство; *9* — заполненные изделия; *10* — пневматический цилиндр; *11* — ленточный конвейер.

(рис. VIII.18, *б*) кромки изделия *5* зажимаются между плоским скалывающим ножом *6* и матрицей *7* вырубного штампа. Затем матрице или ножу сообщается круговое движение, обеспечивающее постепенную вырубку изделия по периметру.

Принцип механоформования применяется при изготовлении тары из пленочных материалов. Схема машины для штамповки тары, ее

заполнения, вырубки и укупорки показана на рис. VIII.19. Машина состоит из устройств *2*, *3* и *4* для нагрева, штамповки материала и заполнения отформованных изделий, устройств *7* и *8* для приварки крышек к изделиям и вырубки закупоренных изделий из сдвоенной ленты термопласта. Материал для формования тары и крышек подается с рулонов *1* и *6*. Для перемещения полотна материала применяется шаговый конвейер *5* с приводом от пневматического цилиндра *10*. Готовые заполненные изделия *9* транспортируются на склад готовой продукции ленточным конвейером *11*.

* * *

При вакуумном, пневматическом и механическом формовании изделий обслуживающему персоналу необходимо остерегаться ожогов нагретым материалом, особенно при установке на формовочную машину предварительно нагретой заготовки. Корпус машины и нагревательные устройства должны быть тщательно заземлены.

Зоны перемещения подвижных деталей и элементы привода, прежде всего на револьверных, барабанных (ротационных) и штамповочных машинах, должны иметь ограждения.

Необходимо соблюдать меры предосторожности при вырубке отформованных изделий из заготовок и обрезке или зачистке кромок на изделиях.

ЛИТЕРАТУРА

В. К. Завгородний, Механизация и автоматизация переработки пластических масс, Изд. «Машиностроение», 1970.

В. К. Завгородний, Модернизация оборудования для изготовления изделий из пластмасс, Машгиз, 1963.

Сб. «Машины для переработки полимерных материалов», под ред. К. А. Салазкина, Изд. «Машиностроение», 1964.

К. Н. Стрельцов, Пневматическая переработка термопластов, Госхимиздат, 1963.

Глава IX

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ

§ 1. ОСОБЕННОСТИ МЕТОДОВ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ И КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Изделия из стеклопластиков в зависимости от их конфигурации и размеров в настоящее время изготавливают несколькими методами. Наиболее распространенными из них являются следующие: контактное формование в формах и с помощью эластичных пуансонов, вакуумное формование, напыление. Отдельно развиваются методы формования труб и оболочек — центробежного формования, намотки, протяжки.

Контактное формование в различных металлических и неметаллических формах является одним из способов изготовления крупногабаритных изделий при низком давлении (рис. IX.1, *а*). Процесс формования состоит в поочередном укладывании в форму *1* стекловолокнистого наполнителя, пропитанного заранее смолой. Смолу можно вводить и непосредственно с материалом.

Перед формованием на стенки формы накладывается разделительный слой в виде листов пленок или специальных составов, которые не позволяют материалу прилипать к форме. После укладки материала в форму его тщательно уплотняют (укатывают) вручную рифлеными валиками.

Для формования изделий на основе связующих горячего отверждения применяют металлические формы с внутренним или внешним обогревом. Температурный режим для смол горячего отверждения и время выдержки для смол холодного отверждения назначается в соответствии со свойствами связующих.

Формование с помощью эластичных пуансонов — резиновых мешков осуществляется тремя способами: вакуумным формованием, при котором удельное давление на формуемый материал не превышает 0,1 $Мн/м^2$; пневматическим формованием при удельном давлении 0,5 $Мн/м^2$; пневматическим прессованием с использованием эластичного пуансона.

В первом случае (рис. IX.1, *б*) нанесенные на поверхность формы *1* слои уплотняются резиновым мешком *2*, который защемляется в клеммах *3* формы. Из пространства, образованного стенками формы и внутренней поверхностью мешка, через патрубки *4* отсасы-

вается воздух. Перед началом вакуумирования материал иногда подогревается, для чего форма оснащается нагревательными элементами.

Пневматическое формование с использованием резинового мешка (рис. IX.1, *в*) проводится в форме *1*. После того, как в форму уложен и пропитан стекловолокнистый наполнитель, опускается плита, к которой прикреплен резиновый мешок *2*. Плита прижимается к форме накидными болтами *6*. Затем в мешок через патрубок *5* нагнетается воздух до давления 0,4—0,5 $Мн/м^2$. Таким способом

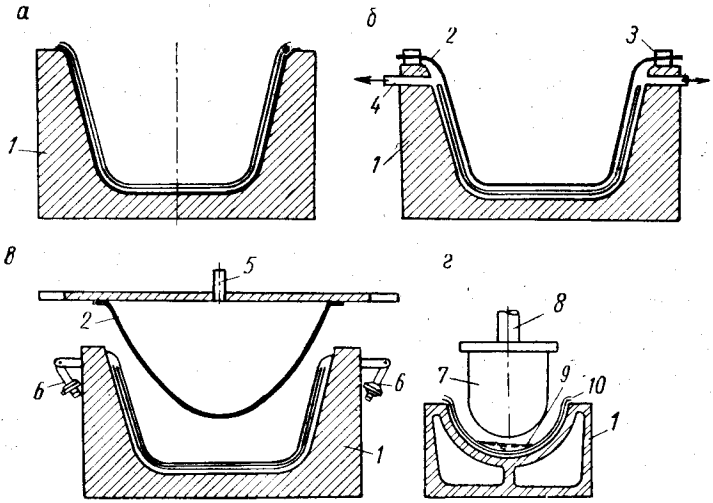


Рис. IX.1. Схема методов формования изделий из стеклопластиков:

а — контактное формование; *б*, *в* — с помощью резинового мешка; *г* — с помощью резинового пуансона;
1 — форма; *2* — резиновый мешок; *3* — клеммы; *4*, *5* — патрубки; *6* — накидные болты; *7* — резиновый пуансон; *8* — полый шток; *9* — смола; *10* — стекломатериал.

можно получать различные крупногабаритные изделия, которые затем проходят термообработку.

При изготовлении относительно большого количества однотипных изделий применяют метод формования при помощи эластичного резинового пуансона *7* (рис. IX.1, *г*). Плунжер, укрепленный на штоке пневматического цилиндра, сдавливает заложенный в форму *1* стекломатериал *10* и смолу *9*, когда через полый шток *8* нагнетается воздух.

В настоящее время формованием с помощью эластичных пуансонов изготавливают лодки, кузова и детали кузовов легковых автомобилей и автобусов, различные емкости и другие изделия.

Вакуумная пропитка в форме изделий из стеклопластиков имеет достаточно широкое применение. За рубежом этот метод применяется для изготовления изделий типа антенных

обтекателей самолетов, различных емкостей и т. д. Сущность метода заключается в просасывании связующего через заранее уложенный между двумя жесткими формами стекломатериал. При просасывании смола вытесняет воздух из межволоконного пространства и заполняет поры, чем обеспечивается получение монолитного изделия.

Для получения изделий данным методом требуется наличие двух жестких форм: матрицы и пуансона, причем жесткость их должна обеспечить постоянный по всей форме зазор, соответствующий заданной толщине изделия. Обычно формы изготовляют из металла. Схема установки для вакуумного формования приведена на рис. IX.2.

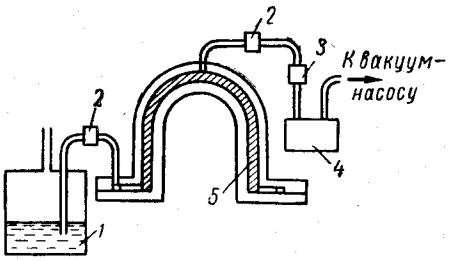


Рис. IX.2. Схема установки для вакуумформования:

1 — бачок; *2* — краны; *3* — смотровое стекло; *4* — бачок-уловитель; *5* — стеклонаполнитель.

На пуансон наносится разделительный слой, по всей поверхности формы укладывается стеклонаполнитель *5* и закрывается матрицей. Взаимное расположение пуансона и матрицы должно быть строго фиксировано, для чего необходимы специальные направляющие и фиксаторы. Конструкция формы должна обеспечивать герметичность. Между герметически закрытыми формами с помощью вакуумного насоса создается разрежение, связующее из бачка *1* засасывается в форму и пропитывает стекломатериал. Через смотровое стекло *3* определяют момент появления связующего в бачке-уловителе *4* и перекрывают систему запорными кранами *2*.

Полностью пропитанный стекловолокнистый материал выдерживают в течение необходимого для полимеризации времени. Полимеризация полиэфирных смол холодного отверждения проходит при температуре 18—22° С, а смол горячего отверждения — при повышенных температурах. По окончании процесса полимеризации формы раскрывают и извлекают изделие.

Одновременно с созданием вакуума между формами целесообразно подавать связующее под давлением. Для этого применяют устройство, включающее в себя бачки со связующим, компрессорную установку с ресивером, трубопроводы, соединяющие бачки с ресивером, и систему управления подачей связующего. Связующее поступает под давлением до 2 — 2,5 $Мн/м^2$ в зависимости от вязкости смолы и проницаемости наполнителя. Процессы создания вакуума и подача связующего должны быть строго синхронизированы. Сложность вакуумного формования, трудность регулирования равномерной укладки стекломатериала, высокая стоимость оборудования, трудность изготовления спаренных форм ограничивают возможность применения этого метода. Однако при большом количестве простых

по форме стеклопластиковых конструкций в совокупности с другими способами целесообразно применять и вакуумный метод.

Метод напыления пригоден для изготовления крупногабаритных изделий, к которым не предъявляется высоких требований по прочности. Этот метод отличается от контактного формования сравнительно высокой механизацией технологического процесса и производительностью. Наиболее трудоемкие операции — смачивание стеклонаполнителя связующим и нанесение его на форму полностью механизированы.

Специальные методы формования позволяют получать трубы с заданной прочностью в различных направлениях, изготавливаемые на основе различных видов стекловолокнистых материалов, в том числе стеклонитей и стекложгутов, стекломатов (путанки), тканей различного переплетения, кордных стеклотканей, однонаправленных и тканых стеклолент, стеклошпона.

В качестве связующего могут быть использованы полиэфирные смолы холодного и горячего отверждения, эпоксиполиэфирные, эпоксидные, эпоксифенольные, фенольно-формальдегидные и другие смолы. Технологический процесс формования труб может быть сухим или мокрым, периодическим или непрерывным.

Технологические процессы переработки стеклопластиков очень специфичны и зависят не только от способа переработки, но в значительной степени и от формуемого изделия. Для формования штучных объемных изделий обычно применяются различные виды технологической оснастки, а не оборудования.

Технологическая оснастка зависит от конструктивных особенностей и геометрических параметров формуемых изделий.

По виду формуемых изделий различают установки для производства плоских и гофрированных листов, слоистых плит, труб, профильных изделий, крупногабаритных изделий. В зависимости от вида применяемых исходных материалов различают установки для формования изделий из ровницы (стекложгута), ленты, ткани с пропиткой смолами до или в процессе формования, стекломатов, измельченных ровницы, стекловолокна или ткани.

В зависимости от характеристики процесса и конструктивных особенностей оборудования различают машины непрерывного и периодического действия, горизонтальные и вертикальные.

Рассмотрим конструктивные и технологические особенности ряда промышленных установок для изготовления изделий из стеклопластиков.

§ 2. УСТАНОВКИ ДЛЯ НАПЫЛЕНИЯ

Принцип работы всех напыляющих установок сводится к следующему. Из соответствующих емкостей смола поступает к двум распылительным пистолетам, из которых струями, направленными под углом, выходит наружу. В зону соединения струй вводится стеклонаполнитель (разрезанное стекловолокно или стекложгут). Стеклонаполнитель, хорошо смоченный связующим,

накладывается ровным слоем на соответствующую форму. Слой рыхлого стеклопластика тщательно уплотняют вручную специальными валиками. После уплотнения операция нанесения стеклопластика повторяется вновь до получения необходимой толщины стенки будущего изделия. Затем, если это необходимо, производят термообработку стеклопластика (в зависимости от типа выбранной смолы).

При массовом формовании изделий с равномерной толщиной стенок, а также изделий, имеющих форму тел вращения со значительной глубиной, применяется двухстадийное формование: предварительное — для заготовки (методом насасывания) и окончательное (компрессионное прессование).

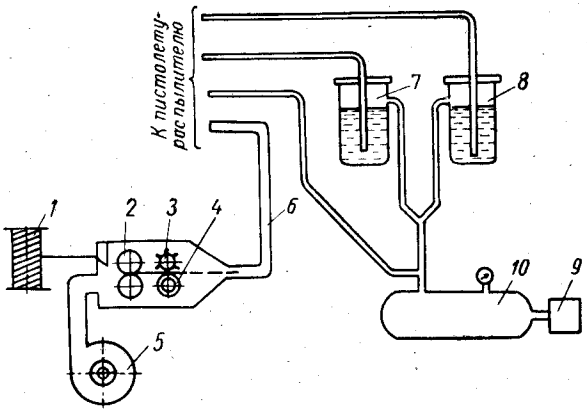


Рис. IX.3. Схема установки для напыления:

1 — катушка; *2* — валки; *3* — режущий диск; *4* — опорный валок; *5* — вентилятор; *6* — труба; *7*, *8* — баки; *9* — компрессор; *10* — ресивер.

Схема установки для формования методом напыления представлена на рис. IX.3. Стеклонить с катушки *1* подается валками *2* в механизм резки, состоящий из режущего диска *3* и опорного валка *4*. Частицы стекловолокна подхватываются потоком воздуха, нагнетаемым вентилятором *5*, и по трубе *6*, а затем по резиновому шлангу подаются к пистолету-распылителю. Для предотвращения накопления статического электричества при работе установки в помещении с относительно сухим воздухом применяют увлажнитель, устанавливаемый на входном отверстии вентилятора. Смола подается к пистолету-распылителю из двух баков *7* и *8*. В один из баков заливают полиэфирную смолу с катализатором, во второй — смолу с активатором. Смола из баков под давлением воздуха, который поступает от компрессора *9* через ресивер *10*, подается к пистолету-распылителю.

В ряде конструкций предусматривается установка в баках мешалки, что позволяет подать вместе со смолой красящие пигменты.

В баки вставлены металлические резервуары для смолы, вследствие чего их внутренняя поверхность всегда остается чистой. Каждый

бак герметически закрывается крышкой, на которой смонтированы мешалки с электро- или пневмоприводом и штуцеры, к которым присоединяют шланги для подачи сжатого воздуха и смолы, а также для подключения контрольного манометра и редукционного клапана. Смолу заливают через отверстие, расположенное в крышке. Бак и шланг для подачи смолы с катализатором окрашены обычно в красный цвет, а бак и шланг для подачи смолы с ускорителем — в голубой.

В установках имеются устройства для промывки шлангов и распылителей растворителем, состоящие из бачков емкостью по 3 *л* со штуцерами, к которым подсоединены шланги для подачи сжатого воздуха давлением до 0,3 *Мн/м*^{2} и шланги от распылителей. Под действием сжатого воздуха растворитель проходит по шлангам и выходит из распылителей.

Режущее устройство обычно состоит из двух дюралюминиевых перфорированных щек, режущего ролика с ножами, опорного покрытого резиной ролика, на котором режется стекловолокно, и стяжных болтов. Режущие ножи ломают хрупкие стекловолокна на упругом опорном ролике.

В качестве ножей могут быть использованы лезвия от безопасных бритв (работают в течение нескольких часов). В режущий ролик обычно устанавливают шесть ножей. Длину волокон стеклонаполнителя регулируют изменением количества режущих ножей. С уменьшением числа ножей длина волокон увеличивается (от 10 до 90 *мм*).

Режущий ролик и подающие валики имеют раздельный привод. В качестве привода обычно используют электродвигатели и вариаторы. В некоторых случаях применяют пневматический привод с регулятором числа оборотов.

Производительность установок, определяемая количеством перерабатываемого стеклонаполнителя, регулируется двумя способами: либо изменением числа стекложгутов, подаваемых на резку (от 2 до 6), либо варьированием числа оборотов подающих валиков и режущего ролика (последний способ является более «тонким»). Длину нарезаемого стекловолокна, кроме изменения количества ножей, регулируют, меняя соотношение числа оборотов режущего ролика и подающих валиков.

Распылители и режущее устройство монтируются на раме из легких стальных трубок (рис. IX.4). На раме перед выходом разрезанного стекловолокна из режущего устройства укрепляют диффузор, к которому подводится сжатый воздух. Диффузор предназначен для распушения стеклонаполнителя и лучшего его распределения по поверхности формы.

Современные установки имеют устройства для подачи различных сыпучих наполнителей, обеспечивающих необходимые свойства изготавливаемых изделий.

Инертные наполнители дозируются специальным устройством и подаются в смесь стеклонаполнителя и смолы перед нанесением

их на поверхность формы. Это устройство смонтировано внутри корпуса установки или на отдельной тележке, а управление

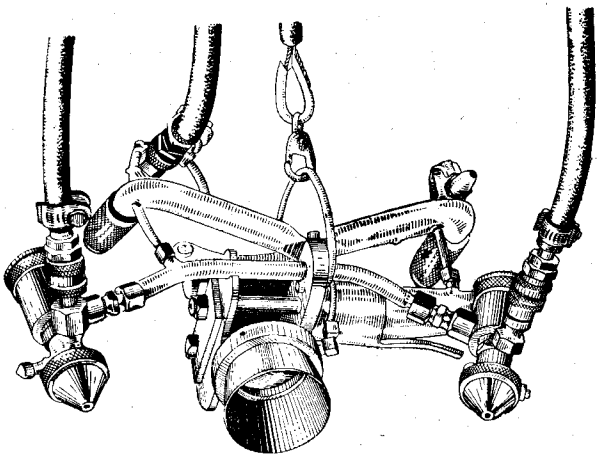


Рис. IX.4. Напылительная головка с пневмоприводом и диффузором.

вынесено на общий пульт. В качестве инертных наполнителей можно применять различные сыпучие материалы, в том числе и крупнозернистые.

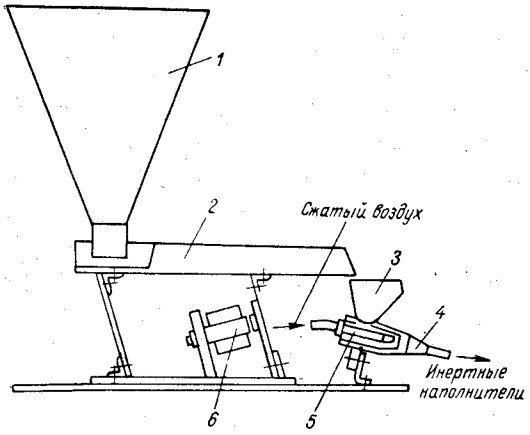


Рис. IX.5. Устройство для дозирования инертных наполнителей:

1, *3* — бункеры; *2* — вибролоток; *4* — камера; *5* — сопло; *6* — электровибратор.

Дозирующее устройство (рис. IX.5) состоит из бункера *1* для материала, вибролотка *2* с электровибратором *6*, бункера *3*, камеры *4*, сопла *5*, создающего при прохождении через него сжатого воздуха необходимое для подачи материалов разряжение, и штуцера для подсоединения подающего шланга.

Количество подаваемого материала регулируют либо изменением расстояния между вибролотком и нижней частью приемного бункера, либо изменением напряжения переменного тока, подводимого к вибратору вибролотка.

От дозирующего устройства к напылительной головке инертные наполнители подаются двумя способами: наполнители с небольшой

плотностью поступают непосредственно в зону напыления за счет разрежения в нижней части бункера, возникающего при прохождении сжатого воздуха через сопло, а наполнители с большой плотностью вводятся непосредственно в поток стеклонаполнителя через специальный распылитель на напылительной головке за счет разрежения, создаваемого в камере перед соплом.

Конструкция пистолета-распылителя представлена на рис. IX.6. Смола под давлением нагнетается из баков по резиновым шлангам к штуцерам *10* каждого из двух пистолетов и затем заполняет кольцевое пространство, образованное трубкой *9* и иглой *8*. Заостренный конец иглы перекрывает выходное отверстие форсунки *7*, препятствуя свободному истечению смолы. Иглы каждого из стволов через цанговые устройства *12* втулки *11* и тяги *4* соединены с курком *13* пистолета. Запорные иглы *8* закрывают выходное отверстие форсунки при помощи пружины *3*. Сила нажатия пружины регулируется винтовым упором *2*.

Воздух от компрессора через ресивер поступает по резиновому шлангу к штуцеру *15*, закрепленному на рукоятке *1* пистолета. Далее воздух по каналу *16* через клапан *18* поступает в канал *19*, а затем в кольцевое пространство между трубкой *9* и наружной трубкой *5*. Клапан *18* под действием пружины *17* постоянно прижат к седловине, при этом стержень *14* клапана упирается в курок *13*. При нажатии на курок игла *8* открывает выходное отверстие форсунки *7*, а стержень *14* — проходное отверстие в клапанном устройстве. Воздух, выходя из сопел, окружающих форсунку *7*, разбивает струи смолы, распыляя ее. Одновременно со смолой по трубе *6* поступает рубленое стекловолокно.

Стволы пистолета и труба для подачи стекловолокна устанавливаются под некоторым углом друг к другу с таким расчетом, чтобы обеспечить перемешивание двух струй смолы и наполнителя на расстоянии 350—400 *мм* от поверхности формы.

Напылительная головка (см. рис. IX.4), состоящая из двух форсунок для распыления смол, и насадка для подачи разрезанного стекловолокна соединяется гибкими шлангами с корпусом установки. На напылительной головке размещены электровыключатели для управления ее работой. Распылители на раме укреплены шарнирно, поэтому можно менять их положение, что очень важно для надежного смачивания смолой стеклонаполнителя.

В комплект установки входят несколько пистолетов-распылителей. При работе со смолами горячего отверждения применяют однокомпонентный пистолет-распылитель, подающий стеклонаполнитель и смолу в смеси с катализатором, а при работе со смолами холодного отверждения — двухкомпонентный пистолет-распылитель, подающий стеклонаполнитель и смолу в смеси с катализатором и ускорителем. При работе с инертными наполнителями применяется специальный пистолет-распылитель.

Производительность установки по количеству перерабатываемых смол зависит от их вязкости, давления воздуха в баке для смол,

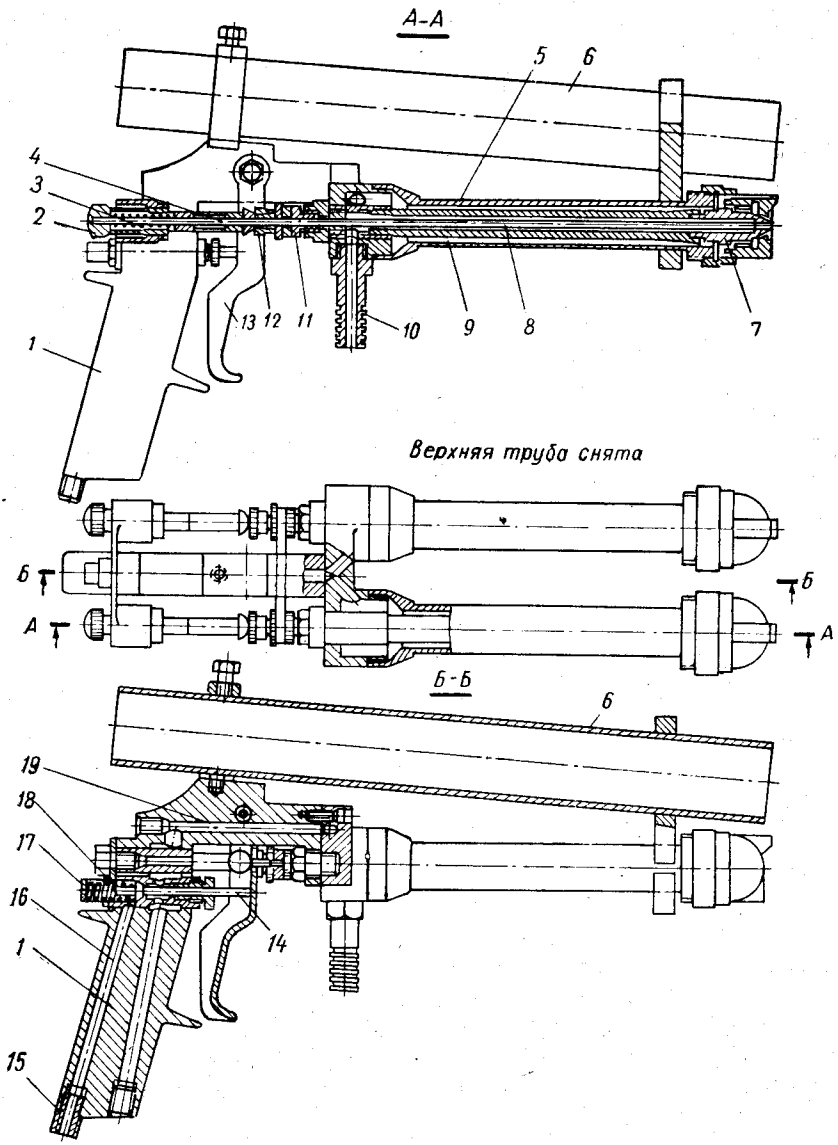


Рис. IX.6. Конструкция пистолета-распылителя:

1 — рукоятка; *2* — упор; *3*, *17* — пружины; *4* — тяга; *5*, *9* — трубки; *6* — труба; *7* — форсунка; *8* — игла; *10*, *15* — штуцеры; *11* — втулка; *12* — цанговое устройство; *13* — курок; *14* — стержень; *16*, *19* — каналы; *18* — клапан.

сечения сопел распылителей и положения регулировочного винта распылителя, ограничивающего ход его иглы. Грубая регулировка производительности производится изменением давления сжатого воздуха в бачках для смол, а тонкая — регулировочным винтом пистолета-распылителя, изменяющим площадь сечения выходного отверстия сопла.

Схема установки для получения стекловолокнистых заготовок методом напыления показана на рис. IX.7. Рубящее устройство *2* непрерывно тянет и рубит стекложгуты *1*. Нарубленное волокно поступает в камеру *3*, где оседает на вращающейся перфорированной форме *5*, под которой специальным вентилятором создается вакуум. С помощью форсунки *4* на стекловолокно наносится тонкий слой связующего.

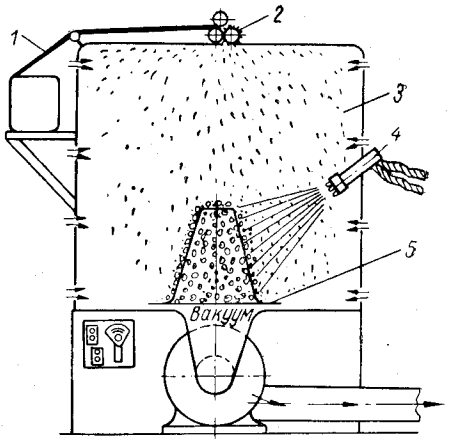


Рис. IX.7. Схема установки для получения стекловолокнистых заготовок напылением:

1 — стекложгут; *2* — рубящее устройство; *3* — камера; *4* — форсунка; *5* — форма.

§ 3. УСТАНОВКИ ДЛЯ ФОРМОВАНИЯ ТРУБ И ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК

Установки для центробежного формования относятся к периодически действующим, однако в настоящее время они в достаточной мере автоматизированы. Применяются, в частности, полуавтоматические установки для формования крупногабаритных изделий из стеклопластиков на полиэфирных смолах в вертикально расположенных формах центробежного формования. В качестве армирующего материала в них применяют рубленое стекловолокно. Скорость вращения формы вокруг вертикальной оси в зависимости от диаметра формуемой трубы колеблется в пределах от 280 до 1000 *об/мин*. При вращении формы стеклянные волокна и смола равномерно распределяются по поверхности изделия и уплотняются. После отверждения при повышенной температуре форму охлаждают.

Установки для изготовления труб методом намотки состоят обычно из двух основных узлов: оправки (формы) с приводом, обеспечивающим ее вращение, и раскладчика стекловолокнистого материала. При необходимости раскладчик оснащается пропиточной ванной.

Одна из основных намоточных установок имитирует работу токарного станка с оправкой, расположенной горизонтально

(рис. IX.8, *а*). Оправка вращается, при этом раскладчик стекловолокнистого материала перемещается возвратно-поступательно вдоль оправки с необходимой скоростью. На такой установке спиральная намотка может выполняться под различными углами (от 5 до 85°), запрограммированными заранее. В сочетании со спиральной намоткой в программу может быть включена кольцевая обмотка.

Намотка может быть выполнена на машинах планетарного типа, в которых оправка расположена вертикально и вращается с небольшой скоростью (рис. IX.8, *б*). Предварительно пропитанный стекловолокнистый материал укладывается устройством планетарного

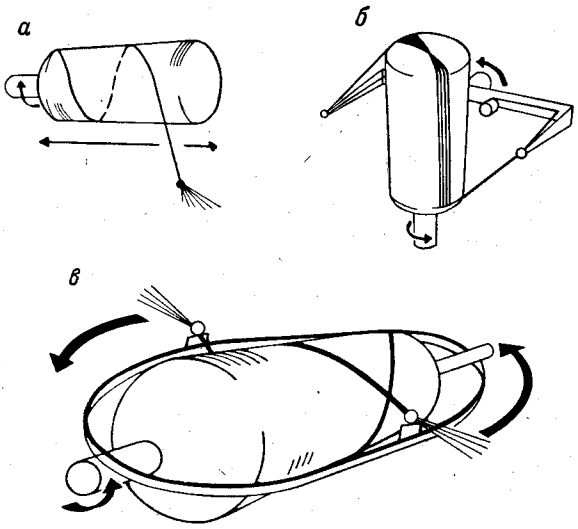


Рис. IX.8. Установка для намотки цилиндрических оболочек и труб:

а — токарная; *б* — планетарная; *в* — планетарная с горизонтальной оправкой.

типа. Этот вид оборудования более предпочтителен для изготовления труб больших размеров, так как при этом уменьшается или совсем устраняется прогиб оправки в процессе намотки.

В ряде случаев целесообразно горизонтальное расположение оправки. Раскладчик движется по горизонтальному замкнутому рельсу и укладывает непрерывный стекловолокнистый материал на вращающуюся оправку перекрестным спиральным рисунком (рис. IX.8, *в*). Нашли применение также установки, в которых оправки совершают вращение опрокидывающимся движением таким образом, что их ось вращения перпендикулярна к продольной оси оправки. По отношению к плоскости вращения продольная ось оправки смещена на угол, необходимый для обеспечения желаемого рисунка спиральной намотки.

В других установках используется вращающаяся оправка, совер-

шающая одновременно осевое возвратно-поступательное движение, а раскладчик пропитанного стекловолокнистого материала остается неподвижным. В более сложных системах раскладчик движется кольцеобразно и продольно по отношению к оправке, причем оправка тоже может вращаться.

Выбор метода намотки и конструкции намоточной установки определяется конструкцией изделий (труба, оболочка и др.) и оправки, материалами композиции, габаритами изделий, толщиной их стенок и т. д.

При разработке эффективных намоточных структур необходимо учитывать, что армирующие волокна могут быть уложены на оправку с помощью кольцевой или спиральной намотки. Однако в большинстве случаев этого оказывается недостаточно, и тогда необходимо укладывать непрерывный стекловолокнистый материал вдоль оси оправки или под небольшим углом.

Кольцевая намотка является наиболее простым методом и не требует сложного оборудования. Пропитанные нити в виде одинарной пряди или множества прядей накладываются на оправку под углом ~90° к оси вращения оправки. Однако кольцевое армирование стекловолокнистым материалом способно оказывать сопротивление только кольцевым напряжениям, поэтому обычно оно применяется как вспомогательная операция (в частности, для усиления тонкостенных металлических труб или баллонов в тангенциальном направлении и намотки бандажей электродвигателя).

При намотке цилиндрических оболочек с замкнутыми (закрытыми) торцами обычно используется метод спиральной намотки, при котором оправка вращается, в то время как движущийся вдоль оси раскладчик размещает на поверхности оправки непрерывный стекловолокнистый материал под заданным углом. В зависимости от соотношения скорости вращения оправки и скорости подачи армирующий материал укладывается под углами 25—85°. При спиральной намотке нет необходимости в укладке материала строго вдоль оси, так как получение небольших углов укладки стекловолокнистой арматуры по отношению к продольной оси оправки позволяет получать трубы, способные воспринимать продольные нагрузки. Изменением угла намотки можно получить любое соотношение кольцевой и продольной прочности.

Спиральная намотка требует очень точного контроля соотношения скоростей, которое обеспечивает равномерное распределение материала по оправке. Конструкции машин становятся значительно сложнее, однако это пока единственный путь получения изделий с переменным поперечным сечением, в том числе и замкнутых.

Намоточные станки имеют электрический, гидравлический или пневматический привод. В связи с универсальностью технологических требований, предъявляемых к станкам, необходимо обеспечить большой диапазон возможных скоростей шпинделя станка.

Одним из механизмов намоточных станков является, как уже отмечалось, механизм раскладки, обеспечивающий укладку армирующих стеклонитей или лент на оправку с заданным шагом намотки

и с заданным углом к оси вращения оправки. Эти задачи выполняются либо путем перемещения нитей или лент вдоль оси оправки, либо за счет перемещения оправки относительно вращающихся систем, раскладывающих армирующий материал.

При кольцевой намотке раскладчик перемещает нити вдоль оси вращающейся оправки с соотношением один шаг намотки на один оборот оправки. В любых видах станочной намотки в основе работы раскладчика лежит взаимосвязь числа оборотов оправки и перемещения нитей, и это является первым условием, определяющим конструкцию механизма раскладки.

Второе условие вытекает из многообразия используемых при намотке армирующих материалов и шагов раскладки. При различных значениях этих параметров основное требование к раскладчикам сводится к обеспечению широкого регулирования параметров укладки. Раскладчики характеризуются: жесткой кинематической взаимосвязью между поступательным или вращательным движением нитей и вращательным движением оправки (регулировка шага ступенчатая); гибкой кинематической связью между поступательным или вращательным движением нитей и вращением оправки, обеспечивающей бесступенчатую регулировку шага; отсутствием кинематической связи между движением нитей и оправки (каждое из этих перемещений настраивается самостоятельно).

Начальные параметры намотки можно подобрать так, чтобы рисунок намотки образовывал на оправке геодезическую линию, т. е. такое положение, когда нить находится в состоянии естественного равновесия и не имеет тенденции скользить по оправке. Однако все эти параметры необходимо корректировать, исходя из ряда факторов (скорости раскладчика, вязкости смолы, натяжения стеклонитей и т. д.).

В § 1 данной главы указывалось, что трубы из стеклопластиков изготовляются сухим и мокрым методами формования. Сухой метод заключается в том, что перед формованием стеклоарматуру пропитывают растворами полимерных связующих на пропиточных машинах. Выделение пропитки в самостоятельную операцию позволяет значительно расширить диапазон применяемых полимерных связующих за счет использования летучих растворителей (толуола, ацетона и т. д.).

Введение растворителей уменьшает вязкость связующего и позволяет улучшить равномерность покрытия стеклонаполнителя смолами. Однако, чтобы последующее испарение летучих растворителей не отражалось на качестве стеклопластиков и плотности его структуры, необходимо предусмотреть перед формованием просушку пропитанного стеклонаполнителя. Содержание связующего в материале при пропитке регулируется концентрацией раствора связующего (его вязкостью) и скоростью прохождения стекломатериала через раствор.

При мокром методе операции пропитки и формования изделий обычно технологически совмещены. Однако возможны варианты,

когда стекломатериал (чаще всего стеклотканые ленты) пропитывается жидкой смолой (без разбавления растворителем) и наматывается в рулон. Затем катушки с пропитанными смолой лентами устанавливают в намоточную машину. Использование связующих, разведенных летучими растворителями, при формовании мокрым методом допускается только при производстве неответственных стеклопластиковых деталей. При мокром методе нанесение связующего на стекломатериал может осуществляться пульверизатором, центробежным способом, нагнетанием или засасыванием, а также пропусканием стекломатериала через ванну со связующим.

В последнем случае применяют специальные устройства для контроля и поддержания на необходимом уровне вязкости связующего, поскольку в процессе пропитки связующее может менять свою вязкость. Это связано в основном со значительными объемами смолы и отвердителя и возникающим в результате этого явлением саморазогрева. Разогреву связующего способствует также его интенсивное перемешивание проходящим через ванну стекломатериалом.

Сухой метод отличается простотой технологии намотки (формования) и намоточных станков; возможностью пофазного контроля компонентов формующего материала; стабильным послойным содержанием связующего, предопределенным предварительным нанесением его на стекломатериал, и, как следствие этого, устойчиво воспроизводимыми физико-механическими и теплофизическими характеристиками стеклопластика; удобством обслуживания станков и использованием рулонного материала (ленты и ткани); гигиеничностью процесса и возможностью устранения профессиональных вредностей.

К достоинствам мокрого способа можно отнести возможность намотки изделий сложной формы, хорошую формуемость материала при изготовлении изделий сложной формы, более короткий цикл производства изделий за счет совмещения операций пропитки и намотки.

Основными причинами, по которым затруднено внедрение способа мокрой намотки для производства труб повышенного качества являются:

1) большие затруднения в стабилизации вязкостных свойств связующих, находящихся в пропиточной ванне;

2) резкие колебания содержания связующего по толщине стенки трубы (даже для тонкостенных труб — более чем в два раза), связанный с этим разброс в свойствах стеклопластиков, отсутствие надежных способов предотвращения миграции связующего из внутренних слоев в наружные;

3) неизбежное загрязнение рабочего места и профессиональные вредности;

4) применение сложных намоточных станков с устройствами для укладки нитей (лент) по геодезическим линиям.

В настоящее время применяется комбинированный процесс, когда при намотке по сухому методу дополнительно к уже нанесенному

на стекломатериал и высушенному связующему непосредственно между слоями вводится некоторое количество жидкого термореактивного связующего, не имеющего летучих растворителей. Этот процесс позволяет увеличить монолитность стеклопластика и повысить герметичность напорных труб.

Основные узлы пропиточных установок и устройств, работающих по сухому и мокрому методам принципиально не отличаются. Однако при сухом методе необходимы специальные пропиточные установки с сушильными камерами и вытяжными вентиляционными устройствами.

В состав универсальной пропиточной установки (рис. IX.9) входит отдающее устройство *6*, пропиточное устройство *4*, рама *5*, сушильная шахта *2*, направляющие валки *3* и приемное устройство *1*. Установка может работать как на вязких связующих, когда регулировка наноса осуществляется поворотными ножами, так и на лаках, величина наноса которых на стекломатериал зависит от их плотности. Для этого на установке предусмотрена возможность осуществления нескольких вариантов заправки стеклоткани. Возможен вариант, когда пропитанная по мокрому способу стеклоткань, минуя сушильную камеру, поступает непосредственно на приемное устройство.

Пропиточное устройство (рис. IX.10) состоит из ванны *1* и рамы *2* с системой валков *5* и поворотными скребками *4*.

Рама имеет возможность перемещаться по вертикальным направляющим *3*. Для облегчения движения она уравновешена грузами *6*. При работе рама с валками опускается нижней частью в ванну *1*. Величина зазора между валками и дном ванны в нижнем положении выбрана так, чтобы объем неиспользованного связующего был минимальным.

В случае пропитки вязкими связующими величина наноса регулируется скребками *4*. Если же осуществляется пропитка лаками, то по выходе из раствора ткань, не касаясь промежуточных валков, подается по первому ходу сушильной камеры к верхним валкам. К этому времени значительная часть летучих успевает выделиться.

Сушильная шахта (см. рис. IX.9) представляет собой короб прямоугольного сечения, разделенный на зоны четырьмя вертикально поставленными трубчатыми коллекторами. На верхней и нижней площадках шахты крепятся в шахматном порядке промежуточные валки. Пропитываемая ткань проходит в зазор между коллекторами с верхних валков на нижние и обратно, совершая несколько ходов. Скорости и температуры выбираются таким образом, что на гильзу приемного устройства наматывается уже высушенная ткань. Выделяющиеся при сушке летучие вещества удаляются с помощью вакуума. Температура в сушильной шахте измеряется термопарами в трех точках.

Приемное устройство состоит из двигателя, универсального регулятора скорости, фрикциона и приемной гильзы. Фрикцион

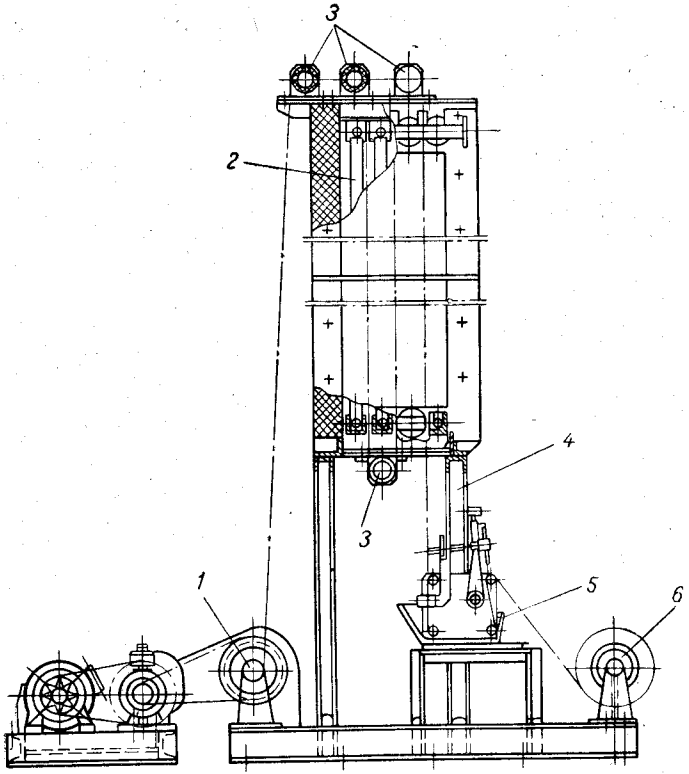


Рис. IX.9. Универсальная пропиточная установка:

1 — валок; *2* — сушильная шахта; *3* — направляющие валки; *4* — ванна; *5* — рама; *6* — отдающее устройство.

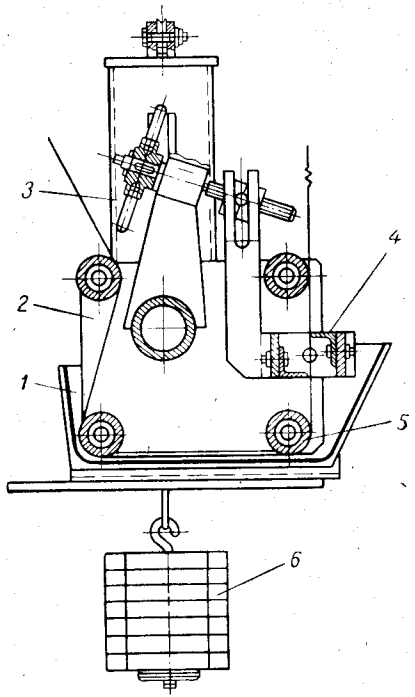


Рис. IX.10. Пропиточное устройство:

1 — ванна; *2* — рама; *3* — направляющие; *4* — скребки; *5* — валок; *6* — груз.

поддерживает постоянную линейную скорость перемещения пропитываемого материала.

Пропитка по мокрому способу стекломатериала на катушках может осуществляться также в автоклаве. Автоклав представляет собой герметически закрывающийся бак, соединенный с устройством для пропитки. Кроме автоклава в состав пропиточной установки входит загрузочный бак, в который смесь поступает через вентиль из смесителя под действием собственного веса. Затем смола опускается в нижнюю часть автоклава. Когда смола полностью покроет стекломатериал, давление внутри автоклава повысится. Продолжительность пропитки зависит от вязкости смолы и плотности стекломатериала. В дальнейшем такие катушки с пропитанным стекломатериалом устанавливаются на намоточный станок.

Обеспечение монолитности наматываемого материала, требуемой геометрической формы и размера изделия, а также заданной его плотности, зависит от контактного давления.

Контактное давление формования можно создать следующими методами: технологическим натяжением стекломатериала, прикаточными валками, одновременным натяжением и прикаткой стекломатериала.

При намотке стекломатериала на цилиндрическую оправку с некоторым технологическим натяжением T_0 возникает нормальное давление P, стремящееся прижать очередной слой к поверхности оправки или к поверхности ранее намотанных слоев и уплотнить структуру стенки стеклопластиковой трубы. Величина этого давления может быть определена по формуле:

$$P = \frac{T_0}{r} \sin^2 \alpha \qquad \text{(IX.1)}$$

где α — угол намотки; r — радиус формуемой поверхности.

При большой кривизне формуемых поверхностей величина контактного давления достигает величины, достаточной для обеспечения необходимой плотности. С возрастанием диаметра изготавливаемых труб нормальное давление, создаваемое натяжением, снижается. Увеличивать величину натяжения нельзя, так как чрезмерное его повышение (свыше 10% от исходной прочности стекломатериала) вредно отражается на прочности стеклопластика.

При намотке труб диаметром >1 *м* обычно не удается достаточно уплотнить наматываемый материал только за счет технологического натяжения. Поэтому такие трубы рекомендуется формовать с помощью прикатывающих валков, создавая условия для формования стенок под суммарным давлением от натяжения и прикатки. Продольные слои стекломатериала приформовываются к нижним радиальным слоям за счет намотки под натяжением последующих радиальных слоев и их прикатки.

Задаваясь условной величиной пятна контакта при прикатке, можно приблизительно оценить эффективность каждого фактора в отдельности. Такой анализ показывает, что величина удельного

давления формования при прикатке по крайней мере на порядок выше той же величины при действии одного натяжения. Вследствие этого выбор системы формования очень тесно увязывается с методами пропитки при сухой или мокрой намотке.

Независимо от диаметра трубы при сухом методе обычно требуется подогрев и прикатка, так как для приформовывания последующих слоев ввиду высокой вязкости подсушенного связующего необходимо относительно высокое удельное давление формования. При изготовлении изделий диаметром >1 *м* мокрым методом также требуется увеличить удельное давление формования, и тогда желательно устанавливать прикатывающие валки. Однако при мокром методе в этом случае неизбежно возникают эксплуатационные трудности. Смола налипает на прикатывающий валок и затвердевает в виде неровностей, что приводит к повреждению наматываемого материала.

Весьма важно при конструировании намоточного оборудования правильно учитывать роль натяжения в различных условиях технологического процесса. Так, при формовании труб с прикаткой слоев валками натяжение выполняет задачу выравнивания нитей в лентах и тканях.

При использовании мокрого метода без прикатки для формования труб с большой толщиной стенки натяжение должно уменьшаться пропорционально толщине стенки. В противном случае появляется тенденция к сжатию внутренних волокон, а это значительно снижает несущую способность внутренних слоев, которые практически могут оказаться ненагруженными.

Указанные явления при мокром способе заставляют прикладывать к стекломатериалу строго контролируемое натяжение. Необходимо отметить, что натяжение здесь является также фактором, контролирующим послойное содержание смолы (при неконтролируемом натяжении потери структурной прочности могут достигать 30%).

Наибольшую сложность представляет обеспечение натяжения нитей. В натяжных системах нити могут быть натянуты у шпули или между шпулей и оправкой. Проще всего создать натяжение у шпули, однако это усложняет пропитку в ванне со связующим и вызывает повреждение нитей (потеря прочности может достигать 50%). Предварительно пропитанные мокрым связующим тканые ленты при торможении у катушки могут сильно уплотняться и срезать материал внутри рулона. Поэтому материал целесообразно притормаживать (натягивать) на выходе из ванны со связующим или при предварительной мокрой пропитке на выходе из катушки (рулона) перед намоткой на оправку.

Предварительно пропитанная и высушенная лента (ткань) может сходить под натяжением непосредственно со шпули (катушки).

Один из методов натяжения нитей состоит в приложении механического торможения к шпуле со стекловолокном. Далее нить проходит через серию неподвижных и тормозимых роликов, изготовленных из полированной стали, фарфора или фторопласта. Торможе-

ние одного из роликов можно сделать регулируемым (с целью контроля и регулирования натяжения). Учитывая хрупкость стеклянных волокон, диаметры применяемых роликов не должны быть меньше 50 *мм*. Во время движения через натяжные ролики нити должны оставаться разделенными для предотвращения скручивания, группировки и разрывов. С этой целью между натяжными роликами устанавливают направляющие гребенки. Между последним роликом и направляющей гребенкой может быть смонтирован датчик усилия натяжения и показывающий прибор.

Величина натяжения T_0 для систем такого типа в общем виде может быть определена по формуле:

$$T_0 = T_1 \exp(f\Theta \sin\alpha) \qquad (IX.2)$$

где T_1 — натяжение на входе; f — коэффициент трения нити о материал рамки; Θ — суммарный угол обхвата стекломатериалом трущихся поверхностей механизма; α — угол входа стекломатериала на поверхность трения.

Из формулы следует, что величину натяжения можно регулировать изменением угла Θ, что чаще всего и делают в производственных условиях.

Основное требование, предъявляемое к системам натяжения — обеспечение условия $T_0 = \text{const}$. Для этой цели необходимо предусмотреть механизм программирования тормозного момента, так как в процессе сматывания стекломатериала он из-за непрерывного уменьшения диаметра рулона или шпули непрерывно увеличивается.

Одним из важнейших элементов намоточной установки являются оправки. Основное требование к оправке — ее соответствие и приспособленность к тому типу намоточного оборудования, на котором она устанавливается. Размеры оправки определяются размерами и формой внутренней поверхности изготавливаемого изделия. Необходимо, чтобы оправка имела высокую прочность (для сохранения формы и размеров во время операций намотки, отверждения и выпрессовки готового изделия). Форма оправки должна обеспечивать легкое отделение готового изделия без какого-либо его повреждения. Вследствие этого при конструировании оправки необходимо учитывать все напряжения, имеющие место при проведении данного процесса, в том числе давление, обусловленное натяжением намотки, и сжатие, возникающее при усадке смолы, а также напряжения, связанные с различными доводочными операциями (шлифование, обработка торцов и т. д.).

Таким образом, в зависимости от характера напряжений, количества и конфигурации изготавливаемых изделий, цикла их отверждения оправка может состоять:

1) из деревянной или стальной форм, которые выпрессовываются по завершении отверждения;

2) из надувных (например, резиновых) форм, в которых по окончании операций снимают давление;

3) из сердечников, изготовленных из металлического сплава с низкой температурой плавления, специального воска или твердых легкорастворимых солей (после завершения отверждения этот сердечник удаляется путем плавления при повышении температуры или путем промывки);

4) из сердечников, которые остаются в изделии.

В зависимости от конкретных условий оставляемые в изделии сердечники могут быть изготовлены из резины, поливинилхлорида, нержавеющей стали, алюминия. В этом случае получается конструкция, для которой сердечник из поливинилхлорида обеспечивает химическую стойкость или герметичность, а внешняя оболочка из стеклопластика — механическую прочность.

Во всех рассмотренных случаях не применяется разделительный слой, облегчающий выпрессовку изделия; наоборот, требуется наибольшая адгезия между стенками наружной и внутренней оболочки. Этого можно достигнуть путем предварительной обработки поверхности сердечника, а также применением специальных смол.

В целом оправки можно подразделить на две группы по способу их удаления из готовой трубы или оболочки: 1) выпрессовываемые и 2) удаляемые разрушением, разборкой, сокращением размеров, выплавляемые, вымываемые, надувные и т. д.

Первая из указанных групп оправок наиболее распространена для изготовления труб с жесткими допусками по внутреннему диаметру.

К недостаткам оправок второй группы относится их небольшая жесткость, большие трудности в изготовлении, невозможность сохранения в ряде случаев жестких допусков. Оправки этой группы имеют сложную конструкцию и высокую стоимость. При условии однократного применения оправок необходимо подтверждение экономической целесообразности выбранной конструкции изделия.

Для получения труб конечной длины из слоистых пластиков большое распространение (в частности, в электротехнической промышленности) получил сухой метод.

При сухом способе намотки иногда целесообразно иметь нагревательные элементы непосредственно в оправке. Это могут быть трубки для пара, масла и других теплоносителей, которые должны иметь входные и выходные патрубки, или нагревательные элементы электросопротивления с коммутаторным кольцом, обеспечивающим электрическое соединение с вращающейся оправкой.

В общем случае технологический процесс получения труб по сухому методу включает в себя следующие операции: получение заранее пропитанного и высушенного рулонного материала, намотка его на оправку, термообработка по специальному режиму, охлаждение, выпрессовка оправки, механическая обработка трубы и ее испытание. Для выпрессовки применяют гидравлические домкраты или механические лебедки.

Намоточные станки (рис. IX.11) состоят из трех валков и жесткой оправки, на которую наматываются слои материала. Два нижних опорных валка имеют внутренний обогрев, а верхний служит для

фиксации оправки. Оправка, установленная между тремя валками, имеет возможность вращаться за счет непосредственной передачи крутящего момента на ее ось либо за счет трения, если осуществляется привод на нижние опорные валки. Одна из цапф оправки через карданное сочленение соединяется с валом привода станка. Карданное сочленение позволяет компенсировать несовпадение оси оправки с осью привода в процессе намотки, когда толщина стенки трубы увеличивается и при этом непрерывно изменяется положение оси оправки.

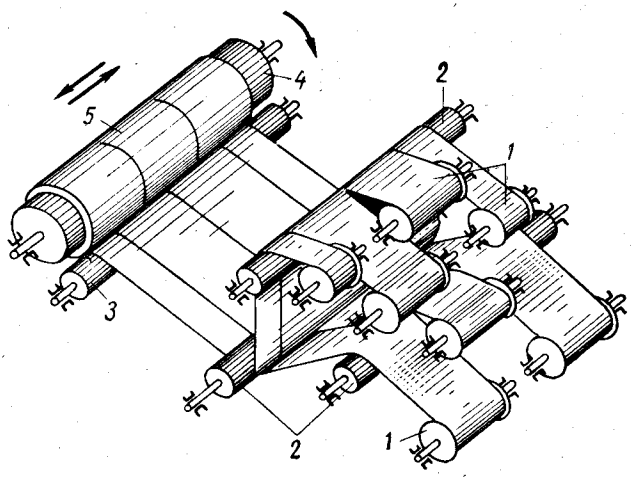


Рис. IX.11. Станок для намотки труб из рулонных материалов сухим способом:

1 — катушки; *2*, *3* — валки; *4* — оправка; *5* — материал.

Вторая цапфа в станках для намотки крупногабаритных труб не закрепляется, так как это позволяет устанавливать на станок оправки разной длины. Большой вес оправки и система фиксации создают условия для устойчивого положения оправки в процессе намотки. Для предотвращения сбрасывания оправки под действием сил натяжения наматываемого материала она прижимается сверху валом при помощи гидродомкрата, который обеспечивает заданное давление, необходимое для большего уплотнения и склеивания слоев материала. Развитие этого метода намотки в последние годы было направлено на поиски способа изготовления крупногабаритных равнопрочных труб из рулонных материалов, длина которых значительно больше, чем ширина рулона, подаваемого на намотку под прямым углом к оси оправки.

Для получения трубы большей длины, чем ширина рулона ткани, катушки *1* с рулонами ткани располагаются на специальных тормозных устройствах, а ткани собираются на перевальных валках *2* так, чтобы образовать два полотнища, ширина каждого из которых

должна быть равна длине наматываемой трубы, а стыки нижнего из них перекрывать верхним полотнищем (и наоборот). Расположенные в таком порядке полотнища поступают на нижний обогреваемый опорный валок *3*, который прижат в оправке 4. Затем происходит затягивание материала *5* и начинается его намотка на оправку. За каждый оборот оправки наматывается два слоя формуемой трубы.

Местное увеличение толщины трубы в местах стыков компенсируется специальным устройством в приводе станка, которое помимо вращательного сообщает оправке поступательное движение. Величина поступательного осевого смещения оправки на каждый оборот в зависимости от ширины нахлеста соседних рулонов ткани обычно составляет 5—10 *мм*. Стык приобретает характер винтовой линии, вследствие чего связанные со стыкованием местные утолщения вминаются в слоистый материал. Чем больше толщина стенки трубы, тем менее заметным является след от стыковки.

Описанный метод является наиболее производительным и обеспечивает наиболее высокий коэффициент использования прочности ткани по сравнению с другими способами ее укладки. Для изготовления труб конечной длины по сухому методу может быть использована лента из материала АГ-4С. В этом случае станок должен обеспечивать ее продольно-поперечную укладку с прикаткой горячим роликом. Необходимость набора большого количества катушек со стеклолентой шириной 50 *мм* для покрытия поверхности цилиндрической оправки в направлении оси за один проход делает устройство станка очень сложным и ограничивает область его применения.

При изготовлении труб конечной длины мокрым методом могут применяться различные виды стекломатериала — от волокон и нитей до тканей.

Станок для изготовления крупногабаритных труб из широких тканых (кордных) лент и тканей, которые предварительно могут пропитываться жидким связующим либо покрываться связующим за счет его распыления по поверхности слоев, показан на рис. IX.12. Полотна для продольной укладки поступают на оправку с катушки *1* распределительного стенда. Катушки рассчитаны на использование стеклополотен шириной от 300 до 1000 *мм* и имеют регулируемые тормозные устройства, которые обеспечивают необходимое натяжение полотен. Перед укладкой на оправку *3* концы продольных полотен пропускают через расположенные перпендикулярно оси оправки дугообразные щели *2*. На подвижной каретке *5* установлены специальные захваты и планшайба *4* для радиальной обмотки (оправка неподвижна). Для протягивания и укладки очередного продольного слоя каретка подается в крайнее левое положение, захватывает полотна и отъезжает в крайнее правое положение. Уложенные полотна закрепляются по концам обмоткой. Затем на закрепленные полотна наносится спиральная намотка стеклолент. Это происходит за счет вращения планшайбы с катушками вокруг оправки и одновременного перемещения каретки. Катушки снабжены специальными тормозами с регулируемым натяжением и способны разворa-

чиваться и самоустанавливаться под нужным углом за счет натяжения лент.

Количество радиально наматываемых за один проход слоев зависит от количества катушек на планшайбе, которые установлены для намотки определенной трубы. Привод для вращения планшайбы установлен непосредственно на подвижной каретке, а привод *7* для передвижения каретки закреплен на станине станка. Указанные приводы имеют вариаторы и могут быть отрегулированы на необходимый шаг спиральной намотки и скорость намотки. На правой опоре имеется привод *6*, обеспечивающий поворачивание оправки на некоторый угол после каждого продольно-поперечного слоя. Это делается для того, чтобы стыки продольных полотен не создавали неравномерностей в структуре стеклопластиковой трубы, снижающих ее прочность. Количество повторяемых циклов и их очередность зависят от диаметра, толщины стенки и требуемых прочностных свойств трубы.

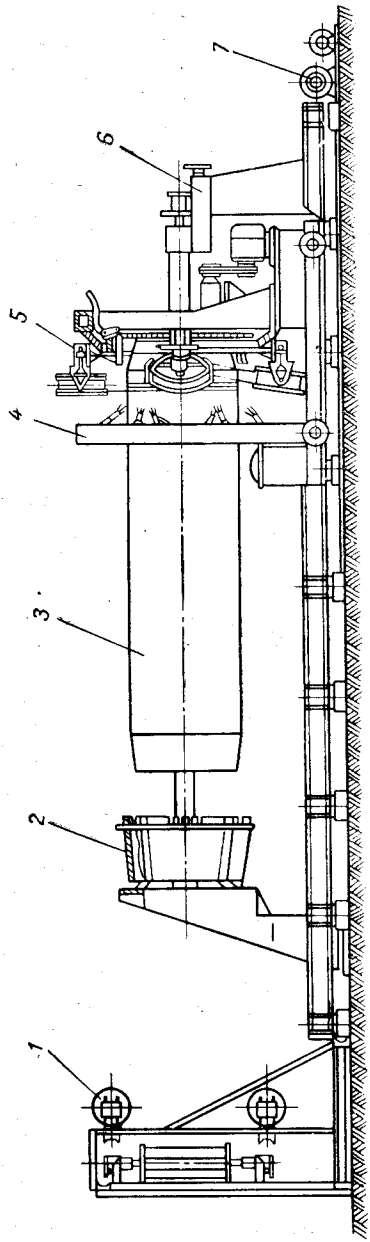


Рис. IX.12. Станок для намотки труб из кордных тканей и лент мокрым способом:
1 — катушка; *2* — щель; *3* — оправка; *4* — планшайба; *5* — каретка; *6*, *7* — приводы.

Наиболее широко применяются станки для намотки труб из жгутов по мокрому методу (рис. IX.13). Привод станка может располагаться как в передней бабке *1*, так и в задней бабке *4*. Оправка *5* при вращении с заданным числом оборотов наматывает ленту, состоящую из некоторого количества стекложгутов, движущихся с катушек подвижной каретки *2*. Перед намоткой на оправку жгуты пропитываются в ванне со связующим *3*.

Опоры станка смонтированы на специальной сварной раме *6*. Привод подвижной каретки находится непосредственно на ее раме. Электрическая синхронизация перемещения каретки и вращения оправки, а также наличие зубчатой

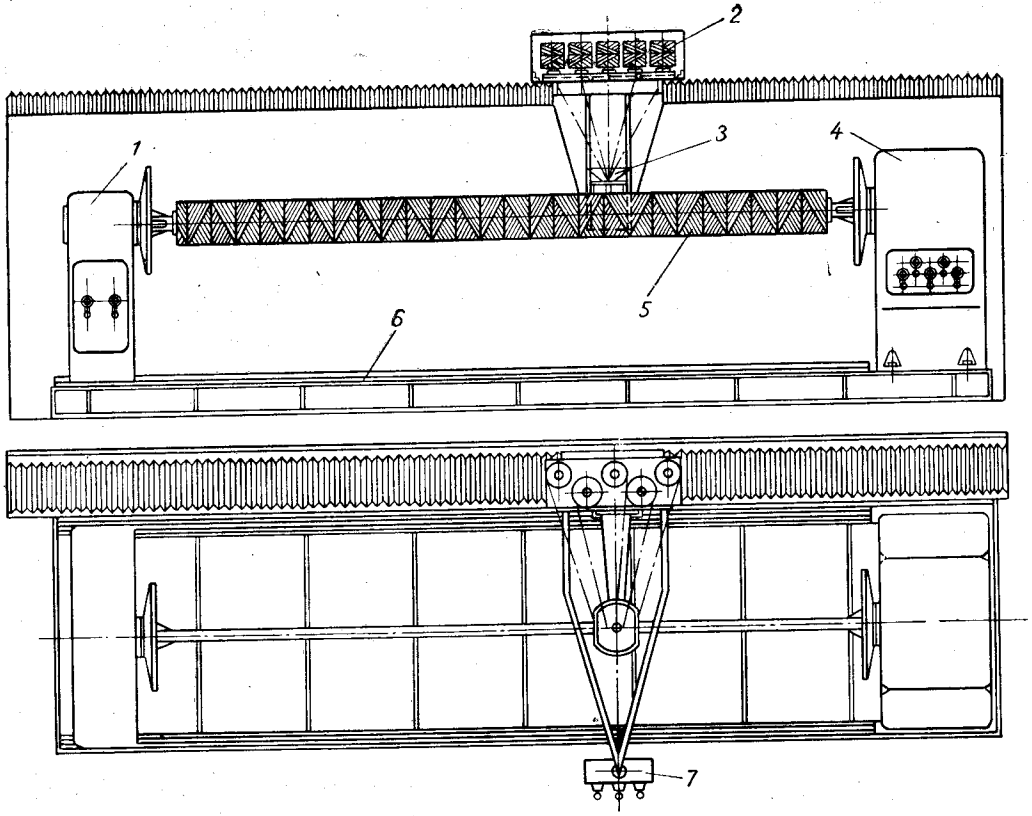


Рис. IX.13. Станок для намотки труб из стекложгутов мокрым способом:

1 — передняя бабка; *2* — каретка; *3* — ванна; *4* — задняя бабка; *5* — оправка; *6* — рама; *7* — пульт управления.

рейки, с которой зацепляется ведущая шестерня привода каретки, позволяет обеспечить с достаточной точностью заданную структуру намотки. Пульт *7* для управления движением каретки закреплен консольно и движется вместе с кареткой. Такой станок позволяет осуществлять только спиральную или радиальную (кольцевую) намотку. После намотки по мокрому методу трубы с оправками помещаются в полимеризационную печь, где они проходят процесс термообработки по заданному режиму, а оправки затем выпрессовываются.

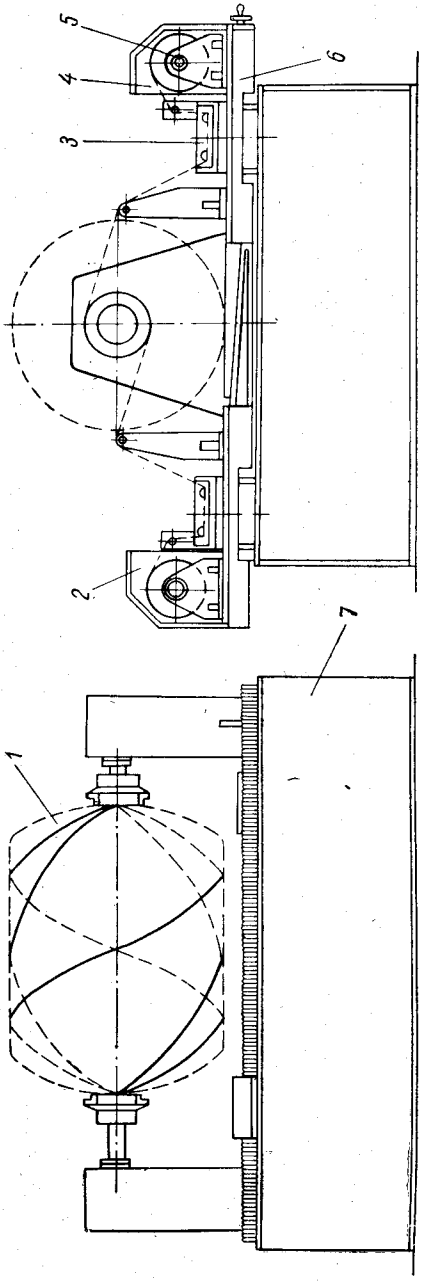


Рис. IX.14. Станок для спиральной намотки замкнутых оболочек:
1 — оправка; *2*, *4* — шпулярники; *3* — ванна; *5* — катушка; *6* — каретка; *7* — станина.

Схема станка для намотки замкнутых оболочек представлена на рис. IX.14. Внешне он мало отличается от станков для спиральной намотки труб. В станине *7* расположен привод для вращения оправки *1* и передвижения кареток *6*. Катушки *5* с нитями или жгутами оснащены специальными тормозами и установлены на шпулярниках *2* и *4*. Нить под определенным натяжением проходит через ванну *3* со связующим и наматывается на оправку. К кинематике станка предъявляются повышенные требования, поскольку она должна обеспечить укладку нитей по геодезическим линиям, так, чтобы стекломатериал не сползал с оправки и равномерно покрывал ее поверхность от слоя к слою.

Геометрия оправок таких станков (длина, диаметр, конфигурация днищ) находятся в строгой зависимости от необходимой структуры намотки. После намотки и полимеризации стеклопластиковой оболочки центральный вал оправки удаляется. Через люки должны быть удалены также остальные детали оправки. Для намотки оболочек применяют горизонтальные и вертикальные станки.

Непрерывное производство труб можно осуществить при совмещении на одном агрегате всех операций технологического процесса — от намотки трубы до ее окончательной обработки. Наиболее узкое место в такой технологической цепи — процесс полимеризации. Выделение же этого процесса в отдельную операцию нарушает непрерывность производства труб.

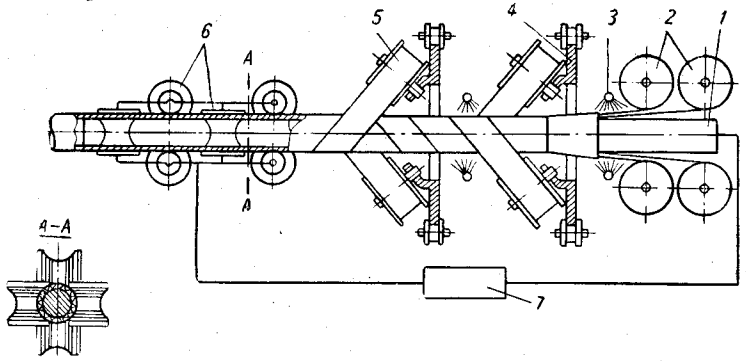


Рис. IX.15. Схема горизонтальной установки для производства труб:

1 — оправка; *2, 5* — катушки; *3* — форсунка; *4* — диск; *6* — ролики; *7* — генератор токов высокой частоты.

Получил распространение непрерывный метод изготовления труб и профилей из армированных пластиков (метод Имбера и Венцеля). Этот метод отличается быстрым отверждением термореактивных, в частности полиэфирных, смол с помощью вращающихся электродов, подсоединенных к генератору высокой частоты. Электроды находятся в контакте с материалом и обеспечивают одновременно формовку, полимеризацию и протяжку труб. Применение токов высокой частоты позволяет вести процесс отверждения равномерно по всей толщине стенки трубы. Таким образом, электроды играют роль непрерывных прессформ и используются не только для обогрева, но и для формования.

Указанным методом изготовляют трубы с внутренним диаметром 30—1000 *мм* и толщиной 1,5—20 *мм* (в зависимости от диаметра). Скорость производства труб зависит от мощности машины и может превышать 2 *м/мин*, если увеличить число генераторов высокой частоты.

Схема горизонтальной установки для производства конструкционных и газонепроницаемых труб представлена на рис. IX.15.

На такой установке производительностью до 3 *м/мин* можно получать трубы для эксплуатации при давлении до 30 *Мн/м²*. Наполнителем служит тканая стеклолента.

Установка имеет станину с неподвижно укрепленной на ней оправкой *1* и катушки *2* для продольной укладки целлофановой ленты (антиадгезионный слой). Тканые стеклоленты укладываются формующим устройством с перекрытием примерно на 10 *мм*. Связующее подается форсунками *3*. Вокруг оправки вращаются два диска *4*, на каждом из которых установлено по четыре катушки *5* со стеклолентами. Катушки снабжены тормозными устройствами для автоматического регулирования натяжения ленты, приспособлениями для двойной пропитки (обычно смолами двух типов) и приспособлениями для автоматического отжимания ленты. На катушки наматывается 900 *м* ленты, что обеспечивает формование трубы необходимой длины без прекращения работы установки.

Для замены катушек с лентами и целлофаном установка оборудована универсальными подающими устройствами. Из расчета времени размотки катушек (в среднем 45 *мин*) установка за 2 *мин* до окончания ленты на катушке замедляет ход. Замена катушек происходит во время остановки в течение 1—2 *мин*. Таким образом, на замену катушек и достижение установкой рабочей скорости требуется 5 *мин*. Каждое подающее устройство оснащено индивидуальным электродвигателем, скорость вращения которого синхронизируется электронным приспособлением со скоростью движения выходящей трубы. При замене каждой катушки натяжение ленты регулируют.

В установке имеется устройство для формования, полимеризации и протяжки трубы, состоящее из нескольких пар роликов *6*, которые являются одновременно электродами генератора *7* токов высокой частоты. Профиль ролика очерчен по дуге окружности. Для уменьшения скорости скольжения ролика по трубе его изготовляют из наборных дисков (см. сечение *А — А*). При производстве труб диаметром 30—60 *мм* используют четыре генератора *7* мощностью по 1 *квт* каждый. В установке имеется предварительный подогреватель мощностью 2 *квт*.

Готовая труба непрерывно продвигается подающим приспособлением с двумя цепями, приводящими в движение покрытые резиной V-образные упоры, сжимающие трубу и обеспечивающие движение. Скорость привода регулируется в отношении 1 : 16, при этом выход готовой трубы происходит со скоростью 0,25—4 *м/мин*. Трубы отрезаются на ходу. Длина резки регулируется. Отрезанные трубы попадают на стол-рольганг для дальнейшей транспортировки.

Для обеспечения непрерывной работы таких установок требуются значительные запасы наматываемых материалов. Это влечет за собой увеличение диаметра катушек и частую их замену. Разработанная система (рис. IX. 16) отличается тем, что катушки с материалом и пропиточные ванны для продольных и радиальных слоев материала устанавливаются не вокруг изготавливаемой трубы, а в стороне. Для продольных слоев используется система отклоняющих роликов,

которые позволяют уложить материал вдоль оси оправки. Для намотки радиальных (спиральных) слоев применяется специальная планшайба типа беличьего колеса, охватывающая оправку). Вращаясь вокруг неподвижной оправки *4*, планшайба *3* вначале наматывает (накапливает) на своем наружном диаметре (составленном из вращающихся роликов) ленту, пропитанную в ванне *2* со смолой, а затем изнутри через один из этих роликов расходует ленту и наматывает ее на поверхность оправки. Образовавшийся на внешнем диаметре планшайбы запас ленты необходим при замене катушки *1* со стекломатериалом.

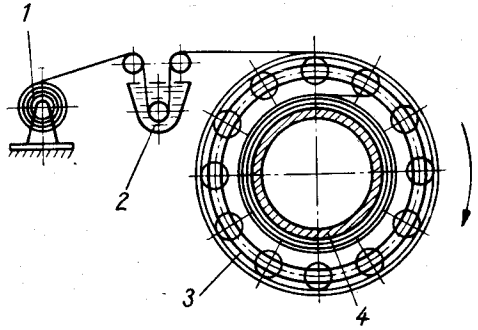


Рис. IX.16. Схема устройства для непрерывной намотки радиальных слоев трубы:
1 — катушка; *2* — ванна; *3* — планшайба; *4* — оправка.

Выпускается три типоразмера оборудования для производства труб непрерывным методом: диаметром 40—250; 250—600 и 600—1000 *мм*, с различной толщиной стенки.

Установки для изготовления из стеклопластиков труб и других профильных изделий (швеллеров, тавров, уголков и т. д.) методом протяжки позволяют осуществить непрерывное производство. Полученные протяжкой профильные изделия обладают повышенной жесткостью при изгибе и устойчивостью при осевом сжатии. Эти свойства

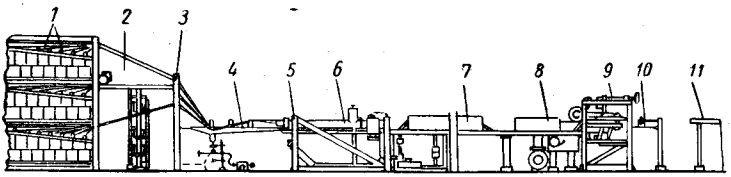


Рис. IX.17. Установка для формования труб и профилей протяжкой:

1 — бобины; *2* — камера; *3* — направляющее устройство; *4* — ванна; *5* — профилирующее устройство; *6*, *7* — печи; *8* — охлаждающая камера; *9* — протяжной механизм; *10* — режущее устройство; *11* — стеллаж.

профильные изделия получают за счет ориентации стекловолокнистого материала в направлении оси изделия.

Установка, представленная на рис. IX.17, предназначена для производства стержней круглого сплошного сечения диаметром до 20 *мм*, труб диаметром до 40 *мм* и профилей с наружными размерами 40 × 40 *мм*. Производительность ее при изготовлении круглых стержней с наружным диаметром 10 *мм* равна 80 погонным метрам в 1 *ч*. Потребляемая четырьмя агрегатами мощность составляет 23 *квт*.

Установка работает следующим образом. Жгуты стекловолокна с бобин *1*, подсушиваются в камере *2* и затем собираются в пучок, проходя через отверстия в направляющем устройстве *3*. Число жгутов в пучке подбирается в зависимости от размера и профиля изделия. Пропитанный в ванне *4* со связующим пучок жгутов проходит через профилирующее устройство *5* и поступает в формующую печь *6*. Здесь материал нагревается, освобождается от избытка свя-

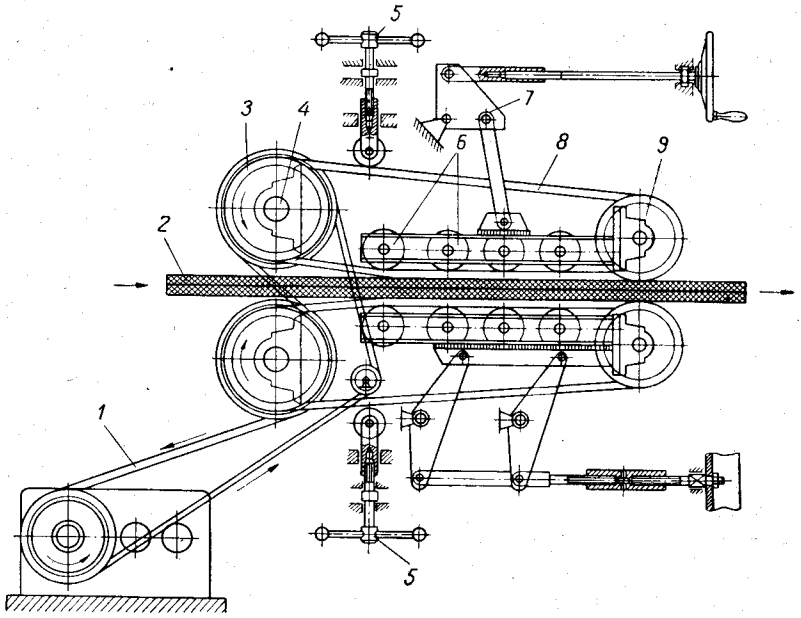


Рис. IX.18. Схема протяжного механизма:

1 — цепная передача; *2* — изделие; *3*, *9* — шкивы; *4* — вал; *5* — натяжное устройство; *6* — нажимные катки; *7* — устройство для регулирования зазора; *8* — клиновой ремень.

зующего, формуется и калибруется. Окончательная полимеризация связующего происходит в печи *7*. Пройдя охлаждающую камеру *8*, изделие, протягиваемое механизмом *9*, попадает на приспособление для резки *10* и поступает на стеллаж *11*. Формующий инструмент для изготовления труб имеет горизонтальную плоскость разъема и состоит из наружной части и внутреннего дорна. Длина инструмента несколько более 2000 *мм*. Длина участка полимеризации за цикл протягивания стекложгутов составляет 900 *мм*. Скорость протягивания равна 1,2 *м/мин*.

Протяжной механизм (рис. IX.18) каждой линии установки представляет собой транспортер, состоящий из клиновых ремней *8* и шкивов *3* и *9*. Ведущие шкивы *3* насажены на вал *4*, вращающийся от электродвигателя через вариатор, редуктор и цепную передачу *1*. Натяжение ремней осуществляется винтовыми устройствами *5*. Зазор

между транспортерами регулируется устройством *7*, усилие которого передается на нажимные катки *6*. Захват и продвижение изделия *2* осуществляется за счет сил трения между ремнем и наружной поверхностью изделия.

Увеличение размеров профилей приводит к прогибу по длине в процессе изготовления. Это обстоятельство привело к созданию вертикальных протяжных установок. В них удается более равномерно распределить смолу по всему профилю изделия. Кроме того, упрощается конструкция шпулярника и облегчается его обслуживание. Схема вертикальной установки для изготовления профильных изделий методом протяжки приведена на рис. IX.19.

Из кольцеобразного шпулярника *1* стеклонити попадают в направляющее устройство *2*, затем в сушильную печь *3* и оттуда в ванну *4* со смолой. Ванна легко наполняется и опорожняется. В нижней ее части находится печь *5*, в которой начинается полимеризация изделия. В зависимости от профиля протягиваемого изделия фильеры печи можно заменять. Отформованный профиль поступает через формующие сопла *6* в камеру предварительной полимеризации *7* и затем в высокочастотную печь *8*. Ниже высокочастотной печи расположена камера окончательной полимеризации *9* и калибрующие сопла *10*. Тянущее устройство *11* подает готовое изделие к отрезному устройству *12*. На вертикальных установках можно изготовлять изделия размером 150—200 *мм* в поперечнике. Скорость протягивания составляет 0,75—3 *м/мин*.

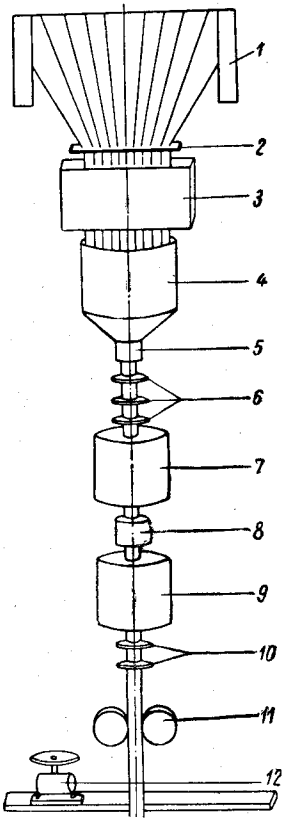


Рис. IX.19. Схема вертикальной установки для изготовления профильных изделий протяжкой:

1 — шпулярник; *2* — направляющее устройство; *3*, *5* — печи; *4* — ванна; *6* — сопла; *7*, *9* — камеры полимеризации; *8* — высокочастотная печь; *10* — калибрующие сопла; *11* — тянущее устройство; *12* — отрезное устройство.

§ 4. УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТЕКЛОМАТОВ, ПЛОСКИХ И ГОФРИРОВАННЫХ ЛИСТОВ

Стекломаты и листы изготавливают непрерывным методом на специальных конвейерных установках. Для получения плоских или волнистых листов применяются жгутовая ткань, стеклянная сетка из штапельной пряжи, холст из рубленых волокон или волокон воздушной вытяжки. В качестве связующего используются полиэфирные и

эпоксидные смолы. Готовые изделия состоят по весу из 40% стекловолокнистого наполнителя и 60% смолы.

Существуют два типа конвейерных установок: для формования листов (стеклошифера) с поперечной или продольной волной. Схема конвейера для изготовления стеклошифера с поперечной волной приведена на рис. IX.20. Установка состоит из формующего агрегата, смонтированного в полимеризационной камере *4*. Формующий агрегат представляет собой два непрерывно движущихся конвейера, образованных двумя парами синхронно движущихся цепей *3*, на которых закреплены ролики *2*. Стекловолокнистый холст поступает с рулона в пропиточную ванну. Затем во избежание прилипания к роликам пропитанный холст облицовывается с двух сторон плен-

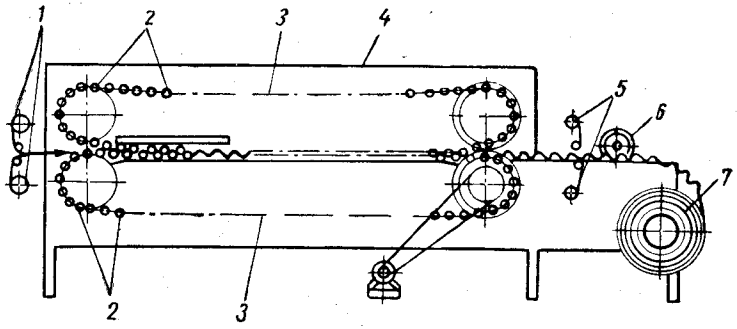


Рис. IX.20. Схема конвейера для формования стеклошифера с поперечной волной:

1, *5* — катушки; *2* — ролики; *3* — цепи; *4* — камера; *6* — нож; *7* — рулон.

ками целлофана, которые подаются с катушек *1*. При поступлении в камеру пропитанный наполнитель частично затвердевает, после чего ролики формующего агрегата гофрируют ленту. За время процесса гофрирования происходит окончательная полимеризация ленты. По выходе ленты из полимеризационной камеры пленки целлофана отмачиваются и наматываются на катушки *5*. Кромки готовой волнистой ленты обрезаются дисковыми ножами *6*, после чего производится ее намотка в рулоны *7*.

Универсальная установка для непрерывного формования стеклошифера с продольной волной показана на рис. IX.21. Стеклянный жгут с бобин *6* поступает в режущее устройство *5* для измельчения. Нарубленные отрезки стекловолокна падают на быстро вращающиеся диски *4* и за счет центробежной силы разбрасываются в стороны. В нижней части камеры *3* проходит ленточный конвейер *2*, на поверхности которого оседают стеклянные волокна. Для обеспечения лучшего осаждения волокон на конвейере и уплотнения слоя осевших волокон из камер *1* эксгаустером отсасывается воздух. При движении полотна конвейера устройство *7* наносит клей на осевшие отрезки стекловолокна. Далее полотно конвейера с образовавшимся на нем стеклянным холстом поступает в зону, где нагревается

лампами *11* инфракрасного излучения. Затем стеклянный холст накладывается на поступающую с бобины *9* целлофановую ленту *10* со слоем связующего, нанесенным раздатчиком *8*.

Компоненты связующего (смола, ускоритель, катализатор) подаются сжатым воздухом в промежуточную емкость *13* и оттуда самотеком поступают в смеситель *15* с электроприводом *14*. Готовая смесь перетекает в расходный бачок *12*, а затем в раздатчик связующего. После укладки стеклянного холста на целлофановую ленту он накрывается второй целлофановой лентой, подаваемой с бобины *16*.

Толщина ленты материала регулируется валками *17*. Лента материала проходит между валками *18*, обеспечивающими выжимание пузырьков воздуха, и ширительными валиками *19*, после чего она поступает в устройство для формования и тепловой обработки. Формование производится при помощи барабанов *20*. Для предупреждения образования складок формование производится последовательно: вначале формуются средние волны, затем крайние (при температуре 120—150° С). При формовании плоских листов профилированные валки заменяются гладкими. В камере *21* осуществляется полимеризация ленты, а в душевой камере *22* — ее охлаждение. Протягивание отформованной ленты обеспечивается

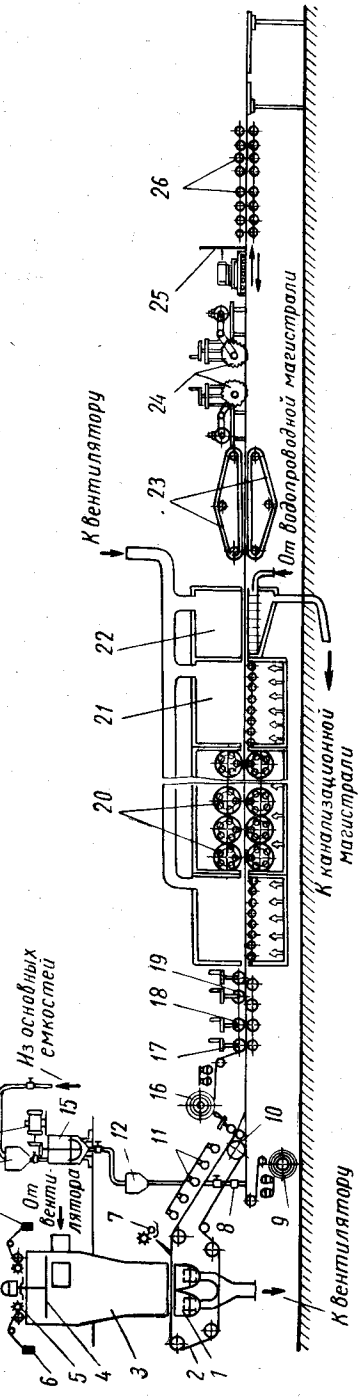


Рис. IX.21. Схема установки для формования стеклопластика с продольной волной:

1, 3, 21, 22 — камеры; *2* — конвейер; *4* — диск; *5* — режущее устройство; *6, 9, 16* — бобины; *7* — устройство для нанесения клея; *8* — раздатчик; *10* — целлофановая лента; *11* — инфракрасные лампы; *12* — бачок; *13* — емкость; *14* — электродвигатель; *15* — смеситель; *17, 18* — валки; *19* — валик; *20* — барабаны; *23* — транспортеры; *24* — нож; *25* — устройство для поперечной резки; *26* — ролики.

сдвоенными резиновыми транспортерами *23*, приводимыми во вращение от общего с формовочными валками привода. Дисковые ножи *24* обрезают кромки листов. Для поперечного разрезания листов предназначено устройство *25*. Отрезанные листы отводятся ускоряющими роликами *26*.

Основной частью установки является формовочное устройство (рис. IX.22). Формующий барабан устройства состоит из вала *4* и корпусов *2* и *3*, к которым в подшипниках *5* крепятся гладкие и профильные валки *6* и *7*. Верхний барабан имеет четыре профильных валка *7* и один гладкий валок *6*, а нижний барабан — четыре гладких валка и один профильный. В показанном на рисунке поло-

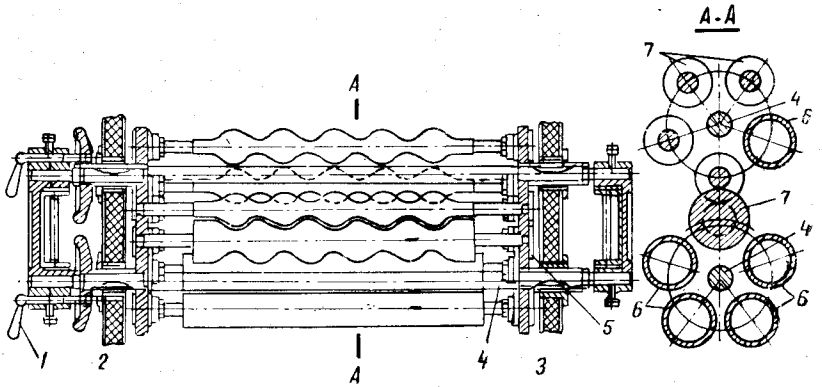


Рис. IX.22. Формовочное устройство барабанного типа:
1 — рукоятка; *2*, *3* — корпуса; *4* — вал; *5* — подшипник; *6*, *7* — валки.

жении установлены барабаны для формования гофрированного стеклопластика. Для формования гладких листов барабаны поворачиваются таким образом, чтобы гладкие валки стали друг против друга. Поворот барабанов осуществляется изменением положения корпуса *2* с помощью рукоятки *1*.

Более производительная установка, которая позволяет изготовлять изделия корытообразного и других сечений, имеет формовочное устройство, отличное от ранее рассмотренных. В нем для профилирования стеклопластика вместо формующих барабанов предусмотрено несколько рядов трубчатых решеток, устанавливаемых последовательно одна за другой.

* * *

В заключение необходимо отметить, что полиэфирные и другие смолы токсичны, а мелкая пыль, возникающая при механической обработке стеклопластиков, может вызвать болезни дыхательных путей и кожи. Поэтому при переработке стеклопластиков в изделия нужно строго соблюдать правила техники безопасности и санитарные нормы.

Количество вредных примесей, содержащихся в воздухе рабочих помещений, не должно превышать предельно допустимые концентрации. При формовании изделий методом напыления помещение должно быть капсюлировано и обеспечено приточно-вытяжной вентиляцией. Работы по смешению смолы с отвердителями необходимо проводить в резиновых перчатках, в респираторах и при работающей вентиляции. В рабочих помещениях должны иметься углекислые огнетушители, асбестовые одеяла и песок.

При обслуживании оборудования необходимо предельно ограничить контакт работающих со связующими и другими компонентами композиции. У оборудования в местах выделения паров необходимо устанавливать стационарные аспирируемые укрытия.

ЛИТЕРАТУРА

В. К. Завгородний, Механизация и автоматизация переработки пластических масс, Изд. «Машиностроение», 1970.

Е. Г. Махаринский и др., Оборудование для производства изделий из стеклопластиков, Сб. «Зарубежное оборудование для переработки пластмасс», 1964.

М. Г. Парнес, Расчет и конструирование намоточных станков, Изд. «Машиностроение», 1965.

ГЛАВА X

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СВАРКИ И НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ

§ 1. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ СВАРКИ И ОСОБЕННОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ

Сварка изделий или заготовок из пластических масс — технологический процесс образования прочного, плотного неразъемного соединения. Процессы сварки можно разделить на диффузионные (происходящие под действием тепла или совместного действия тепла и растворителя) и химические (происходящие под действием химически активных веществ).

Диффузионная сварка достигается в результате взаимного диффузионного проникновения молекул соединяемых материалов в зоне контакта. Для осуществления процесса сварки необходимо обеспечить активное движение макромолекул или их отдельных участков. Это достигается увеличением внутренней энергии молекул путем их нагревания или ослабления межмолекулярного взаимодействия введением растворителя в зону сварки.

Химическая сварка достигается путем введения в зону контактов химически активного (по отношению к соединяемым материалам) вещества. При этом происходит химическое взаимодействие соединяемых материалов (в основном реактопластов).

Наиболее широко распространены процессы диффузионной тепловой сварки (характерные для термопластов). При сварке соединяемые поверхности нагреваются и затем совмещаются под давлением, которое прикладывается в течение заданного времени. Прочность сварного соединения определяется степенью прохождения процесса диффузионного проникновения молекул или отдельных участков молекул свариваемых материалов. При этом можно выделить два этапа: первый этап, проходящий практически мгновенно, состоит в реализации сил межмолекулярного взаимодействия по поверхности контакта; второй этап, протекающий во времени, заключается в диффузии молекул или их отдельных участков через поверхность контакта.

Основными факторами, определяющими процесс сварки пластмасс, являются температура, давление, а также длительность приложения давления.

Свариваемость полимеров происходит тем лучше, чем выше температура соединяемых поверхностей (конечно, в пределах термоста-

бильности полимера). Повышение температуры увеличивает подвижность молекул и их отдельных участков, что улучшает условия взаимного проникновения. Увеличение давления способствует большему контакту свариваемых поверхностей и повышает качество сварки. Однако при сварке давление не может быть повышено чрезмерно, поскольку при его увеличении время перехода полимеров в равновесное состояние увеличивается, а это может подавить диффузионную способность полимера и привести к снижению прочности свариваемых соединений. При установлении величины давления сварки следует учитывать также, что при возрастании давления размягченный материал может вытекать из зоны сварки и сечение свариваемого соединения при этом будет меняться. Время приложения давления непосредственно влияет на прочность сварного соединения, так как диффузия свариваемых материалов протекает во времени.

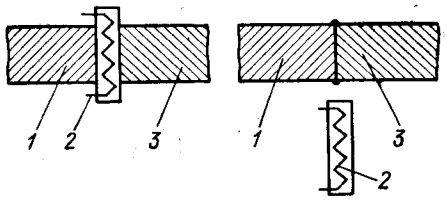


Рис. X.1. Схема устройства для термоконтактной сварки:

1, 3 — свариваемые изделия; *2* — устройство для нагрева свариваемых поверхностей.

Существуют следующие методы диффузионной тепловой сварки, различающиеся способом передачи тепла: термоконтактная, термоимпульсная, токами высокой частоты, ультразвуковая, газовая, расплавом полимера, трением.

Все отмеченные методы, кроме последнего (относительно малораспространенного), описываются ниже. Наиболее простая, универсальная и доступная газовая сварка в свою очередь подразделяется по типу теплоносителя — горячий воздух, инертный газ, газовые смеси, газопламенная (с помощью открытого пламени).

Для всех методов диффузионной тепловой сварки характерны два типа сварочных швов — точечный и валиковый (шовный). Иногда сварка осуществляется по всей плоскости.

Выбор метода сварки определяется свойствами материала, конструкцией свариваемых изделий, требованиями, предъявляемыми к сварному соединению, и т. д. Особое внимание при выборе метода следует уделять вопросу производительности сварочного оборудования.

Рассмотрим особенности основных методов сварки и оборудования для их осуществления.

Термоконтактная сварка заключается в нагреве свариваемых поверхностей путем теплопередачи от обогреваемых деталей оборудования (рис. X.1). В зависимости от конструкции нагревательного приспособления и условий сварки наряду с кондуктивным нагревом может осуществляться и одновременный нагрев за счет излучения. Термоконтактный метод применяется для сварки пленок, листов, конструкционных деталей. Нагрев свариваемых изделий *1* и *3* производится устройствами *2*, оснащенными нагревателями.

В зависимости от назначения свариваемых соединений нагревательные элементы могут иметь вид ленты, роликов, полозьев. Прикладываемое к свариваемым поверхностям давление находится в пределах 0,05—0,5 *Мн/м*^{2}. После сварки сварное соединение охлаждается путем теплоотдачи в окружающую среду или с помощью специальных приспособлений, ускоряющих процесс охлаждения.

Машины для сварки материалов термоконтактным методом обычно представляют собой своеобразные прессы, основной рабочий орган которых может, помимо нагревания, подавать материал в зону сварки. Общий вид машины для термоконтактной сварки пленочных материалов представлен на рис. X.2, *а*. Схема этой машины дана на рис. X.2, *б*.

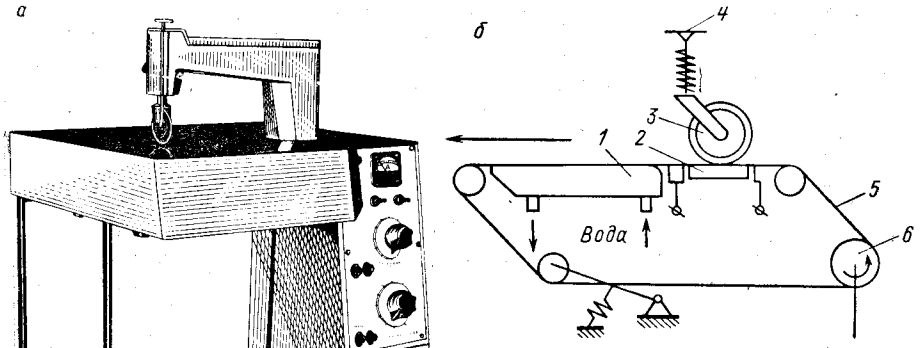


Рис. X.2. Машина для термоконтактной сварки пленок:

а — общий вид; *б* — схема;
1 — устройство для охлаждения ленты; *2* — устройство для нагревания ленты; *3* — прессующий ролик; *4* — рукоятка для регулирования давления; *5* — транспортер; *6* — приводной ролик.

На станине машины размещены контрольно-измерительные приборы и головка с прессующим роликом *3*, усилие прижима (давление) которого регулируется рукояткой *4*. Материал с помощью ленточного транспортера *5* (на приводных роликах *6*) подается к устройству для нагревания ленты *2* и под прессующий ролик *3*. После сварки материал охлаждается с помощью устройства *1*.

Схема термоконтактной сварочной машины для производства армированных шлангов приведена на рис. X.3. С помощью электрического нагревателя сопротивления *6* температура наконечника *5* доводится до заданной величины. Соприкасаясь с материалом шланга *3*, одетого на оправку *4*, и армирующим материалом *2*, наконечник *5* разогревает их, а затем прижимной ролик *1* осуществляет плотный контакт этих материалов.

В случае термоимпульсной сварки разогрев свариваемых заготовок производится тепловым импульсом большой величины. Этот метод значительно интенсифицирует процесс нагревания свариваемых поверхностей. В термоимпульсных машинах на-

гревается металлическая лента с высоким омическим сопротивлением. Проходящий по ней ток большой величины приводит к возникновению теплового импульса, который передается свариваемым поверхностям.

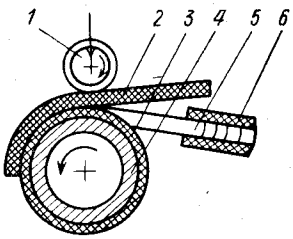


Рис. X.3. Схема машины для термоконтактной сварки армированных пленок:

1 — ролик; *2* — армирующий материал; *3* — шланг; *4* — оправка; *5* — наконечник; *6* — нагреватель.

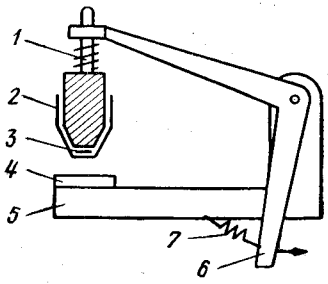


Рис. X.4. Схема машины для термоимпульсной сварки:

1 — пружина; *2* — прокладка; *3* — электрод; *4* — свариваемый материал; *5* — стол; *6* — рычаг; *7* — пружина.

Схема машины для термоимпульсной сварки пластмасс показана на рис. X.4. Свариваемые материалы *4* помещают между столом *5* и верхним сварочным электродом *3*. При нажатии на рычаг *6* включается высокоомное сопротивление в электроде *3*. Изолированный от свариваемых материалов термостойкой прокладкой *2* электрод *3* быстро нагревается. Прижатие электрода регулируется пружиной *1*. При нажатии на рычаг *6* на электрод подается напряжение. Одновременно с этим начинает действовать реле, с помощью которого по истечении заданного времени напряжение отключается.

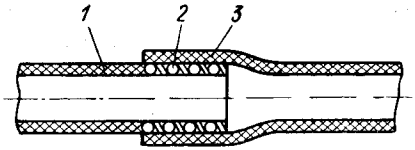


Рис. X.5. Схема термоимпульсной сварки труб:

1, 3 — соединяемые трубы; *2* — нагревательный элемент.

На рис. X.5 приведена схема термоимпульсной сварки трубных соединений. На конец трубы *1* наматывают нагреватель в виде тонкой проволоки *2* толщиной 0,1 *мм* с шагом 1—1,5 *мм*. Конец трубы *1* помещают в предварительно развальцованную трубу *3*. Затем подают импульс тока на нагреватель. Спираль накаляется, расплавляет соединяемый материал и сваривает концы труб. После сварки концы спирали обрезают (на схеме не показаны).

При высокочастотной сварке нагревание деталей осуществляется за счет диэлектрических потерь в свариваемых материалах. При этом тепло генерируется по всему объему материала, чем достигается равномерный его прогрев по всей толщине. Время разогрева материала зависит от диэлектрических потерь его, величины тепловых потерь, напряжения и частоты тока.

Расчет температуры, до которой нагревается материал при высокочастотной сварке, должен учитывать тепло, генерируемое в материале, и потери тепла в окружающую среду. Одним из факторов, влияющих на величины потерь тепла, является теплопередача от нагретых заготовок к электродам.

Основным преимуществом высокочастотной сварки перед другими методами является более значительная производительность процесса, достигаемая за счет быстрого нагревания заготовок.

Машины для высокочастотной сварки пластмасс показаны на рис. X.6.

Сварка по плоскости осуществляется на машине, схема которой дана на рис. X.6, *а*. На нижнем столе *2* закрепляется пуансон. На

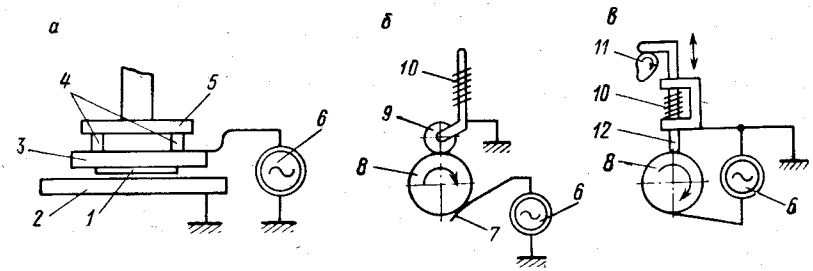


Рис. X.6. Схемы машин для высокочастотной сварки:

а — сварка по плоскости; *б* — роликовая сварка; *в* — точечная сварка; *1* — пуансоны; *2* — нижний стол; *3* — электродержатели; *4* — изоляторы; *5* — верхний стол; *6* — генератор; *7* — щетки; *8*, *9* — ролики; *10* — пружина; *11* — кулачок; *12* — наконечник.

верхнем столе *5* устанавливаются изоляторы *4*, электродержатель *3* и прессующий пуансон *1*. Верхний стол перемещается под действием гидроцилиндра. Свариваемый материал помещается под пуансоном *1*, к которому подается напряжение высокой частоты от генератора *6*.

Схема машины для роликовой сварки пластмасс токами высокой частоты приведена на рис. X.6, *б*. Материал помещается между нижним роликом *8* и верхним прижимным роликом *9*. К нижнему ролику от генератора *6* через щетки *7* подводится ток высокой частоты. Ролик *8* имеет привод для протяжки материала. Усилие прижима верхнего ролика регулируется пружиной *10*.

Машина для точечной высокочастотной сварки схематично изображена на рис. X.6, *в*. Как и в предыдущем случае, протяжка материала осуществляется нижним приводным роликом *8*, к которому от генератора *6* через щетки подается ток высокой частоты. Прижим материала осуществляется наконечником *12*. Поступательное движение наконечника вниз достигается за счет усилия пружины *10*. Поднятие наконечника *12* производится с помощью кулачка *11*. В момент прижима наконечника *12* к материалу движение приводного ролика *8* прекращается.

Ультразвуковая сварка заключается в обработке соединяемых частей изделий или заготовок звуковыми колебаниями большой частоты с одновременным приложением усилия в зоне контакта.

Схема ультразвуковой сварочной установки показана на рис. X.7. Ток высокой частоты от генератора подается на преобразователь *1*, который генерирует механические колебания, передающиеся на волновод *2* и на свариваемые детали *4*. Образуется акустическая цепь: «прижим *3*, свариваемые детали *4*, волновод *2* и отражатель *5*». В результате ультразвуковых колебаний свариваемые детали разогреваются и свариваются. Преобразователь помещается в корпусе *6*, охлаждаемом проточной водой. Ультразвуковой метод может применяться для сваривания большинства термопластов.

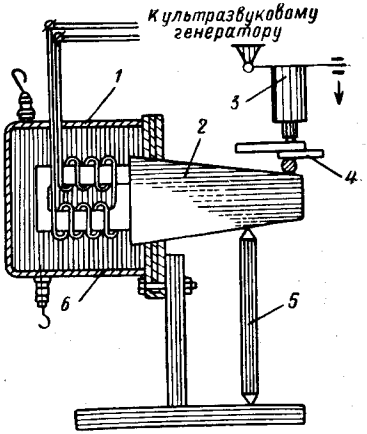


Рис. X.7. Схема машины для ультразвуковой сварки пластмасс:
1 — преобразователь; *2* — волновод; *3* — прижим; *4* — свариваемая деталь; *5* — отражатель; *6* — корпус.

Газовая сварка производится с помощью присадочных прутков или без них. Соединяемые поверхности должны быть предварительно очищены и обезжирены. Схемы различных сварных соединений, получаемых при газовой сварке, приведены на рис. X.8. Эти схемы дают также представление о характере механической обработки свариваемых поверхностей.

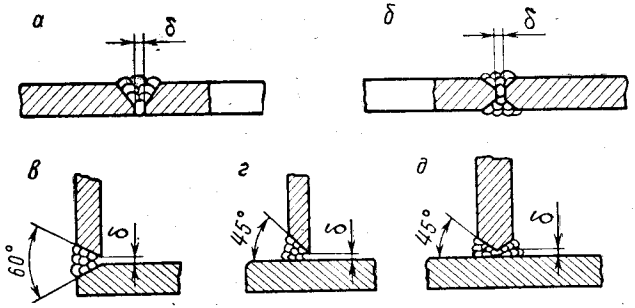


Рис. X.8. Схемы сварочных швов для газовой сварки:
а—в — стыковые швы; *г*, *д* — валиковые швы.

Соединение встык показано на рис. X.8, *а*. Для обеспечения высокой прочности подобных соединений необходимо выставлять свариваемые соединения строго по плоскости, оставляя зазор $\delta = 0{,}4 \div 1{,}0$ *мм* между соединяемыми поверхностями. Кромки свариваемых

поверхностей должны быть скошены под углом 60°. Свариваемые заготовки следует помещать на прокладку из материала с малой теплопроводностью, что уменьшает тепловые потери и предохраняет соединяемые поверхности от быстрого охлаждения.

Сварку встык с V-образным швом применяют для соединения листов толщиной $\geqslant 6$ *мм*. В зависимости от толщины свариваемых листов сварка может осуществляться за несколько проходов. После сварки место соединения зачищают напильником, рубанком или обрабатывают растворителем (если последний не способствует образованию дефектов на поверхности соединяемых деталей).

В тех случаях, когда обратная сторона свариваемых поверхностей доступна, предпочтительнее использовать Х-образное соединение (рис. Х.8, *б*). При этом соединении скос кромок с обеих сторон выполняют под углом 60°, сохраняя указанную выше величину зазора между свариваемыми плоскостями.

Угловой шов (рис. Х.8, *в*) используют для соединения прямоугольных заготовок. При этом делают скос кромок на соединяемых поверхностях под углом 60° и также оставляют зазор между свариваемыми заготовками для лучшего провара материала при первом проходе. Валиковые швы при одностороннем односкосном тавровом соединении и двухскосном тавровом соединении показаны соответственно на рис. Х.8, *г* и *д*.

Прочность сварных соединений зависит от многих факторов и в первую очередь от прочности исходных материалов и материала сварочного прутка, типа шва, качества подготовки элементов соединения, а также от квалификации сварщика. Встречающиеся дефекты сварных швов обычно обусловлены недостаточной температурой сварки, малыми размерами сварочного прутка, непроварами.

Газовая сварка осуществляется как вручную, так и различными механизированными приспособлениями. Основным узлом во всех сварочных приспособлениях является горелка. Схемы сварочных горелок приведены на рис. Х.9.

Электрическая сварочная горелка (рис. Х.9, *а*) состоит из наконечника *1*, нагревательной спирали *2* и корпуса *3*, в котором предусмотрены каналы *4* и *5* соответственно для подачи воздуха (или газа) и подвода проводов к спирали нагревателя. Нагреватель включается после подачи воздуха. Поступающий холодный воздух омывает накаленную спираль и нагревается. Температура воздуха регулируется путем изменения расхода воздуха и напряжения тока, подаваемого на нагреватель.

В сварочной горелке газового типа (рис. Х.9, *б*) нагрев воздуха или газа осуществляется в трубчатом змеевике *2*. Воздух подается к наконечнику из канала *4*, проходит через змеевик *2* (который обогревается газами, поступающими в полость горелки через канал *5*), нагревается и через наконечник *1* поступает в зону сварки.

Мероприятия техники безопасности по обслуживанию специального сварочного оборудования направлены главным образом на предотвращение травм от ожогов и поражения электрическим током.

На непрерывно действующих машинах зона сварки защищена ограждением, а на ручных машинах зона сварки обычно не защищена и при обслуживании этих машин требуется производственный на-

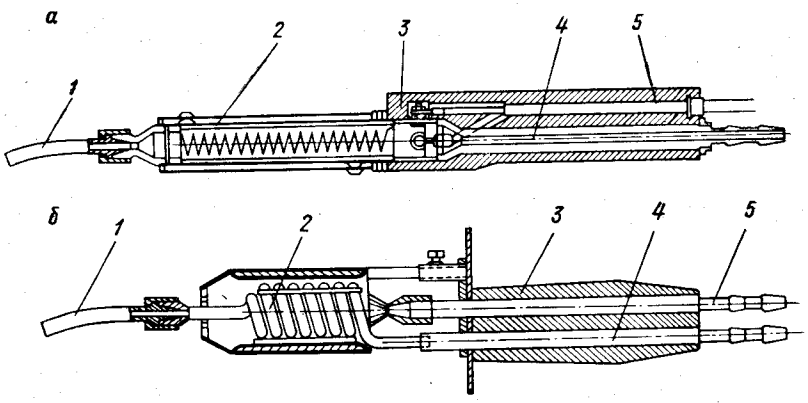


Рис. X.9. Схемы сварочных горелок:

а — электрического типа; *б* — газового типа; *1* — наконечник; *2* — нагревательный элемент; *3* — корпус; *4* — каналы для подачи воздуха или газа; *5* — каналы.

вык. Сварочное оборудование должно устанавливаться в светлом хорошо вентилируемом помещении и заземляться.

В последнее время все большее распространение получает сварка расплавом полимера. Этот метод заключается в фиксации заготовок в необходимом относительно друг друга положении и заполнении пространства между заготовками расплавом материала. Расплав может подаваться в пространство между заготовками экструзионным или литьевым способами.

Схема метода сварки расплавом полимера приведена на рис. X.10. Заготовки *1* помещаются в замкнутую литьевую форму, которая одновременно фиксирует заготовки в требуемом положении. Затем производится впрыск расплавленного полимера в полость *3* формы *2* как при обычном способе литья под давлением. После охлаждения материала форма раскрывается, и полученная таким образом соединенная конструкция извлекается. Этот способ позволяет получать на литьевых машинах крупногабаритные изделия с высоким качеством поверхности.

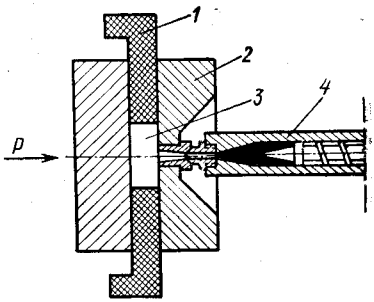


Рис. X.10. Схема метода сварки расплавом полимера:

1 — заготовки; *2* — литьевая форма; *3* — полость формы; *4* — цилиндр литьевой машины.

§ 2. КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ И ОСОБЕННОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ

Пластмассовые покрытия на неметаллических и металлических поверхностях весьма эффективны. В зависимости от функционального назначения покрытий (антикоррозионное, электроизоляционное, декоративное, поверхностное упрочнение) применяются различные полимерные материалы и технологические приемы.

Для антикоррозионной защиты применяют, например, фторопласт и полиэтилен, покрытия из которых стойки к большинству органических веществ, щелочам и растворам кислот. При необходимости предохранения поверхностей от действия слабых кислот и щелочей используют поливинилхлорид. Для увеличения поверхностной стойкости на истирание и для электроизоляционных целей применяют полиамиды.

В настоящее время разработаны разнообразные способы нанесения покрытий на детали. Выбор метода для практического использования зависит от типоразмера и конфигурации изделия, на которое наносится покрытие.

Покрытие поверхностей осуществляется: 1) жидкими компаундами и мастиками, композиции которых чаще всего приготовляются на основе термореактивных материалов (в зависимости от назначения и условий нанесения в состав композиции добавляются наполнители, пластификаторы, а для удобства нанесения — разбавители); 2) суспензиями, которыми периодическим способом покрываются отдельные детали и непрерывным способом — пленки, листы и т. д.); 3) порошками, наносимыми различными методами (по аппаратурному признаку эти методы могут быть разделены на камерные и бескамерные); 4) расплавами (на экструзионном или литьевом оборудовании и пластицирующих приспособлениях); 5) литьевыми или пленочными заготовками (методами футерования, дублирования, плакирования и т.д.).

Покрытие жидкими компаундами и мастиками, а также суспензиями осуществляется с применением ручных и механизированных устройств. Рулонные и пленочные материалы покрывают с применением суспензий на непрерывно действующих машинах. Кроме непрерывного нанесения суспензий машины обеспечивают сушку и спекание полимерного материала.

Нанесение покрытий с помощью порошков осуществляется несколькими методами, наиболее распространенными из которых являются вихревой, вибрационный, вибро-вихревой, электростатический, газопламенный и струйный.

Покрываемые поверхности детали подвергаются предварительной обработке, которая заключается в очистке от загрязнений, обезжиривании и тщательной сушке. Обезжиривание поверхности производится прокаливанием детали с последующим удалением окалины (травлением, шлифованием, пескоструйной обработкой).

Желательно, чтобы покрываемая поверхность была шероховатой (с этой целью детали также подвергаются пескоструйной обработке). После пескоструйной обработки с поверхности детали необходимо удалить пыль. Покрываемые поверхности детали не должны иметь трещин, острых углов и заусенцев, чтобы не создавались условия для концентрации напряжений при усадке.

Покрытия из таких материалов, как полиамид или поливинилхлорид, для улучшения прочности соединения требуют предварительной грунтовки покрываемой поверхности. Нагрев деталей осуществляется в специальных печах. В этих же печах в случае необходимости производится последующая термофиксация полимерного покрытия или оплавление слоя порошка.

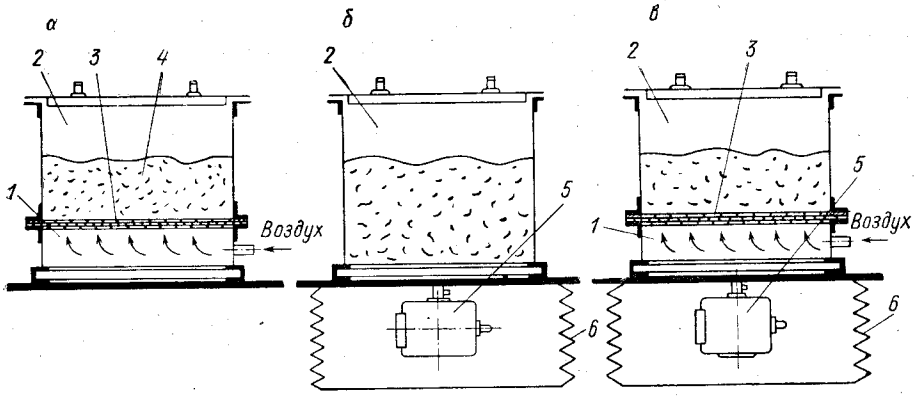


Рис. X.11. Схемы пневматического (*а*), вибрационного (*б*) и пневмовибрационного (*в*) аппаратов для вихревого напыления пластмасс:
1 — поддон; *2* — резервуар; *3* — днище; *4* — материал; *5* — вибратор; *6* — пружины.

Вихревой способ нанесения порошковых покрытий заключается в том, что деталь, нагретая до температуры, превышающей температуру плавления полимера, погружается в порошок, находящийся во взвешенном («кипящем») состоянии. Такое состояние достигается пропусканием воздуха через слой порошка или путем вибрации материала.

Схемы аппаратов (устройств) для вихревого нанесения пластмасс даны на рис. X.11.

Аппарат, предназначенный для покрытия поверхности деталей путем погружения в «кипящий» порошок, схематично изображен на рис. X.11, *а*. Воздух под давлением 0,2—0,4 $Мн/м^2$ подается в поддон *1* резервуара *2*, в который загружается порошок. Воздух, проходя через пористое днище *3* (в качестве материала для днища применяют войлок толщиной 30—45 *мм*, пористую керамику или специальный пористый поливинилхлорид), приводит полимерный порошкообразный материал *4* во взвихренное состояние. Предварительно нагретая деталь помещается в «кипящий» слой материала

и в зависимости от времени пребывания в этом слое покрывается пленкой различной толщины. Обычно время погружения детали равно 5—10 *сек*. При этом толщина покрытия составляет 0,2—0,8 *мм*.

Устройство для виброожижения порошкообразного материала (рис. X.11, *б*) состоит из вибратора *5* и резервуара *2*, который заполняется порошком для покрытия. Укреплено устройство на пружинах *6*.

На рис. X.11, *в* приведена схема устройства, в котором ожижение порошка достигается совместным действием вибрации и проходящего воздуха. Схема применяется для плохо взвихряющихся порошков, способных к слипанию. Устройство состоит из резервуа-

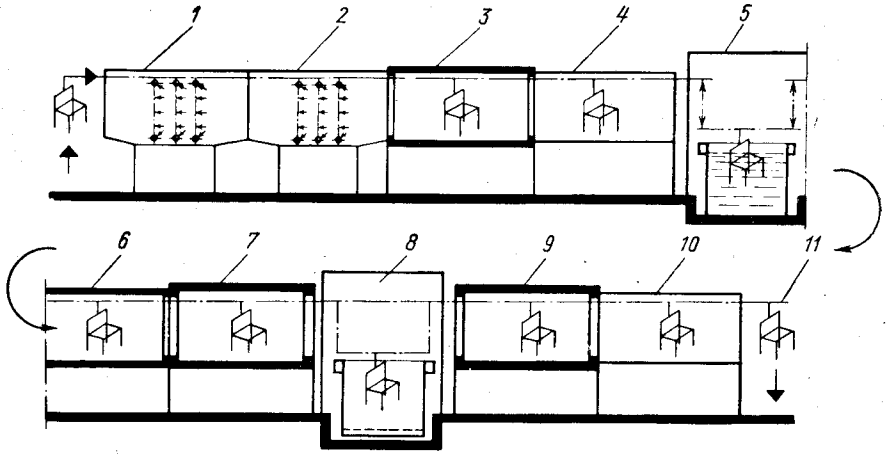


Рис. X.12. Полуавтоматическая линия для нанесения покрытий вихревым методом:

1, *2* — камеры для промывки деталей; *3*, *6* — сушильные камеры; *4*, *10* — охлаждающие камеры; *5* — ванна для нанесения грунтовки; *7* — печь; *8* — камера для нанесения покрытий; *9* — камера для термофиксации; *11* — устройство для съема готовых изделий с конвейера.

ра *2* с порошком, поддона *1* и ложного днища *3*, через которое в резервуар поступает воздух, вибратора *5* и аммортизационно-крепежных пружин *6*.

Наиболее высокие технико-экономические показатели достигаются при использовании полуавтоматических линий, обеспечивающих комплексную механизацию необходимых технологических операций. Схема такой линии для покрытия деталей вихревым способом дана на рис. X.12. Обрабатываемая деталь сначала проходит камеры для промывки *1* и *2*, а затем движется последовательно через камеры *3* и *4* для сушки и охлаждения, через ванну *5* для нанесения грунтовки и снова сушится в камере *6*. В печи *7* деталь нагревается до температуры, превышающей температуру плавления материала, после чего поступает в камеру *8*, где находится порошкообразный материал во взвешенном состоянии. После покрытия деталь попадает в камеру *9* для термофиксации. Материал равномерно

оплавляется и растекается по поверхности детали. Далее изделие охлаждается в камере *10* и снимается с конвейера.

Отличие нанесения покрытий в ионизированном взвешенном состоянии от рассмотренного выше метода состоит в том, что в «кипящий» слой порошка деталь погружается без предварительного нагревания. Частицы порошка заряжаются отрицательным зарядом. Эти частицы оседают на поверхность детали, которая служит анодом. Далее деталь переносится в печь, где производится нагревание и сплавление порошкообразного материала и таким образом создается прочный поверхностный слой. Для практического осуществления этого метода разработаны специальные машины, в том

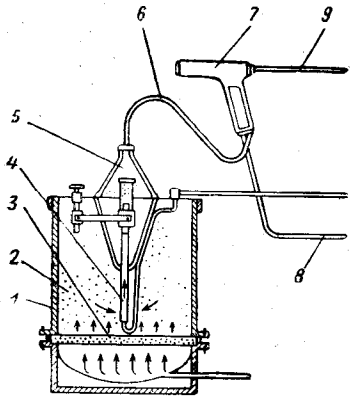


Рис. X.13. Аппарат для газопламенного напыления пластмасс:

1 — камера; *2* — порошок; *3* — пористое днище; *4*, *6*, *8*, *9* — шланги; *5* — жиклер; *7* — распылительный пистолет.

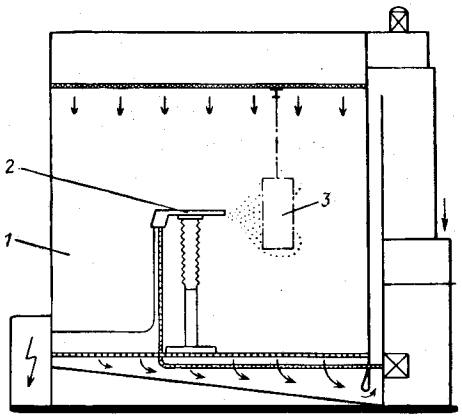


Рис. X.14. Схема аппарата для покрытия деталей струйным методом:

1 — камера; *2* — аппарат для напыления; *3* — покрываемая деталь.

числе использующие ротационный способ для покрытия труб и пневмоэлектрический способ для покрытия различных деталей.

К числу наиболее распространенных бескамерных методов нанесения покрытий относится струйное. Струйное напыление пластмасс производится газопламенным и холодноструйным способами. В случае газопламенного напыления порошок проходит через пламя горелки, при этом частицы порошка оплавляются. Достигая покрываемой поверхности, материал растекается по ней, образуя пленку. Одним из основных технологических требований при газопламенном напылении является соблюдение постоянного расстояния между покрываемой поверхностью и горелкой. Обычно оно составляет 60—100 *мм*.

Аппарат для газопламенного напыления пластмасс представлен на рис. X.13. Камера *1* заполняется порошком *2*. Через пористое днище *3* поступает воздух, переводящий порошок во взвешенное состояние. По шлангу *4* подается сжатый воздух. Воздух проходит жиклер *5*, через который захватывается порошок из емкости, и по

шлангу *6* поступает в распылительный пистолет *7*. В пистолет по шлангу *8* подается воздух для горения, а по шлангу *9* — горючий газ. При холодноструйном напылении полимер в горелке не нагревается, а в виде порошка напыляется на предварительно нагретую поверхность изделия.

Повышение производительности в случае струйного напыления пластмасс достигается с помощью специально оборудованного стенда, который включает вентиляционное устройство для сбора материала, минующего поверхность детали, и последующего возвращения этого материала в аппарат. Схема стенда для нанесения покрытия струйным методом приведена на рис. X.14. Материал из аппарата через шланг и распылительный пистолет наносится под давлением на изделие. Задняя стенка аппарата выполнена пористой и соединена с вентиляционной системой. Детали, подвергающиеся покрытию, закрепляются на подвесном конвейере и механически перемещаются к зоне покрытия.

Сущность электростатического нанесения покрытия заключается в том, что частицы полимера заряжаются в распылительном пистолете, переносятся к изделию и разряжаются на нем. При подаче на головку распылителя постоянного тока (высокого напряжения) порошок приобретает заряд. Частицы порошка достигают детали, имеющей противоположный заряд, и оседают на ней.

ЛИТЕРАТУРА

Д. А. Нейман, Ф. Д. Бокхов, Сварка пластмасс, Изд. «Машиностроение», 1967.

Е. Б. Тростянская и др., Сварка пластмасс, Изд. «Машиностроение», 1967.

А. Д. Яковлев, В. Ф. Здор, В. П. Каплан, Порошковые полимерные материалы и покрытия на их основе, Изд. «Химия», 1971.

ГЛАВА XI

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ОТДЕЛКИ ИЗДЕЛИЙ

§ 1. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ И ОТДЕЛКИ ИЗДЕЛИЙ, КЛАССИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Под обработкой изделий из пластмасс понимается комплекс технологических операций, в результате выполнения которых изделия, предварительно изготовленные формованием (прессованием, литьем под давлением, вакуумформованием и другими методами), приобретают окончательную форму и внешний вид, предусмотренные чертежом или техническими условиями.

Различают собственно обработку, зачистку и отделку изделий.

О б р а б о т к а связана со снятием стружки тем или иным способом на станках с целью получения требуемой конфигурации изделия (невыполнимой по каким-либо причинам при формовании, например, из-за чрезмерной сложности формуемого инструмента) и для обеспечения определенной точности обрабатываемых элементов изделия, которая во многих случаях оказывается более высокой (2, 2а, 3 классы точности), чем достигаемая при формовании. Обработка изделий должна быть минимальной.

При з а ч и с т к е с поверхности изделий удаляются неизбежно образующиеся при их изготовлении излишки материала — грат, облой. Зачистка является обязательной технологической операцией. Она сочетается с собственно обработкой, когда образуется предусмотренная по чертежу фаска или когда ставится задача повышения точности обрабатываемых размеров.

Форма и характер расположения удаляемых при зачистке излишков материала зависят от метода формования изделий. При прессовании грат образуется по контуру деталей в местах разъема подвижных частей прессформы (в том числе в виде пленок в отверстиях). При выдувании кроме грата по контуру образуется «прибыль» — со стороны подвода материала в полость формы. При пресслитье и литье под давлением на поверхности изделий сохраняются литники. Значительную трудность при зачистке представляет удаление наплывов на металлической арматуре (при любых способах формования).

Рациональная конструкция изделий должна предусматривать наиболее простое расположение грата и литников, удобное для удаления без ухудшения внешнего вида изделий при минимальной трудоемкости операций зачистки.

Отделка изделий предусматривает: восстановление первоначального состояния поверхности участков изделий, подвергавшихся механической обработке и зачистке; повышение чистоты всей поверхности изделия, если к последнему предъявляются повышенные требования в отношении внешнего вида; создание специфического качества поверхности (например, повышение декоративности металлизацией и т. д.).

Особенности процессов обработки пластмассовых изделий обусловлены свойствами пластмасс. Из них только одно — незначительное сопротивление сжатию и срезу — положительно влияет на механическую обработку, вызывая небольшие, по сравнению с металлами, усилия резания.

Низкие величины теплопроводности и температуры размягчения, высокая абразивность наполнителей (действующих на рабочие поверхности инструмента как абразивный материал и ускоряющих износ), влияние смолы (обволакивающей вследствие размягчения режущую кромку инструмента, усложняющей процесс трения и также ускоряющей износ), — все это неблагоприятно отражается на энергетических затратах и технико-экономических показателях процесса. Действительно, то обстоятельство, что в режущем инструменте аккумулируется большое количество тепла, выделяющегося при обработке (чем выше скорость обработки, тем больше тепла), не только способствует быстрому износу и, следовательно, частой замене инструментов, но и быстрому размягчению пластмассы, что является причиной образования задиров и даже прижогов на обрабатываемых поверхностях изделий; так вызывается и термомеханическая деструкция пластмассы. В связи с низкой теплопроводностью обрабатываемых материалов пластическая деформация при резании пластмасс наблюдается только в очень тонких слоях подрезцовой стороны стружки (процесс образования которой отличен от такового при обработке металлов) и в наружных слоях обрабатываемой поверхности. С увеличением износа инструмента возрастает количество пыли в стружке. При механической обработке пластмассовых изделий необходимо, как правило, применять специальные инструментальные быстрорежущие стали Р9 и Р18, твердые сплавы ВК-6, ВК-8, технические алмазы.

Установлено, что при повышенных требованиях к стойкости инструмента, чистоте обрабатываемой поверхности и точности размеров изделий из пластмасс целесообразно применять инструмент, режущей частью которого является алмазная крошка.

Использование такого инструмента для зачистки пластмассовых изделий позволяет исключить вероятность их поломки, так как при обработке возникает значительно меньшее давление резания по сравнению с обработкой стальным и твердосплавным инструментом. Высокая стойкость этого инструмента обеспечивает зачистку большого количества пластмассовых изделий (так, например, в некоторых случаях заточка алмазного инструмента производилась лишь после зачистки 200 тыс. шт. изделий).

К недостаткам алмазного инструмента при зачистке пластмассовых изделий относятся сравнительно высокая первоначальная стоимость инструмента и возможность его повреждения из-за небрежной работы.

Угол заострения режущей части алмаза рекомендуется принимать равным 98 или 85°. При осторожной работе с инструментом этот угол может быть доведен до 60°. При зачистке пластмассовых изделий подача должна быть не более 0,05 *мм/об*, глубина резания — до 1 *мм* при скорости резания до 1300 *м/мин*.

Принципиально для обработки изделий применимы любые металлорежущие станки, на которых могут быть осуществлены практически все необходимые технологические операции — точение, развертывание, фрезерование, строгание, резьбонарезание, шлифование и т. д. При этом отмеченные выше особенности пластмасс вызывают необходимость назначения определенных режимов обработки и геометрии режущего инструмента. Режимы обработки для зачистки изделий и для образования новых форм, т. е. собственно обработки изделий, практически не отличаются. Различие заключается в геометрии и конструкции обрабатывающего инструмента. Например, если сверление отверстий в монолитном изделии осуществляется обычно спиральными сверлами, то зачистка пленок в отверстии — перовыми или трехгранными сверлами. Перовые сверла особенно целесообразны при зачистке (или сверлении) отверстий диаметром > 10 *мм*. Трехгранные сверла не дают сколов при выходе и входе в отверстие. Перовые и трехгранные сверла обычно изготавливаются из стали У10А, У12А с последующей закалкой до HRC $= 58 \div 63$. Применяются также сверла указанных типов из быстрорежущей стали и твердых сплавов. Основная геометрическая характеристика — главный угол в плане — составляет для этих сверл 30—60°. Канавки сверл обычно полируют, а при работе инструмент охлаждается сжатым воздухом и периодически выводится из отверстия.

При удалении литников, особенно больших, хорошие результаты достигаются путем применения дисковых фрез или специальных «откусывающих» приспособлений, которые нагреваются и частично оплавляют отрезаемый литник.

Удаление наплывов пластмассы на металлической арматуре следует производить цапфенборами, а для зачистки грата в отверстиях с одновременным образованием фаски целесообразно использовать зенкеры. Эти инструменты изготавливают из сталей У12А, РФ1, Р9 (твердость HRC $= 58 \div 63$). Зенкеры имеют угол при вершине 90°, передний угол 0°, задний угол 5—10°, фаску на режущей кромке 0,8 *мм*, число зубцов от 6 до 18.

Зачистку грата с одновременным образованием фаски в отверстиях диаметром от 15 до 30 *мм* можно производить специальным зенкером, изготовление которого не представляет сложности и заключается в следующем. Осколки твердосплавных пластин измельчают до размеров $2 \times 2 \times 2$ *мм* и меньше. Крошка с помощью расплавленной меди напаивается на коническую поверхность оправки. Затем слой меди вытравляют до обнажения твердосплавных частиц.

Для зачистки изделий из пластмасс шлифовальными кругами рекомендуются следующие скорости резания: при черновой обработке 25—30 *м/сек*, при чистовой 35 *м/сек*.

Шлифовальные шкурки, применяемые для зачистки изделий из пластмасс, производят зачистку при следующих скоростях шлифования: для черновой зачистки 20—25 *м/сек*, для чистовой 25—30 *м/сек*, для особо чистой 30—40 *м/сек*.

Большие трудности при механической обработке возникают из-за существенных погрешностей в геометрической форме изделий. В этом случае рекомендуется применять специальные приспособления для

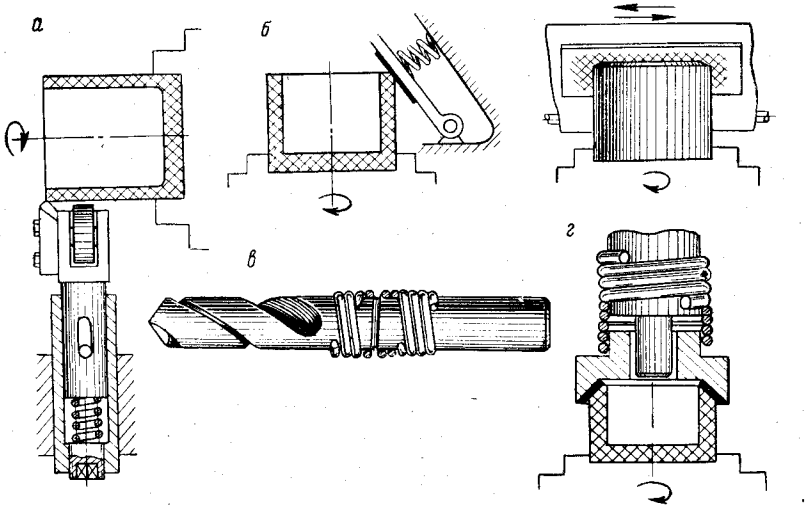


Рис. XI.1. Инструмент для обработки и зачистки отпрессованных изделий из реактопластов, позволяющий компенсировать погрешности геометрической формы:

а — резцедержатель с копирующим роликом; *б* — напильник на подпружиненной оправке; *в* — «гибкое» сверло; *г* — «плавающая» фреза.

компенсации неточностей геометрической формы изделий при их установке в устройстве для механической обработки. На рис. XI.1, *а—г* показаны соответственно подпружиненный резцедержатель с копирующим роликом; установленный на подпружиненной оправке напильник; «гибкое» сверло и самоустанавливающаяся по обрабатываемому изделию «плавающая» фреза.

Рассмотренные технологические особенности процессов обработки изделий из пластмасс показывают, что один из основных признаков классификации оборудования — по назначению — полностью соответствует существующему делению металлообрабатывающих станков, в названии которых отражается специфика определенной технологической операции (станки токарные, сверлильные, фрезерные, шлифовальные, полировальные, разрезные и многие другие). Особое место среди таких станков занимает оборудование для обработки полимер-

ных блоков или плит с целью получения пленок и листов. Для этого используются специальные станки типа продольно-строгальных или токарно-лущильных.

Разрезка и обрезка кромок листов термопластов может производиться с помощью гильотинных ножниц, дисковыми или ленточными пилами. Разрезка блоков пеноматериалов успешно осуществляется методом термического разделения, когда в качестве резака используется натянутая и нагретая до 200° С проволока. Разрезка и обработка кромок слоистых пластмасс может производиться на специальных установках, подающих струю воды (или другой жидкости) под высоким давлением *.

Стремление максимально сократить применение ручного труда при обработке (и особенно при зачистке) изделий из пластмасс привело к тому, что на производстве широко используются различные механизированные приспособления, внешне имитирующие устройства соответствующих станков. Такие приспособления получили наименование зачистных.

Таким образом, в целом оборудование для обработки может быть подразделено еще по ряду признаков:

1) по степени универсальности — универсальное, предназначенное для обработки изделий различной конфигурации и с различным расположением грата и литников на поверхностях; специализированное, предназначенное для обработки изделий с одинаковым расположением грата и литников на поверхностях или только для обработки однотипных (или даже одного типоразмера) изделий;

2) по степени автоматизации — механизированное, с ручной подачей инструмента к вращающемуся изделию или, наоборот, изделия — к движущемуся инструменту; полуавтоматическое; автоматическое;

3) по количеству позиций и операций — одно- и многопозиционное, одно- и многооперационное.

В зависимости от конструкции конкретная установка (станок, приспособление) может сочетать в себе различные классификационные признаки, например, быть универсальной, механизированной, многопозиционной и т. д.

§ 2. УНИВЕРСАЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗАЧИСТКИ

Галтовочный барабан предназначен для зачистки в массовом и крупносерийном производствах изделий (в основном из пресспорошков), имеющих горизонтально и вертикально расположенный грат, толщина которого не превышает 0,1—0,2 *мм*. Барабан приводится во вращение электродвигателем через редуктор.

Наиболее распространены круглая и граненая форма барабанов. Наилучшее перетирание деталей происходит в восьмигранных барабанах диаметром 750 *мм* и шириной 400 *мм*.

* Описание таких станков и установок выходит за пределы учебной программы данного курса.

Корпус галтовочного барабана изготовляется обычно из листовой стали, а его внутренняя поверхность облицовывается листовой резиной (толщина 6—8 *мм*), в значительной степени способствующей уменьшению шума. Для удаления снятого грата в крышке барабана делаются отверстия или оставляются щели.

В качестве «рабочего инструмента» используются наполнители (бракованная металлическая арматура, деревянные кубики и бруски), ускоряющие процесс галтования. Размеры и форма наполнителей

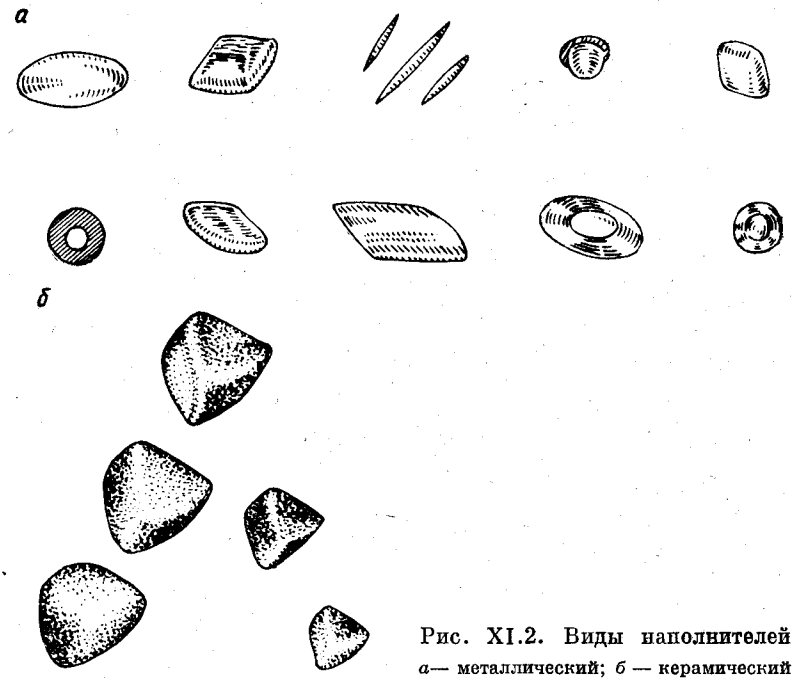


Рис. XI.2. Виды наполнителей:
а— металлический; *б* — керамический.

определяются размерами и формой обрабатываемого изделия. Так, если имеются труднодоступные для обработки места, используется мелкий наполнитель, способный проникнуть в любую часть изделия. Во всех случаях габаритные размеры наполнителя должны быть меньше, чем обрабатываемое изделие. На качество галтовки влияет выбор типа и формы наполнителей. Фирма «Almco» (США), например, применяет два основных типа галтовочных материалов: металлический (рис. XI.2, *а*) и керамический (рис. XI.2, *б*). Причем наилучшие результаты достигнуты при галтовании с помощью наполнителей из отожженных металлов.

Широкое применение в отечественной промышленности и за рубежом находят галтовочные барабаны (рис. XI.3), грани которых затянуты металлической сеткой с размером ячеек от 3 × 3 до 25 × 25 *мм* (в зависимости от размеров обрабатываемых изделий). Лучшая за-

чистка пластмассовых изделий достигается в барабанах с наименьшим размером ячеек.

Обычно корпус галтовочного барабана имеет смещенную ось вращения (аналогично смесителям типа «пьяной бочки»). Для обработки небольших партий малогабаритных изделий применяют групповую установку по 4—8 барабанов на одном стенде с несколькими роликоопорами (рис. XI.4). На верхних роликах *5*, *6* установлены барабаны *7*, а на нижних роликах *3*, *4* — более крупные барабаны *2*. Ролики *4* и *5* — приводные (крутящий момент передается на ролики электродвигателем через редуктор *1*).

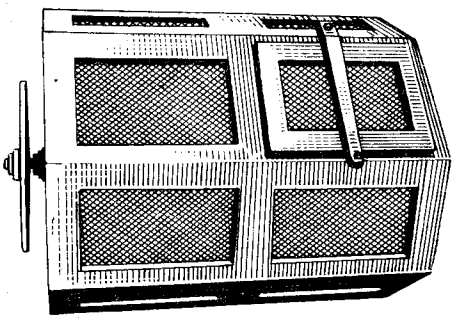


Рис. XI.3. Общий вид сетчатого галтовочного барабана.

Скорость вращения галтовочных барабанов выбирается в зависимости от типа пластмассовых изделий и требуемой чистоты обработки. Для изделий неэлектроизоляционного назначения следует применять «мокрое» галтование. Барабан, в котором производится такое галтование, должен быть герметичен. Две трети его объема загружают

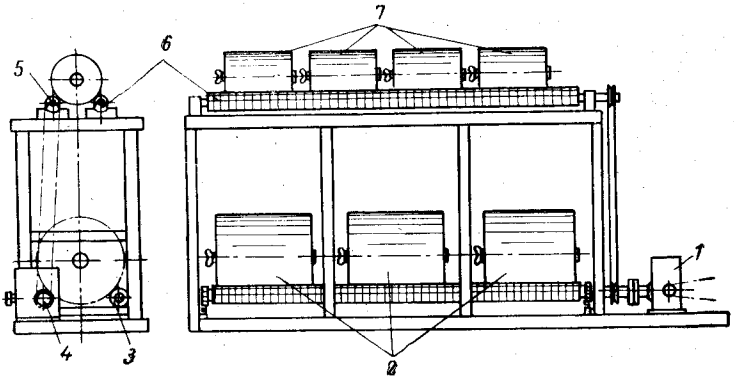


Рис. XI.4. Групповая галтовочная установка для одновременной обработки разнотипных изделий:

1 — редуктор; *2*, *7* — барабаны; *3*, *4* — нижние ролики; *5*, *6* — верхние ролики.

пластмассовыми изделиями и наполнителями и заполняют водой, сдерживающей удары при обработке. Этот способ зачистки является наилучшим.

При «мокром» галтовании скорость вращения барабана может быть значительно увеличена, в результате чего сокращается время

зачистки. Таким способом производят зачистку изделий как из термореактивных, так и из термопластичных пластмасс. В процессе галтования пыль, образующаяся на изделиях в результате их трения друг о друга, смывается водой, поэтому изделия после зачистки необходимо сушить. Высокая производительность и лучшее качество обработки достигаются при заполнении до 40% объема барабана (для монолитных прочных изделий); при зачистке хрупких изделий барабан следует заполнять на 60—80% его объема — это уменьшает возможность поломки изделий.

Число оборотов галтовочного барабана зависит от величины и прочности обрабатываемых изделий: для крупных (свыше 50 × × 50 *мм*) или непрочных изделий типа каркаса катушки оно составляет 18—30 *об/мин*; для изделий, выдерживающих сильные удары, — до 80 *об/мин*. Продолжительность операции галтования зависит от формы изделий и толщины грата:

Толщина грата	$<$0,05 *мм*	0,05—0,1 *мм*	0,2 *мм*
Продолжительность галтования	2—5 *мин*	1—3 *ч*	$\leqslant$8 *ч*

Пластмассовые изделия, загружаемые в барабан, — обычно однотипные, одинаковые по размерам и характеру расположения грата; реже загружаются разнотипные изделия, но с аналогичным гратом. Поэтому представляют интерес установки, предназначенные в основном для зачистки разнотипных изделий.

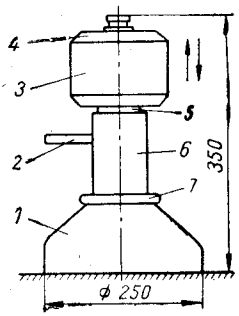


Рис. XI.5. Установка для виброгалтования:

1 — основание; *2* — воздухопровод; *3* — камера; *4* — крышка; *5* — прокладка; *6* — букса; *7* — кольцо.

Установка для виброгалтования (рис. XI.5) предназначена для зачистки изделий с горизонтальным и вертикальным облоем, толщина которого не превышает 0,1 *мм*. На основании *1* подвижно закреплен корпус камеры *3* с крышкой *4*. По воздухопроводу *2* подается сжатый воздух, сообщающий возвратно-поступательное движение камере. При помощи кольца *7* букса *6* перемещается вдоль оси, регулируя амплитуду колебаний. Для уменьшения шума, возникающего при возврате камеры в нижнее крайнее положение, на буксе установлена амортизирующая прокладка *5*. Привод осуществляется с помощью сжатого воздуха при давлении в магистрали до 0,4 $Мн/м^2$.

Две трети объема камеры загружаются подлежащими зачистке изделиями. Камера закрывается крышкой, которая закрепляется гайкой. В целях интенсификации процесса зачистки рекомендуется применять наполнители.

Универсальная установка для одновременной зачистки разнотипных изделий, к которым не предъявляется строгих требований в отношении внешнего вида, имеет бесконечную перфорированную ленту *3* (рис. XI.6, *а*), натянутую на ведущие рабочие и промежуточные диски *4—6* и приводимую в движение электродвигателем *1*. Обрабаты-

ваемые изделия *7* вместе с абразивным материалом (речным или кварцевым песком) засыпают на ленту. При движении ленты изделия перемещаются с абразивным материалом, а грат постепенно отделяется и вместе с абразивом просыпается через отверстия в ленте на поддон, откуда пневмотранспортером подается в сепаратор *2*. Абразивный материал отделяется от заусенцев и возвращается для дальнейшей обработки изделий. На установке можно не только удалять грат, но и пробивать пленку в отверстиях изделий.

Универсальная установка с дробеструйным устройством схематично показана на рис. XI.6, *б*. Обрабатываемые изделия *7* загружают

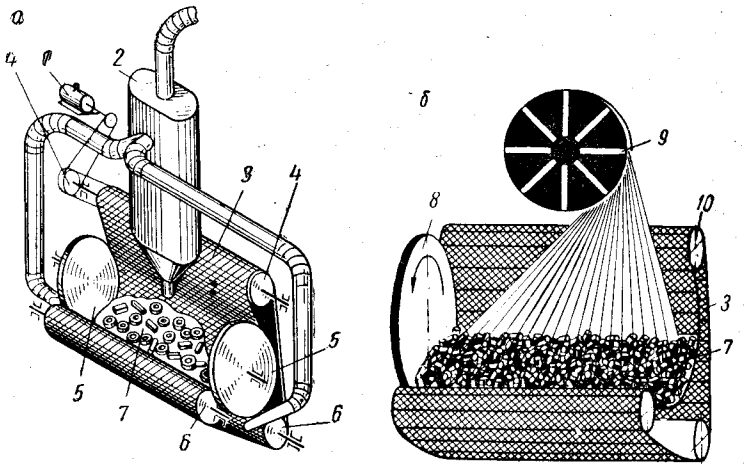


Рис. XI.6. Универсальные установки для обработки однотипных или разнотипных изделий:

а — без дробеструйного устройства; *б* — с дробеструйным устройством; *1* — электродвигатель; *2* — сепаратор; *3* — перфорированная лента; *4—6* — диски; *7* — изделия; *8* — направляющие ролики; *9* — вентилятор; *10* — приводной барабан. Штриховкой условно обозначена перфорированная лента.

на вращающуюся перфорированную ленту *3*. С боковых сторон изделия закрыты направляющими роликами *8*. Лента вращается под действием приводного барабана *10*. При вращении ленты изделия перемешиваются, подвергаясь механической обработке струей абразивного материала, направляемой центробежным вентилятором *9*. Заусенцы и абразивный материал (например, измельченные абрикосовые косточки) просыпаются через отверстия в ленте и отсасываются вентилятором с потоком воздуха. После отделения пыли и заусенцев абразивный материал используется повторно для зачистки. Перемешивание изделий также способствует обламыванию грата.

§ 3. МЕХАНИЗИРОВАННЫЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ И СТАНКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И ЗАЧИСТКИ

Для зачистки горизонтального и вертикального грата, литников, удаления грата из центральных отверстий, а также для сверления и развертывания осевых отверстий изделий типа тел

вращения из термореактивных и термопластичных пластмасс применяются модернизированные настольные токарные станки.

В передней бабке станка расположен полый шпиндель, приводимый в движение электродвигателем. Внутри полого шпинделя расположен зажимной валик, на конце которого имеется резьба для

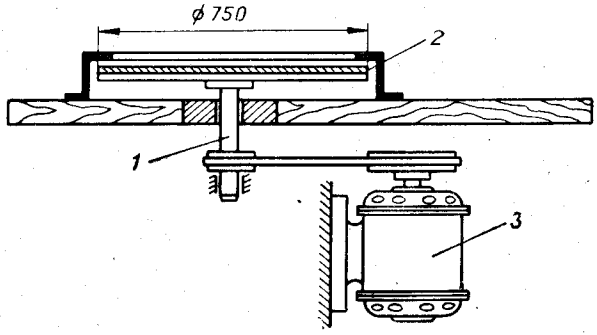


Рис. XI.7. Горизонтально-зачистное приспособление:

1 — шпиндель; *2* — шлифовальный круг; *3* — электродвигатель.

крепления цанги. Конструкция шпинделя позволяет применять разнообразные зажимные и разжимные цанги и оправки с механическим и пневматическим зажимом. Режущий инструмент укрепляется либо в поперечном суппорте (резцы), либо в задней бабке станка (сверла, развертки, зенкера). Станина настольного токарного станка крепится на верстаке. Мощность электродвигателя 0,25 *квт*, число оборотов шпинделя до 2500 *об/мин*.

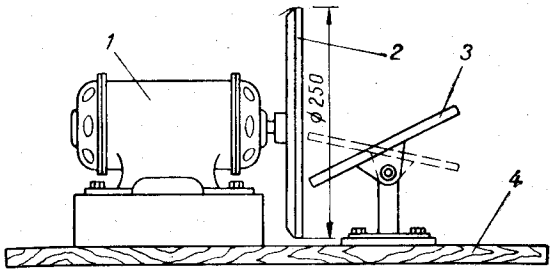


Рис. XI.8. Вертикально-зачистное приспособление:

1 — электродвигатель; *2* — диск; *3* — стол; *4* — верстак.

Для зачистки вертикального грата и литников на наружной поверхности, а также для притирки плоскостей крупных изделий любой конфигурации из термореактивных пластмасс используют горизонтально-зачистное приспособление (рис. XI.7). Шпиндель *1* с металлическим диском, на котором крепится шлифовальный круг (или шлифовальная шкурка) *2*, приводится во вращение электродвигате-

лем *3*. Подлежащее обработке изделие прижимается к вращающемуся кругу вручную. В качестве инструмента применяются плоские круги (ГОСТ 2424—66) или шлифовальная шкурка (ГОСТ 5009—62).

Вертикально-зачистное приспособление (рис. XI.8) предназначено для зачистки горизонтального и вертикального грата, удаления литников и притирки плоскости мелких изделий из термореактивных пластмасс. Электродвигатель *1* вращает металлический диск *2*, на который наклеивается используемая в качестве рабочего инструмента шлифовальная шкурка на тканевой основе (ГОСТ 5009—62). Помещенное на поворотный стол *3* подлежащее зачистке изделие приводится в соприкосновение со шкуркой и выводится от центра диска к его периферии. Электродвигатель и поворотный стол устанавливаются на верстаке *4*.

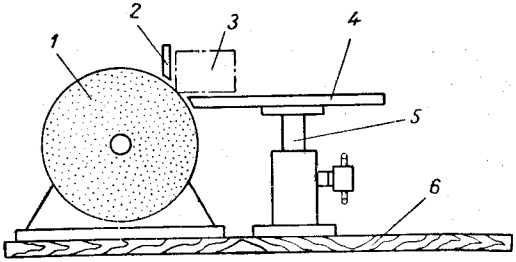


Рис. XI.9. Шлифовальное зачистное приспособление:

1 — шлифовальный круг; *2* — упор; *3* — зачищаемое изделие; *4* — планка; *5* — стол; *6* — верстак.

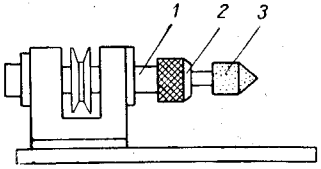


Рис. XI.10. Зачистное приспособление для изделий любого профиля:

1 — шпиндель; *2* — цанга; *3* — шлифовальные круги.

Для снятия фасок с плоских изделий, удаления горизонтального грата и литников, расположенных на наружной поверхности, используется шлифовальное зачистное приспособление (рис. XI.9). Шлифовальный круг *1* приводится в движение с помощью электродвигателя через ременную передачу. Зачищаемое изделие *3* помещается на планку *4* стола *5* и прижимается к упору *2*. К шлифовальному кругу изделие подводится вручную. Электродвигатель и стол крепятся на верстаке *6*. Удаление грата производится по периметру изделия. Величина образуемой при этом фаски регулируется перемещением стола в направлении, перпендикулярном оси вала.

Удаление горизонтального и вертикального грата, литников и вскрытие отверстий в изделиях любого профиля производится на простейшем зачистном приспособлении (рис. XI.10). Шпиндель *1* вращается электродвигателем через ременную передачу. Цилиндрический или конический шлифовальный камень *3* закреплен в цанге *2*. Изделие подводится к камню и перемещается вручную, касаясь его всеми точками обрабатываемой поверхности.

Широкое применение на заводах находят настольные сверлильные станки типа НС-12А, предназначенные для зачистки горизонтального и вертикального грата и удаления литников по наружному

и внутреннему контуру пластмассовых изделий, а также для сверления в них сквозных и глухих отверстий. Шпиндель станка приводится во вращение с помощью электродвигателя. Режущий инструмент (сверла перовые, трехгранные и спиральные, зенкера, шлифовальные головки и круги, дисковые фрезы) крепится в патроне. В зависимости от конфигурации обрабатываемых изделий на станке используются различные приспособления: кондукторы, копировальные оправки и т. д. Число оборотов шпинделя 480—4100 *об/мин*, мощность электродвигателя 0,65 *квт*.

Принцип действия сверлильного станка используется во многих специальных станках и устройствах.

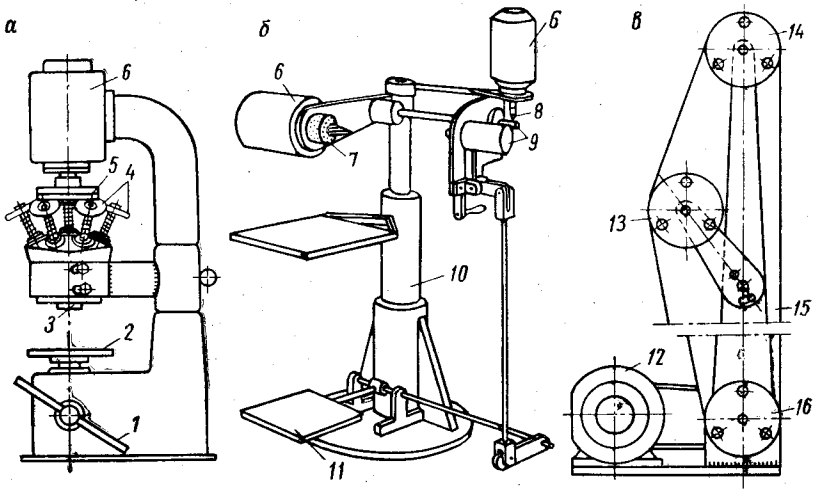


Рис. XI.11. Станки для механизированной обработки и зачистки изделий:

а — многошпиндельный сверлильный станок; *б* — сверлильно-фрезерный станок; *в* — вертикальный ленточно-шкуровочный станок;
1 — рукоятка; *2* — площадка; *3* — кондуктор; *4* — ведомые диски; *5* — резиновый диск; *6*, *12* — электродвигатели; *7*, *8* — инструмент; *9* — оправка; *10* — стойка; *11* — педаль; *13*, *14*, *16* — барабаны; *15* — наждачная лента.

Настольный станок для одновременной зачистки или сверления семи отверстий на сферических поверхностях изделий показан на рис. XI.11, *а*. Изделие устанавливают на площадку *2* и при помощи рукоятки *1* поднимают его до соприкосновения сферической части с гнездом кондуктора *3*. На сверла, расположенные перпендикулярно к касательным плоскостям в точках сверления, вращение передается от электродвигателя *6* через горизонтальный резиновый диск *5*, который имеет фрикционное сцепление с наклонными ведомыми дисками *4*.

Для изделий сложной формы в мелкосерийном производстве применяют комбинированные установки, оснащенные различными инструментами. Установка, представленная на рис. XI. 11, *б*, позволяет на одном рабочем месте выполнять ряд операций обработки

и заменяет несколько настольных станков — сверлильный, токарный, зачистной. Электродвигатели *6* мощностью 0,25—0,5 *квт* вращают инструменты *7* и *8* со скоростью до 2800 *об/мин* (в зависимости от диаметра рабочей части инструмента). Кронштейны электродвигателей установлены на вертикальной стойке *10*. К комбинированному инструменту *7* изделие подводится вручную. Изделие, обрабатываемое фрезой или сверлом *8*, вначале вручную устанавливают на одной из оправок *9*, а затем с помощью ножной педали *11* через систему рычагов его подводят к инструменту. При необходимости вращение на оправки *9* может передаваться одним из электродвигателей через клиноременную передачу. В этом случае можно обрабатывать на изделиях круговой грат (так же, как на токарных станках).

Изделия сложной конфигурации с криволинейным периметром зачистки удобно обрабатывать на ленточно-шкуровочных станках (рис. XI.11, *в*). Станок состоит из электродвигателя *12*, ведущего барабана *16* и ведомых барабанов *13*, *14*, установленных на вертикальных стойках. На барабаны натянута «бесконечная» наждачная лента *15*, натяжение которой осуществляется поворотом рычага барабана *13*. Концы наждачной ленты шириной 150—200 *мм* склеиваются. Линейная скорость ленты ~6 *м/сек*. Обрабатываемые изделия перемещаются относительно наждачной ленты вручную.

§ 4. СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИЕ СТАНКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И ЗАЧИСТКИ

В промышленности применяются разнотипные специализированные и универсальные станки. На станках предусмотрена периодическая или непрерывная подача обрабатываемых изделий. Наиболее эффективными являются высокопроизводительные полуавтоматические станки с непрерывной загрузкой изделий. Время холостых ходов у этих станков практически равно нулю.

Рассмотрим типовой пример такого станка для комплексной обработки корпуса предохранителя (рис. XI.12). Станок обеспечивает предварительную и окончательную обработку торцового грата изделия, прорезку двух пазов, пробивку пленки и фрезерование центрального отверстия, а также протирку изделий от пыли.

Все обрабатывающие устройства станка связаны между собой транспортирующим червяком, который обеспечивает непрерывное движение изделий в стадиях обработки торцового грата и прорезки пазов, прекращение перемещения изделий на определенное время и их фиксацию в стадии фрезерования и протирки, а также последующее периодическое движение изделий. Для прекращения непрерывного движения изделий перед фрезерованием и протиркой соответствующие витки червяка обрезаны, а для фиксации изделий в стадии фрезерования последний виток червяка обрезан по плоскости, перпендикулярной к продольной оси червяка, и используется самоустанавливающаяся фреза конической формы. В тех же целях шаг

червяка превышает длину изделия на определенную расчетную величину. Дальнейшее периодическое движение изделия осуществляется за счет подпора других изделий, транспортируемых червяком.

Изделия *12* загружаются в паз *14*, из которого они захватываются и транспортируются витками червяка *11*. По мере непрерывного перемещения изделий на них производится черновая, предварительная и окончательная обработка торцового грата шлифовальными камнями *8—10*, а также прорезка пазов профильным камнем *6*.

Последняя нитка червяка имеет увеличенный шаг и обрезана под прямым углом к продольной оси червяка. Вследствие этого по

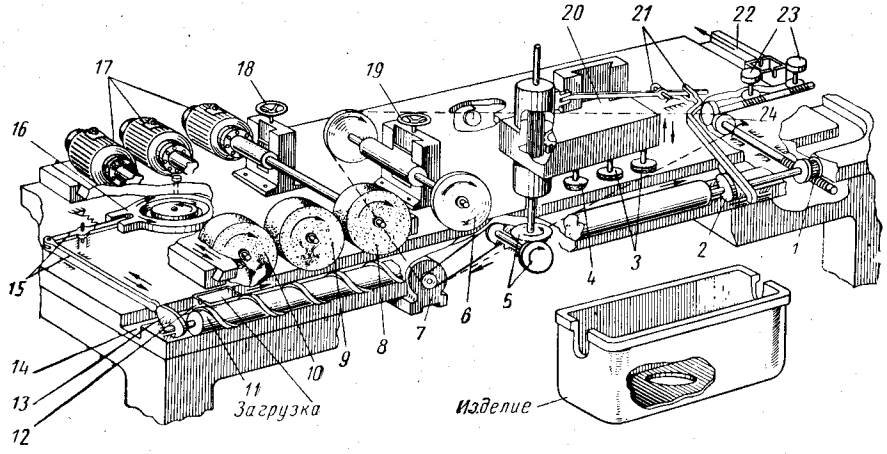


Рис. XI.12. Кинематическая схема автоматизированного станка для комплексной механической обработки и зачистки изделий прямоугольной формы:

1 — червячный редуктор; *2*, *13* — кулачки; *3*, *23* — щетки; *4* — фреза; *5* — коническая передача; *6* — профильный камень; *7*, *17* — электродвигатели; *8—10* — шлифовальные камни; *11* — червяк; *12* — обрабатываемое изделие; *14* — паз; *15*, *21* — рычаги; *16* — муфта обгона; *18*, *19* — винтовые регуляторы; *20* — механизм для пробивки пленки, фрезерования отверстия и протирки изделия; *22* — желоб; *24* — шкив.

окончании прорезки пазов изделие с повышенной скоростью перемещается в позицию пробивки пленки и фрезерования грата в центральном отверстии, где оно фиксируется торцовой частью последнего витка червяка и самоустанавливающейся фрезой *4*.

Дальнейшее перемещение изделий — периодическое (обеспечивается подпором изделий). Механические щетки *3* протирают изделия изнутри. В то время как первая щетка протирает изделие с одной стороны, вторая щетка протирает другое изделие с противоположной стороны.

Таким образом, червяк обеспечивает непрерывную транспортировку изделий с различной скоростью, их остановку и последующее периодическое перемещение.

К местам пылевыделения при обработке грата подведены местные отсосы вытяжной вентиляции. Для увеличения эффективности отсоса

пыли и создания направленной струи воздуха с абразивной пылью и гратом к местам обработки через трубки коллектора подведен сжатый воздух. Для более эффективной очистки изделий и предохранения щеток от загрязнения через их полые валы также нагнетается сжатый воздух. Обработанные изделия, транспортируемые по желобу *22* на конвейер, протирают снаружи щетками *23* и обдувают воздухом.

Червяк приводится в движение электродвигателем *7* через шкив *24* и червячный редуктор *1*. Возвратно-поступательное перемещение механизма *20* (для пробивки пленки, фрезерования центрального отверстия и внутренней протирки) осуществляется кулачком *2* через систему рычагов *21*. Вращение на фрезу и щетки передается от электродвигателя через коническую передачу *5*.

В позиции наружной протирки изделие перемещается вследствие вращения приводных подпружиненных роликов. Для привода торцующих (обрабатывающих торцы) шлифовальных камней *8—10* установлены индивидуальные электродвигатели *17*. Торцующие камни и профильный камень *6* можно устанавливать на необходимой высоте винтовыми регуляторами *18* и *19*.

Монтажная плита, на которой установлены торцующие камни с приводом, имеет возвратно-поступательное движение в направлении, перпендикулярном к продольной оси червяка. Это движение передается кулачком *13* через систему рычагов *15*, муфту обгона *16* и профильный кулачок с роликом. За один оборот торцующего камня перемещение плиты составляет 0,02 *мм*.

Производительность станка достигает 30 000 изделий в смену. Станок позволил высвободить двенадцать рабочих и конвейер с оборудованием в обрабатывающем отделении, снизить брак и улучшить условия труда.

Для одновременной механической обработки прямоугольной коробки и ее крышки предназначен оригинальный станок конструкции А. А. Кочуркова (рис. XI.13). Работает он по принципу самокопирования и имеет два шестигнездных ротора *4* и *8*, которые вращаются периодически в противоположных направлениях, синхронно друг с другом. Обрабатываемые крышка и коробка укладываются вручную одновременно в гнезда *6* и *7* (позиции *I*).

При повороте роторов на угол 60° (направление вращения показано стрелками) крышка перемещается в позицию *II* для обработки двух полукруглых пазов. Обработка производится фигурным шлифовальным камнем *5*. В позициях *III* через гнездо ротора поднимается нижний прижим прямоугольной формы и подает изделие к верхнему прижиму, сдавливая пружину *12*. Изделие медленно поворачивается нижним прижимом на угол 360°, при этом вокруг его кромок с гратом обкатывается вращающийся инструмент (профильный шлифовальный камень или фреза).

В позициях *IV* те же изделия поворачиваются на угол 360° в обратном направлении и обрабатываются таким же образом расположенными в этих позициях инструментами. Инструменты находятся на шпинделях, установленных в касающихся относительно осей *2*

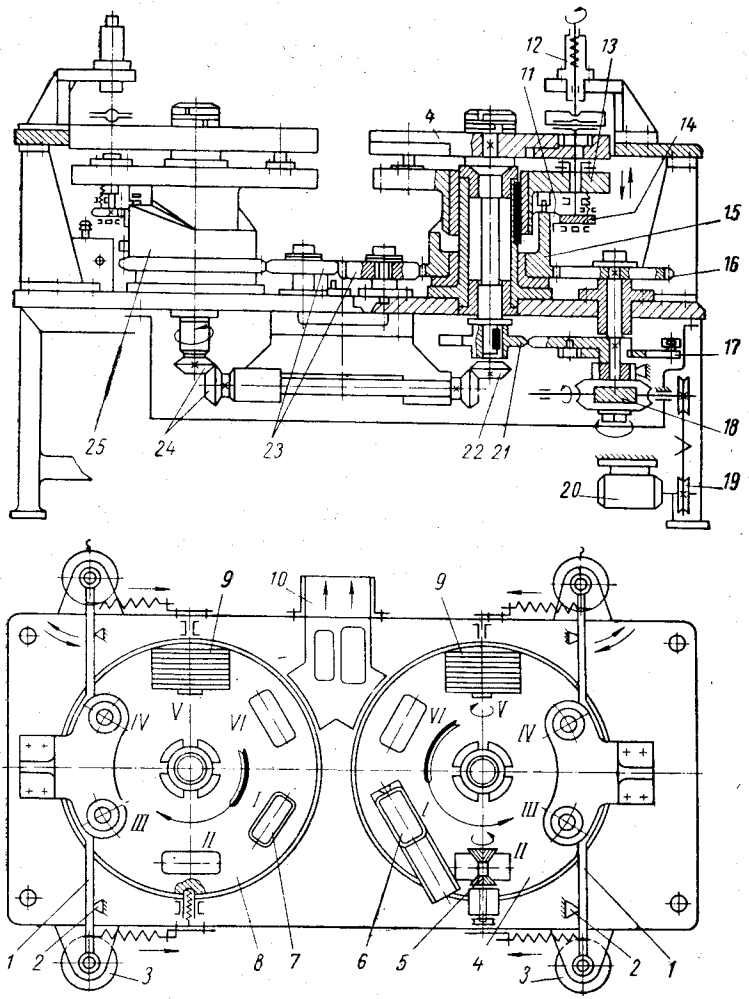


Рис. XI.13. Станок для одновременной комбинированной обработки и зачистки двух различных деталей:

1 — кронштейны; *2* — оси; *3*, *20* — электродвигатели; *4*, *8* — роторы; *5* — шлифовальный камень; *6*, *7* — гнезда; *9* — щетки; *10* — желоб; *11* — зубчатый сегмент; *12* — пружина; *13* — диск; *14*, *16* — шестерни; *15*, *25* — кулачки; *17* — поводок; *18* — червячный редуктор; *19* — клиноременная передача; *21* — мальтийский крест; *22*, *24* — конические шестерни; *23* — промежуточные шестерни.

кронштейнах *1*. Вращение инструментов осуществляется четырьмя индивидуальными электродвигателями *3* мощностью по 0,27 *квт* через клиноременные передачи. В позициях *V* обработанные изделия протираются вращающимися щетками *9*, а в позициях *VI* сталкиваются струей сжатого воздуха в наклонный желоб *10*.

Ротор *4* периодически поворачивается на угол 60° электродвигателем *20* через клиноременную передачу *19*, червячный редуктор *18* и поводок *17* с шестилучевым мальтийским крестом *21*. Вращение второго ротора осуществляется с помощью конических шестерен *22* и *24*. От вала червячного редуктора крутящий момент передается на цилиндрический кулачок *15* через шестерню *16* и зубчатый венец кулачка. Вращение кулачку *25* второго ротора сообщается через две промежуточные шестерни *23*. Торцевая профильная часть кулачка воздействует на диск *13*, перемещая в осевом направлении нижний прижим и шестерню *14*, закрепленные на одном валу.

На наружной поверхности кулачка расположен зубчатый сегмент *11*. При подъеме шестерни *14* ее зубья зацепляются зубьями сегмента. Количество зубьев сегмента и шестерни рассчитано таким образом, чтобы в течение зацепления обеспечить поворот шестерни *14* и обрабатываемого изделия на угол 360°. Для правильного зацепления зубьев сегмента и шестерни положение последней контролируется специальным фиксатором.

Станок позволяет после переналадки обрабатывать различные прямоугольные изделия (т. е. он может быть универсальным). Часовая производительность станка составляет 900 комплектов коробок и крышек.

Пятишпиндельный полуавтоматический станок (рис. XI.14) предназначен для сверления четырех отверстий и снятия грата в боковом пазу на электроустановочных изделиях из фенопластов. Изделия помещают вручную в гнезда *10* загрузочного двенадцатипозиционного диска *8*. Диск вращается периодически, поворачиваясь при каждом цикле обработки изделия на $^1/_{12}$ часть оборота. Вращение на главный вал редуктора и пять шпинделей перовых сверл *7* передается от шкива *2* электродвигателя *1* через клиновые ремни и шкивы *3* и *4*.

Шпиндельная головка *5* со сверлами опускается под действием груза *6*, а поднимается под действием профильного кулачка, установленного в редукторе *9*. Несмотря на то, что все пять сверл опускаются одновременно, на каждом изделии в определенной позиции обработки сверлится только одно отверстие, поскольку сверла рассредоточены по дуге загрузочного диска. Гнезда *10* в загрузочном диске — сквозные, однако в процессе обработки изделие удерживается пластиной, расположенной под загрузочным диском.

После обработки изделие сталкивается в наклонный желоб специальным съемником через отверстие в пластине, совпадающее в позиции сталкивания с гнездом диска. Часовая производительность станка 3120 изделий.

Известны способы удаления образующейся при прессовании изделий в отверстиях и пазах пленки нагретыми пуансонами.

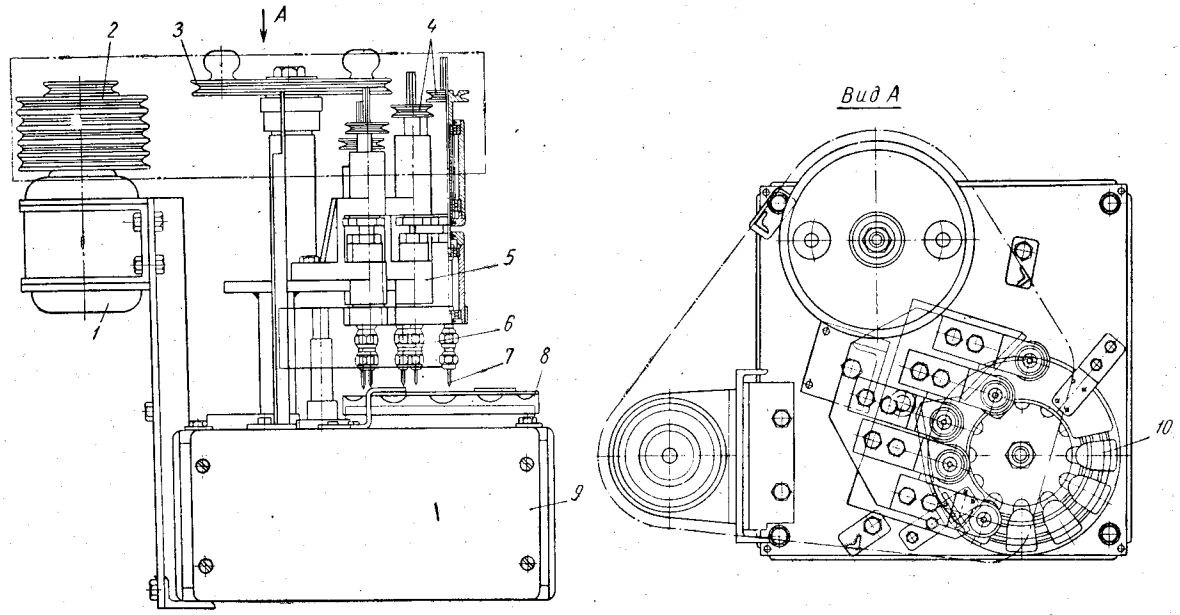


Рис. XI.14. Полуавтоматический многошпиндельный сверлильный станок:

1 — электродвигатель; *2* — *4* — шкивы; *5* — шпиндельная головка; *6* — груз; *7* — сверла; *8* — диск; *9* — редуктор; *10* — гнезда.

Для этого в ЧССР применяется полуавтоматический роторный станок, одновременно удаляющий пленки в 4—6 отверстиях. В периодически вращающемся роторе имеются 12 пар гнезд для обрабатываемых изделий. Для фиксирования ротора в позициях обработки установлен ленточный тормоз. Пуансоны обогреваются электрическим нагревателем сопротивления. Пленка на изделиях прокалывается острыми наконечниками пуансонов и оплавляется (обгорает) при контакте с нагретой боковой поверхностью пуансона. Подъем и опускание пуансонов происходит под действием кулачка и кривошипного механизма. Обработанные изделия выпадают из гнезд ротора в тару.

§ 5. УНИВЕРСАЛЬНЫЕ ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИЕ СТАНКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И ЗАЧИСТКИ

Универсальный станок для обработки цилиндрических изделий различной высоты и диаметра показан на рис. XI.15. На таких станках, используя метод бесцентрового шлифования, успешно обрабатываются и зачищаются тонкостенные цилиндрические изделия, отличающиеся значительным колебанием размеров и погрешностью формы.

Изделия загружаются в лоток *1* и затем поочередно транспортируются на вращающийся диск *2*. Диск увлекает изделия, которые попадают в зазор между внутренним резиновым диском-эксцентриком *3* и наружным резиновым кольцом *4*.

Диски *2* и *3* вращаются в противоположные стороны с различной окружной скоростью, что сообщает изделиям, находящимся между

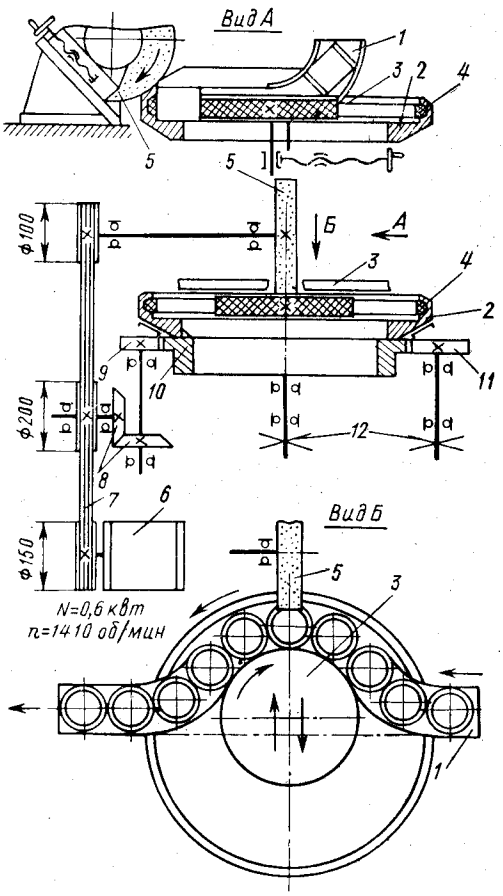


Рис. XI.15. Кинематическая схема универсального полуавтоматического станка для обработки и зачистки цилиндрических изделий:

1 — лоток; *2* — диск; *3* — диск-эксцентрик; *4* — резиновое кольцо; *5* — шлифовальный камень; *6* — электродвигатель; *7* — клиноременная передача; *8*, *9*, *11* — шестерни; *10* — зубчатый венец; *12* — вариатор.

резиновым диском *3* и кольцом *4*, вращательное (против часовой стрелки) и одновременно поступательное (справа налево) движение. При этом каждое изделие перемещается относительно вращающегося шлифовального камня *5* и по окружности изделия равномерно удаляется грат.

Привод станка осуществляется электродвигателем *6*. Через клиноременную передачу *7*, конические и цилиндрические шестерни *8* и *9* движение передается на зубчатый венец *10*, к которому приварен

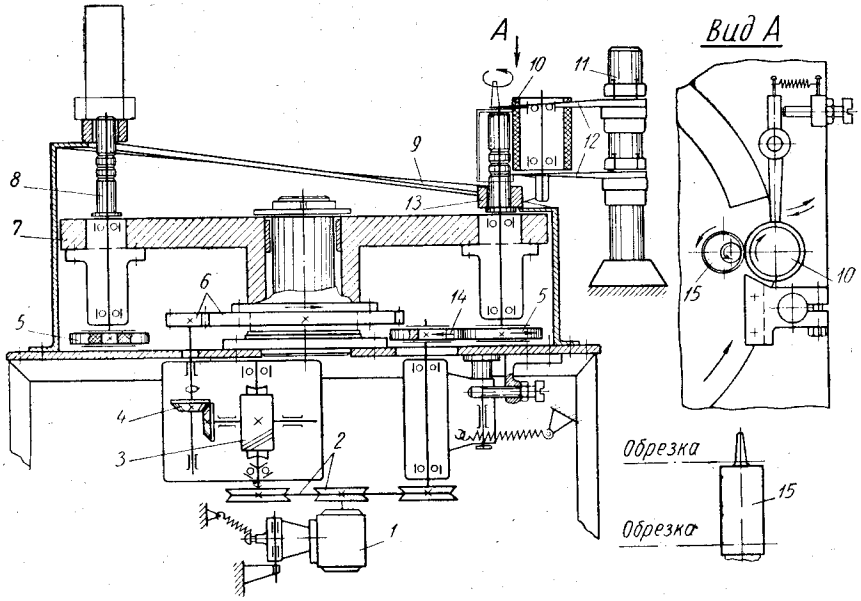


Рис. XI.16. Схема полуавтоматического станка для обработки и зачистки изделий из термопластов:

1 — электродвигатель; *2* — клиноременная передача; *3* — червячный редуктор; *4* — конический редуктор; *5*, *6*, *14* — шестерни; *7* — диск; *8* — оправка; *9* — кулачок; *10* — резиновый цилиндр; *11* — стойка; *12* — ножи; *13* — опорное кольцо; *15* — обрабатываемое изделие.

диск *2* с резиновым кольцом *4*. Движение внутреннему резиновому диску *3* сообщается через венец *10*, шестерню *11* и вариатор *12*. Зазор между диском-эксцентриком *3* и кольцом *4* регулируется в зависимости от диаметра обрабатываемых изделий.

Универсальные станки, дающие возможность обрабатывать группу изделий, имеющих общие технологические признаки, но различные размеры и конфигурацию, более предпочтительны, чем специализированные станки для обработки одного или двух изделий. Широко распространены универсальные станки в производстве изделий из реактопластов.

Большие трудности возникают при зачистке изделий из термопластов, полученных методом литья под давлением. Это объясняется

нестабильностью размеров изделий, высокой вязкостью материала, а также необходимостью удаления литника и, как правило, тщательной зачистки места среза литника. Полуавтоматический станок для обработки изделий из полиэтилена и полиизобутилена, а также других эластичных термопластов показан на рис. XI.16.

Обрабатываемые изделия надевают вручную на универсальные оправки *8*, которые установлены на вращающемся непрерывно с небольшой скоростью (8 *об/мин*) диске *7*.

Крутящий момент передается на диск от электродвигателя *1* мощностью 0,6 *квт* через клиноременную передачу *2*, червячный *3* и конический *4* редукторы, а также цилиндрические шестерни *6*. При приближении к зоне обработки (на рисунке — справа) оправка начинает вращаться вследствие зацепления шестерни *5* с шестерней *14* привода. Вместе с оправкой вращается также изделие, которое прижимается к оправке резиновым цилиндром *10*, установленным на шариковых подшипниках.

Литник и нижняя часть изделия отрезаются двумя ножами *12*, изготовленными из быстрорежущей стали и закрепленными на стойке *11*. Положение ножей по высоте можно регулировать.

На оправке имеются несколько кольцевых каналов, что позволяет обрезать изделия различной высоты. На станке можно обрабатывать изделия различного диаметра (от 15 до 100 *мм*) без переналадки. Для облегчения процесса резания изделия предварительно смачиваются струей эмульсии. По мере дальнейшего вращения диска опорное кольцо *13* перемещается по профилю кольцевого кулачка *9*, обеспечивая подъем и сбрасывание в приемную тару обработанного изделия. Габаритные размеры станка 500 × 600 × 1100 *мм*, часовая производительность 1800 изделий, вес 785 *н*.

§ 6. АВТОМАТИЧЕСКИЕ СТАНКИ ДЛЯ ОБРАБОТКИ И ЗАЧИСТКИ

Созданные на отечественных заводах специализированные и универсальные автоматические питатели применяются для комплектации полуавтоматических станков с целью полной автоматизации процесса механической обработки пластмассовых изделий.

Специализированный бункерный питатель для резьбовых втулок предохранителей показан на рис. XI.17, *а*. Загруженные в бункер *6* втулки *2* увлекаются штырями *5* прорезиненной ленты *3*, приводимой в движение электродвигателем *7*. На штырях имеются поперечные каналы, соответствующие внутренней резьбе втулок. При правильной ориентации (вверху) изделие транспортируется штырем ленты в накопитель *4*. Из накопителя изделия в ориентированном виде загружаются в гнезда подающего диска *1* станка. При неправильной ориентации (справа внизу), в связи с отрицательным углом наклона ленты, изделие соскальзывает со штыря в бункер.

Более эффективен универсальный вибрационный питатель (рис. XI.17, *б*). Вибрационный питатель состоит из основания *11*,

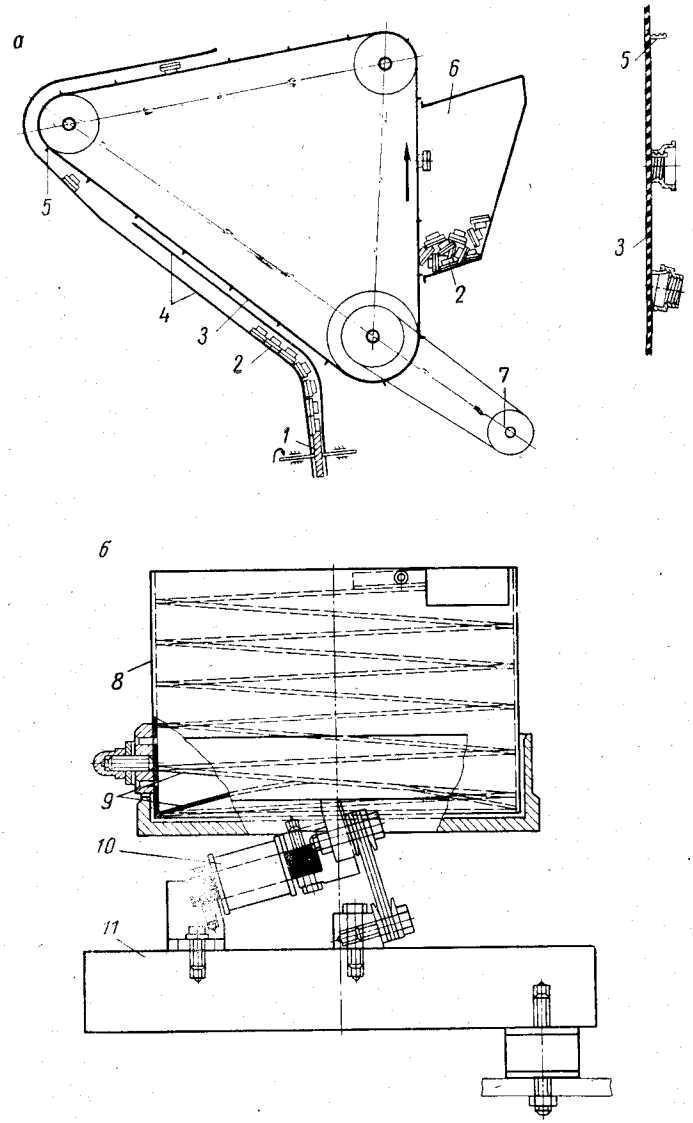


Рис. XI.17. Питатели для поштучной загрузки в станок обрабатываемых изделий в ориентированном положении:

а— ленточного типа; *б* — вибрационного типа;
1 — подающий диск; *2* — изделия (втулки); *3* — лента; *4* — накопитель; *5* — штыри; *6* — бункер; *7* — электродвигатель; *8* — чаша; *9* — спиральный желоб; *10* — вибратор; *11* — основание.

цилиндрической чаши *8*, изготовляемой обычно из тонкого стального или алюминиевого листа, и электромагнитных вибраторов *10*. На внутренней поверхности чаши имеется спиральный желоб *9* для транспортировки изделий. Изделия загружают непосредственно в чашу. Под действием вызываемых вибратором колебаний попавшие на нижнюю часть желоба изделия постепенно транспортируются вверх к загрузочному лотку станка для механической обработки. Непра-

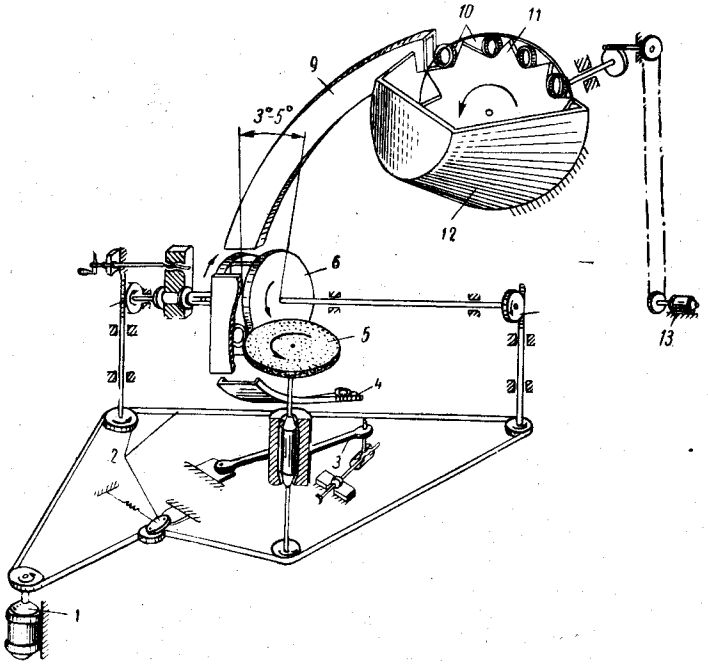


Рис. XI.18. Кинематическая схема автоматического станка для обработки и зачистки цилиндрических изделий:

1, *13* — электродвигатели; *2* — клиноременная передача; *3* — регулирующее устройство; *4* — лоток; *5* — шлифовальный камень; *6* — рабочие диски; *7* — червячные редукторы; *8* — регулятор; *9* — желоб; *10* — гнезда; *11* — подающий диск; *12* — бункер.

вильно ориентированные изделия сталкиваются специальным устройством внутрь чаши. Вибрационный питатель в принципе пригоден для автоматической загрузки изделий небольших размеров любой конфигурации. Для автоматической загрузки изделий в станки применяют также ленточные питатели.

Специализированный станок, кинематическая схема которого показана на рис. XI.18, позволил полностью автоматизировать механическую обработку цилиндрических изделий. Вначале обрабатываемые изделия загружают в бункер *12*. При вращении подающего диска *11* изделия попадают в его гнезда *10*. Из гнезд этого диска изделия перегружаются в желоб *9* и поступают в пространство между двумя рабочими дисками *6*.

Диски *6* вращаются в противоположных направлениях с различной скоростью, вследствие чего обрабатываемым изделиям сообщается вращательное и одновременно поступательное движение. По мере опускания вращающихся изделий на них крутящимся шлифовальным камнем *5* обрабатывается грат (способом бесцентрового шлифования). Обработанные изделия падают на лоток *4*.

Подающий диск *11* вращается электродвигателем *13* мощностью 0,2 *квт* через клиноременную передачу и червячный редуктор. Привод рабочих дисков *6* и шлифовального камня *5* осуществляется электродвигателем *1* мощностью 0,6 *квт* через клиноременную передачу *2* и червячные редукторы *7*. Зазор между рабочими дисками изменяют в зависимости от диаметра обрабатываемых изделий при помощи регулятора *8*. Размер обрабатываемой на изделии фаски регулируют при помощи устройства *3*. Производительность станка достигает 40 000 изделий в смену.

Производительность автоматического станка определяется производительностью питателя Q (в *шт./ч*), которую можно рассчитать по формуле:

$$Q = 60\,kxn \qquad \text{(XI.1)}$$

где k — коэффициент вероятности загрузки каждого гнезда питателя (для дисковых и ленточных питателей $k = 0{,}15 \div 0{,}3$); x — число гнезд в питателе; n — число оборотов диска или ленты, *об/мин*.

Производительность вибрационного питателя зависит от частоты колебаний вибраторов, а также конструктивных особенностей питателя и транспортируемых изделий.

§ 7. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОТДЕЛКИ ПОВЕРХНОСТИ

Пластмассовые изделия, загрязненные абразивными частицами, стружкой и пылью в процессе зачистки грата, перед осуществлением той или иной операции отделки поверхности необходимо очищать, обдувать сжатым воздухом.

Крупные изделия размером до 100 × 100 *мм* обдувают непосредственно в таре, очень мелкие — в коробках, изготовленных из металлической сетки. Изделия, подлежащие обдувке, помещают в специальную камеру, расположенную на верстаке. Сжатый воздух подводится по шлангу к пистолету, через который подается на детали. Давление в магистрали 0,3—0,4 *Мн/м*^{2}.

После обдувки изделия поступают на полировку. Для полирования рекомендуется использовать галтовочные барабаны. Во всех гранях барабана имеются отверстия для удаления отходов.

В качестве наполнителей используются дубовые кубики размером 10 × 10 × 10 *мм*, пропитанные полировочной пастой, и металлические наполнители различной формы, которые загружаются в барабан вместе с деталями, подлежащими полировке.

Примерный состав полировочной пасты, масс. %:

Окись хрома	20
Окись алюминия	10
Литапон	23
Парафин	42
Воск или церезин	5

После полирования в том же барабане производится протирка деталей фланелевыми или суконными лоскутами.

Если изделия сильно загрязнены машинным маслом, полировочными пастами, а также пылью и различными органическими смазками (олеиновой кислотой, кремнийорганическими жидкостями и т. д.), применяемыми для смазки прессформ, то для их очистки могут быть применены органические растворители. Изделия из полистирола, полиэтилена, поливинилхлорида очищаются техническим денатурированным спиртом, из полиакрилатов — уайт-спиритом, а изделия из термореактивных фено-, мочевино- и меламинопластов — трихлорэтиленом, четыреххлористым углеродом, уайт-спиритом.

Длительность соприкосновения пластмассовых деталей в ваннах с растворителями должна быть по возможности кратковременной.

Перечисленные средства механизации операций отделки с целью восстановления первоначального (до зачистки и обработки) состояния поверхности удовлетворяют нужды серийного и мелкосерийного производства деталей. Они отличаются простотой конструкции и высокой производительностью.

Оборудование для декорирования поверхностей изделий или придания им специфических эксплуатационных свойств весьма разнообразно. Конструктивно-технологические особенности такого оборудования определяются возможностями используемого метода.

Рассмотрим в качестве примера метод металлизации поверхности пластмассовых изделий, который применяется при производстве конденсаторов и сопротивлений, экранирующих устройств, электрических переключающих приборов, печатных схем, отражающих рефлекторов, приборов электронной микроскопии, а также для придания изделиям декоративного вида.

Металлизация осуществляется различными способами: электролитическим осаждением, катодным распылением в вакууме и испарением металлов в глубоком вакууме, распылением металлов пистолетом, восстановлением металлов из растворов солей и газов.

Для электролитического осаждения металлов на поверхность пластмассовых деталей необходимо предварительно нанести электропроводящий слой. Этот слой наносят либо методом химического восстановления, либо изделие покрывают токопроводящей краской, в составе которой имеется алюминий, бронза или серебро. Можно применять также графитизацию поверхности детали, предварительно покрытой воском, а также напылять медные, серебряные и аналогичные порошки на непросохшую, покрытую лаком поверхность изделия. Электролитический метод применяется в основном для получения медных, никелевых и серебряных покрытий.

Перспективен способ испарения металлов в глубоком вакууме. В условиях глубокого вакуума при нагревании металла до температуры, при которой давление его паров достигает 0,01 *мм рт. ст.*, металл начинает испаряться и его атомы разлетаются по радиусам сферы, в центре которой находится испаряемый материал.

Количество металла G, испарившегося с шарика постоянного радиуса r в условиях глубокого вакуума, равно:

$$G = P\sqrt{\frac{M}{2\pi RT}} \cdot 4\pi r^2 \tau \qquad \text{(XI.2)}$$

где P — давление пара металла; M — атомный вес металла; R — газовая постоянная; T — абсолютная температура; τ — продолжительность испарения.

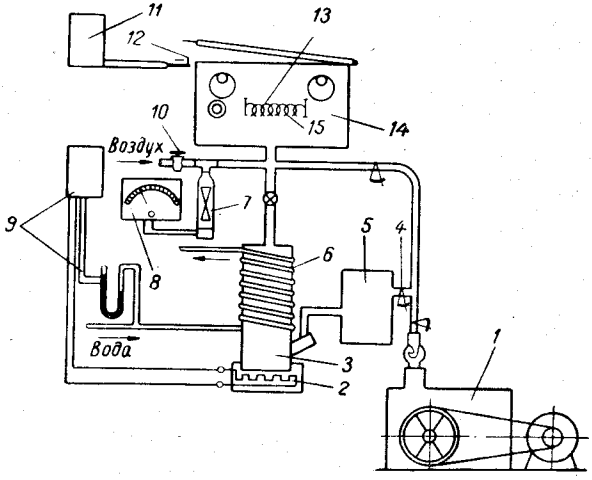


Рис. XI.19. Схема установки для металлизации пластмассовых изделий в глубоком вакууме:

1, 3 — вакуум-насосы; *2* — электронагреватели; *4* — зажим; *5* — компенсационный баллон; *6* — змеевик; *7* — манометрическая лампа; *8* — вакуумметр; *9* — предохранительное устройство; *10* — стеклянный кран; *11* — реле; *12* — блокировочный контакт; *13* — вольфрамовая спираль; *14* — вакуумная камера; *15* — алюминиевые скобы.

Возможность конденсации металла на поверхности изделий определяется образованием зародышевого слоя, зависящего от кинетической энергии испаряемых атомов, плотности излучения и подвижности металлических частиц на поверхности изделия.

Толщину Θ металлической пленки, образующейся при испарении металла из точечного источника, находящегося в центре сферы, определяют зависимости:

$$\Theta = \frac{m_м}{4\pi\rho\delta^2} \qquad \text{(XI.3)}$$

где $m_м$ — масса испарившегося металла; ρ — плотность металла; δ — радиус сферы.

Схема установки для испарения алюминия в глубоком вакууме приведена на рис. XI.19. В вакуумной камере *14* установки расположена вольфрамовая спираль *13* с подвешенными на ней алюминиевыми скобами *15*. При подаче тока в спираль алюминий плавится и испаряется, конденсируясь на помещенных в камере деталях. Вакуум в камере *14* создается ротационным форвакуумным насосом *1* и диффузионным паромасляным насосом *3*. Насос *1* создает в камере вакуум до 0,05 *мм рт. ст.* Диффузионный насос доводит вакуум до 10^{-4} *мм рт. ст.* Насос *3* оснащен электронагревателями *2*, змеевиком *6* для водяного охлаждения, а также предохранительным устройством *9*.

Компенсационный баллон *5* предназначен для поддержания необходимого вакуума в диффузионном насосе, когда он отсоединен зажимом *4* от ротационного насоса. Вакуумметр *8* включает ток в термопарную манометрическую лампу *7*, входящую в состав общей системы вакуума. Эта лампа подает ток, который контролируется милливольтметром. При соответствующей градуировке шкала прибора может непосредственно показывать величину вакуума в системе.

При открывании камеры блокировочный контакт *12* размыкает при помощи реле *11* цепь высокого напряжения. Стеклянный кран *10* используется для впуска воздуха в камеру.

* * *

В заключение необходимо отметить, что для обеспечения техники безопасности и санитарных норм станки и установки для обработки, зачистки и отделки изделий из пластмасс заземляются и оснащаются защитными ограждениями и местными отсосами вытяжной вентиляции. Шлифовальные камни перед их установкой проверяются на биение на специальном стенде.

ЛИТЕРАТУРА

В. К. Завгородний, Механизация и автоматизация переработки пластических масс, Изд. «Машиностроение», 1970.

М. Ф. Семко и др., Механическая обработка пластмасс, Изд. «Машиностроение», 1965.

Завгородний Виктор Константинович
Калинчев Эрик Леонидович
Махаринский Ефим Гдальевич

ОБОРУДОВАНИЕ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ПЛАСТМАСС

с. 464

Издательство «Химия», Ленинградское отделение, Невский пр., 28

Редактор *В. А. Брагинский*
Технический редактор *Е. М Соболева*
Корректор *Л. А. Любович*
Обложка художника *Л. А. Яценко*

Сдано в производство 25/II 1972 г. Подписано к печати 24/V 1972 г. М-12782. Печ. л. 29. Уч.-изд. л. 31,45. Формат 60 × 90¹/₁₆. Бумага № 2. Тираж 9000 экз. Заказ 1537. Цена 1 р. 30 к.

Ленинградская типография № 6 Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР. Московский пр., 91.

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
11	8 сверху	утопленной	утепленной
102	11 снизу	И работа	Их работа
197	6 сверху	центробежный	центральный
201	19 снизу	взрывобезопасной	взрывоопасной

Заказ 1537