67
Г-34

Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ИНСТИТУТ
ТОНКОЙ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ им. М.В.ЛОМОНОСОВА

Е.Е. ГЛУХОВ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ ПО КУРСУ

"РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ И ФОРМ"

Москва - 1978

Кафедра Технологии переработки пластмасс

Доцент Е.Е.ГЛУХОВ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ ПО КУРСУ

"РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ И ФОРМ"

Москва - 1978

С О Д Е Р Ж А Н И Е

стр.

ПРЕДИСЛОВИЕ 5

ВВЕДЕНИЕ 6

I. КОНСТРУИРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ II

I.I. Требования к конструкции изделий, определяемые технологическими ввойствами формуемого материала I2

I.2. Требования к конструкции изделий, связанные с разъемом формы и условиями извлечения изделий из формы 2I

I.3. Требования к конструкции изделий, связанные с оформлением отверстий, резьб и надписей ... 29

I.4. Требования к конструкции изделий с учетом механической обработки их 34

I.5. Требования к конструкции изделий, связанные с применением арматуры 37

I.6. Точность пластмассовых изделий 44

I.7. Взаимосвязь конструкций и эксплуатационных характеристик изделий 59

2. РАСЧЕТ ИЗДЕЛИЙ 63

2.I. Инженерная оценка прочности и деформируемости 63

2.2. Расчет на изгиб изделий из низкомодульных материалов 77

2.3. Расчет сопрягаемых изделий 84

2.4. Особенности расчета изделий, передающих крутящий момент 92

2.5. О расчете некоторых пластмассовых деталей машин и аппаратов 97

2.5.I. Подшипники и направляющие 97
2.5.2 Зубчатые колеса 98
2.5.3. Детали уплотнений 99
2.6. Примеры расчета I04
3. КОНСТРУИРОВАНИЕ ФОРМУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА III
3.I. Пресс-формы III
3.I.I. По способу формования II3
3.I.2. По свойствам формуемого материала II6
3,I.3. По числу гнезд в форме II7
3.I.4. По характеру работы II8
3.I.5. По конструкции оформляющих поверхностей I22
3.I.6. По спооообу извлечения изделий из формы I27
3.I.7. По степени механизации I30
3.2. Литьевые формы I3I
3.2.I. Особенности конструкций, определяемые способом литья I33
3.2.I.I. Типовая конструкция литьевой формы I34
3.2.I.2. Формы для прооо-литья I37
3.2.I.3. Холодноканальные литьевые системы I40
3.2.I.4. Горячеканальные литьевые формы I5I
.2.2. Многоразъемные литьевые формы I55
.2.3. Выталкивающие устройства литьевых форм I59
3.3. Формы для изготовления изделий из заготовок.. I6I

3.4. Формующие головки и калибрующие устройства при экструзии I65
3.4.I. Головки и калибрующие устройства для профильных изделий I67
3.4.2. Специализированные формующие головки .. I73
4. РАСЧЕТ ФОРМУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА I77
4.I. Закономерности течения, используемые для технологических расчетов инструмента I77
4.2. Реологические расчеты I89
4.2.I. Расчет литниковых систем I90
4.2.2. Расчет экструзионных головок I98
4.3. Особенности тепловых расчетов 205
4.3.I. По пресс-формам 205
4.3.2. По литьевым формам 207
4.3.3. По формам для вакуумного и пневматического формования 2I7
4.3.4. По экструзионной оснастке 2I7
4.4. О прочностных расчетах 2I9
4.5. Общеинженерные расчеты форм 223
4.6. Примеры расчета 235
Литература 245

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Основой для написания предлагаемого конспекта послужили читавшиеся на протяжении более десяти лет лекции по курсу "Расчет и конструирование изделий и форм". При этом использовалась многочисленная литература, посвященная различным вопросам в области полимерных материалов , включая книги и статьи, содержащие хотя бы отрывочные сведения по конструированию и расчетам. Использовался также многолетний опыт конструкторско-технологических работ, проводившихся в различных организациях и не публиковавшихся в печати.Кроме того в конспекте нашли отражение работы, выполнявшиеся на кафедре.

Само написание строго соответствует утвержденной программе курса. Вопросы, касающиеся изготовления и эксплуатации формующего инструмента, рекомендации по применяемым для инструмента материалам и другие подобные вопросы, весьма важные для инженеров, работающих в области переработки пластмасс в изделия, не освещены в данном пособии вследствие ограниченности его объема. Однако, им уделяется должное внимание в выполняемых студентами курсовой и лабораторной работах.

Автор выражает глубокую признательность проф.Кулезневу В.Н., проф.Сагалаеву Г.В., доц.Юрцеву Л.Н. и к.т.н.Оленеву Б.А. за просмотр рукописи и высказанные ими критические замечания, которые были учтены в окончательной редакции.

Автор.

ВВЕДЕНИЕ

Данный курс является одним из последних курсов, читаемых студентам, обучающимся по специальности технологии переработки полимерных материалов в изделия. В курсе наиболее рельефно отражается основополагающая идея специальности, записанная в базовой модели специалиста - "создание изделий из полимерных материалов с требующимися свойствами и минимальными затратами труда".

Здесь завершается теоретическое обучение студентов так, что приобретенные ими знания используются для решения инженерных задач. Поэтому успешное освоение курса невозможно без знания предшествующих дисциплин, особенно таких, как: техническая механика, инженерная графика, теплотехника, химия, физика и механические свойства полимеров, основы технологии переработки пластмасс.

Конструирование изделий заключается в том, чтобы по заданным требованиям к изделию подобрать материал для него, найти наилучшую конфигурацию его с учетом конструкционных и технологических свойств выбранного материала, выбрать способ наиболее эффективного изготовления изделия и дать техническое решение по технологической оснастке. Успешное решение такого комплекса вопросов, как правило, обосновывается соответствующими инженерными расчетами. Более того, эффективность принятого решения подкрепляется экономическими соображениями. При этом должна учитываться также оценка конструкции с точки зрения технической эстетики.

Очевидно, что результаты конструктивных разработок не могут быть однозначными, а сам процесс конструирования в своей основе является творческим. Это творчество может проявиться на любом уровне, начиная от незначительных усовершенствований имеющихся конструкций и кончая созданием принципиально новых типов изделий.

В любом случае результаты удачного конструирования дают существенный эффект.

Конструирование - это творчество, а любое творчество возможно только на основе некоторого минимума знаний. Для конструктора пластмассовых изделий такой минимум дается в излагаемом курсе. При этом полезно использовать некоторые обобщения имеющегося опыта конструирования в отношении объема работ и стадий их выполнения. Весь процесс конструирования может быть представлен в виде следующих четырех стадий.

I. Анализ исходного задания. На этой стадии конструирования обсуждаются требования к разрабатываемому изделию с целью установить реальность этих требований и выявить возможность уточнения их. В зависимости от полноты данных в исходном задании объем и характер работы на этой стадии может быть весьма различным. Если в задании дается чертеж изделия, то результаты анализа становятся более конкретными и эта начальная стадия автоматически переходит во вторую стадию.

2. Разработка чертежа изделия. Как правило, чертеж изделия не может считаться законченным, если не выбраны материал, способ изготовления и тип формующего инструмента. Эти вопросы решаются обычно на стадии разработки чертежа изделия, которая вследствие этого приобретает решающее значение, т.к. при этом определяется, по-существу, вся технология изготовления изделия.

3. Разработка конструкции оснастки. Конструирование изделия не заканчивается оформлением рабочего чертежа на него. Разрабатывая формующий инструмент, вносят, если это необходимо, соответствующие уточнения и в конструкцию изделия.

4. Экспериментальная проверка и отработка конструкции изде-

дия. Окончательная приемка конструкции изделия производится после выпуска опытной партии.Для этого изготавливают необходимую технологическую оснастку, отрабатывают на ней технологию формования и проверяют изделия по внешнему виду, по геометрическим размерам и, если нужно, по результатам механических , электрических и других испытаний. Для изделий ответственного назначения иногда организуют специальные стендовые испытания. Конструкция изделия утверждается окончательно и принимается к массовому изготовлению, если выдержит предназначенные для него испытания.В противном случае изделие дорабатывается и в техническую документацию вносятся необходимые изменения и уточнения.

Конструкция изделия органически связана с конструкцией формующей оснастки, значение которой очень велико по следующим причинам.

I. На каждое изделие разрабатывается и изготавливается специальная оснастка. Практически получается так, что затраты на формующий инструмент превышают затраты на основное технологическое оборудование, поскольку к каждой машине приходится иметь набор инструмента, который изнашивается быстрее, чем сама машина, а стоимость сложного инструмента может приближаться к стоимости машины.

2. Качество формуемых изделий определяется тем, насколько удачно сконструирован инструмент.

3. От конструкции формующего инструмента зависит производительность используемого оборудования.Это связано со степенью механизации технологических операций, выполняемых на формующем инструменте.Чем совершеннее конструкция оснастки, тем меньше ручного труда. Переход на полное автоматическое управление оборудованием, как правило, сдерживается из-за отсутствия автома-

тически работающих форм.

4.Потери перерабатываемого материала в виде грата, литников, или из-за необходимости дополнительной механической обработки изделий зависят, главным образом, от конструкции формы.

5. Свойства полимерных материалов легко изменяются в широком диапазоне путем введения добавок.Вследствие этого представляется возможность модифицировать материалы применительно к конкретному изделию, т.е. в процессе разработки конструкции изделия создавать новую композицию, или, как иногда говорят,- "конструировать" сам материал.В этом случае может быть достигнута очень высокая эффективность, если процесс введения модифицирующих добавок осуществлять в одну стадию с процессом формования, применяя для этого специально разработанную оснастку.

Применяемый в настоящее время формующий инструмент изготавливается из высококачественных сталей на современных металлообрабатывающих станках, обеспечивающих высокую точность изготовления. На заводах, перерабатывающих полимерные материалы в изделия, в связи с необходимостью изготавливать большое количество точных форм вынуждены создавать мощные инструментальные цехи с большим числом высококвалифицированных рабочих. Огромный рост производства полимерных материалов привел к тому, что изготовление форм стало узким местом на пути расширения производства пластмассовых изделий. В связи с этим разработаны стандарты на детали форм с тем, чтобы удешевить изготовление их и обеспечить возможность многократного использования не изнашивающихся деталей.

для применяемого в настоящее время инструмента характерно использование массивных конструкций, способных выдерживать большие усилия,возникающие в процессах формования под высоким давлением. Если же давление формования снижается, то и конструкция

формы становится более легкой и, следовательно, - дешевой. Это характерно для пневмо-вакуумного формования, когда изделие формуется из заготовки и необходимое для формования давление не превышает нескольких атмосфер. Однако, ассортимент изготавливаемых этими способами изделий ограничен и поэтому они не могут вытеснить способы формования, основанные на применении высоких давлений и сложных дорогостоящих форм. Более опасным конкурентом для них, по-видимому, явятся будущие способы изготовления изделий, основанные на проведении процессов полимеризации непосредственно в форме.Они будут необычными по сравнению со способами, применяемыми в настоящее время, поскольку в качестве исходного продукта будут применяться мономеры и олигомеры с низкой вязкостью. Возможно, что такие формы можно будет делать из тонких листовых материалов (фольга, картон, бумага) с условием разового пользования. Перспективность указанного направления в развитии новых способов формования изделий обуславливается не только снижением стоимости формующего инструмента. Воздействие высоких давлений на расплав отнюдь не способствует улучшению свойств формуемого материала вследствие явлений механической деструкции, ориентации и т.п. Проведение процесса полимеризации в форме исключает эти вредные воздействия на полимер. В этом случае представляется возможным наиболее полно реализовать присущие полимерным материалам свойства, применяя тонкостенные (мягкие) формы, исключающие возникновение вредных напряжений вследствие усадки.

I. КОНСТРУИРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ

Создание нового изделия всегда сопряжено с большими, или меньшими трудностями. Наибольшие трудности связаны с преодолением косности людей, отягощенных традиционными представлениями. Сложившиеся у конструкторов на протяжении длительного времени работы с традиционными конструкционными материалами навыки мешают им учесть, что различия в свойствах материалов и различия в способах изготовления изделий из них обуславливают различия в принимаемых конструктивных решениях. Полимерные материалы обладают отличными от традиционных материалов свойствами и перерабатываются в изделия своеобразными методами, поэтому вопросы конструирования изделий из них нуждаются в самостоятельном рассмотрении.

Составной частью процесса конструирования являются расчеты, выполняемые с целью обосновать принимаемое решение. Эти расчеты могут касаться как условий эксплуатации изделий, так и технологии их изготовления. Особое место среди них занимают расчеты на прочность и деформируемость, которые вследствие их важности будут рассмотрены отдельно от общих вопросов конотруирования.

Пластмассы применяются всюду, поэтому ассортимент изделий из них необъятен и этим затрудняется классификация их. Тем не менее, по тому, или иному признаку можно подразделить изделия на отдельные группы. Так по технологическому признаку можно выделять изделия прессуемые, отливаемые под высоким давлением, экструдируемые, получаемые пневмо-вакуумным формованием, экструзией с раздувом, спеканием и т.д. По геометрическим признакам изделия могут подразделяться, например, на тонкостенные и толстостенные (толщина более 10 мм.), на плоские и объемные, на изде-

лия в виде емкостей (всевозможные сосуды), на погонажные изделия (имеющие один из размеров неограниченной длины) и т.д. В зависимости от назначения изделия могут подразделяться на технические на изделия широпотреба, электроизоляционные и т.п. Такое деление можно продолжить сколь угодно долго. Более того, каждая из выделяемых групп, в свою очередь, может подразделяться на подгруппы. Строго говоря, вопросы конструирования должны рассматриваться отдельно по каждой выделяемой группе изделий, что и делают в специализированной литературе. Здесь же мы должны рассмотреть самые общие вопросы, касающиеся, если не всех, то большинства изделий, относящихся к разным группам. Для этого будут обсуждаться наиболее общие требования к конструкции изделий из пластмасс, определяемые различными факторами.

I.I. Требования к конструкции изделия, определяемые технологическими свойствами формуемого материала

Технологические свойства характеризуются способностью материала формоваться в изделие. Эта способность резко различна у разных материалов и зависит от применяемого способа формования, что приходится учитывать при разработке конструкции изделия. Так минимальная толщина прессуемых из реактопластов изделий определяется текучестью материала. Чем выше текучесть, тем тоньше можно принимать стенку у изделия при одних и тех же габаритных размерах его. Очевидно, чем больше габаритные размеры, тем больше значение минимально допустимой толщины изделия. Вообще можно говорить о теоретическом расчете минимальной толщины прессуемого изделия δ_{min}, если известны реологические свойства прессуемого материала, характеризуемого, например, с помощью кривой, получа-

емая на пластомере Канавца, показанной на рис.I. Обозначив высоту стенки прессуемого изделия через h , коэффициент вязкости формуемого материала через η , время вязкотекучего состояния через $\tau_в$ (см.рис.I) и давление прессования через $p_р$, напишем

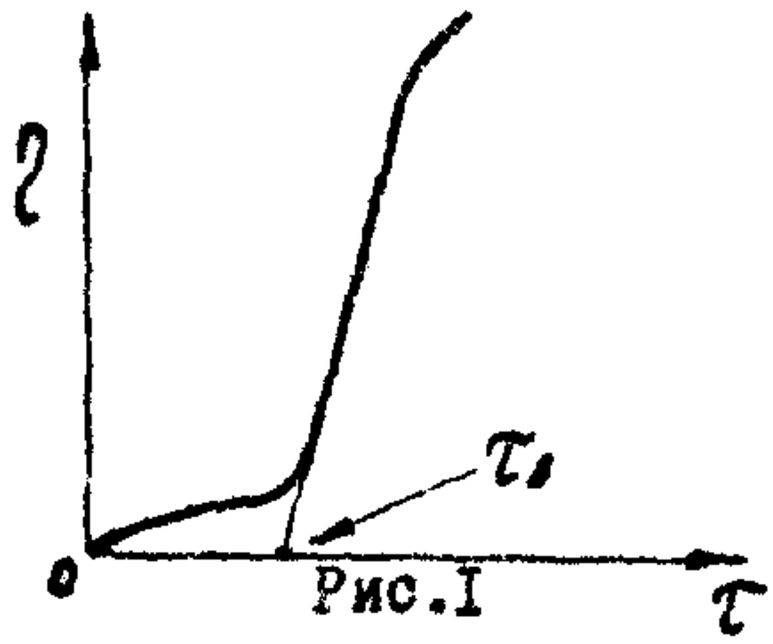


Рис.I

$$\delta_{min} = f(h; \eta; \tau_в; p_р) \qquad (1)$$

Указанная зависимость пока не найдена. В литературе приводится эмпирическая формула для δ_{min} в виде

$$\delta_{min} = \left(\frac{2h}{\mathcal{L}-20} + \frac{1}{2\alpha}\right) мм, \qquad (2)$$

где: h - высота прессуемого изделия, мм.;
$\mathcal{L}$ - текучесть по Рашигу, мм.;
α - удельная ударная вязкость, $\frac{кгс \cdot см}{см^2}$.

В эмпирическую формулу входит удельная ударная вязкость. Это связано с тем, что очень тонкие изделия из реактопластов оказываются неприемлемыми из за хрупкости. Если рассматривать только первое слагаемое эмпирической формулы, то можно отметить прямую зависимость δ_{min} от h и обратную зависимость δ_{min} от текучести $\mathcal{L}$. Текучесть по Рашигу является комплексным показателем, зависящим от коэффициента вязкости η и длительности вязкотекучего состояния $\tau_в$. При этом предполагается, что давление прессования $p_р$ равно давлению, при котором определяется показатель текучести $\mathcal{L}$.

При литье термопластов под высоким давлением минимальная толщина отливаемого изделия δ_{min} определяется на основании опытов,

проводимых непосредственно на литьевой машине с использованием литьевой формы на спираль. Экспериментально установлено, что при отсутствии охлаждения расплава течение в спирали прекращается, когда усилие продавливания уравновешивается сопротивлением течению, возникающим на смачиваемых поверхностях. Математически это условие запишется в виде следующего уравнения:

$$\Delta P_{\varphi} \cdot f_0 = \tau_m \cdot f_{cm} \qquad (3)$$

где: ΔP_{φ} – перепад давления на заполняемом канале;

f_0 – площадь поперечного сечения канала;

τ_m – предельное напряжение сдвига на смачиваемой поверхности канала; f_{cm}.

Согласно уравнению (3) расплавы термопластов ведут себя как бингамовские жидкости. Существует такое предельное напряжение сдвига τ_m, ниже которого течение не наблюдается, т.е. по мере продавливания расплава по каналу величина смачиваемой поверхности f_{cm} возрастает до предельного значения, при котором напряжение сдвига на ней снижается до предела текучести τ_m и течение прекращается.

Для каналов прямоугольного сечения шириной b и высотой δ уравнение (3) будет иметь вид:

$$\Delta P_{\varphi} \cdot b \cdot \delta = \tau_m \cdot (2b + 2\delta) \mathcal{L}$$

Если "b" существенно больше "δ", то пренебрегая вторым слагаемым в скобках, получим :

$$\Delta P_{\varphi} \cdot \delta = \tau_m \cdot 2 \cdot \mathcal{L}; \text{ или } \delta_{min} = \frac{2 \cdot \mathcal{L} \cdot \tau_m}{\Delta P_{\varphi}} \qquad (4)$$

Таким образом в каналах с постоянным сечением длина продавливания $\mathcal{L}$ связана весьма простой зависимостью с перепадом давления ΔP_{φ} и высотой канала δ, которая, как будет показано ниже при рассмотрении расчета литьевых форм, применима при любой конфигурации оформляющей полости, если в качестве длины принимать

кратчайшее расстояние от впуска до наиболее удаленной точки полости. Чтобы найти минимальную толщину конструируемого изделия из условия заполнения формы расплавом надо знать места расположения впусков и допустимые потери давления в формующей полости, т.е. конструирование изделия должно проводиться одновременно с решением других вопросов по конструкции формы.

Расчеты и практика показывают, что тонкостенные изделия охлаждаются сравнительно быстро, т.е. время охлаждения для них $t_{охл}$ соизмеримо с длительностью течения расплава в период заполнения формы $t_з$, поэтому при использовании формулы (4) необходимо учитывать уменьшение величины δ вследствие образования на оформляющей поверхности формы слоя застывшего материала. Ниже будет показано, что в этом случае величина δ_{min} должна увеличиваться за счет образующихся у стенок остывших слоев и формула (4) принимает вид:

$$\delta_{min} = \frac{2 \cdot L \cdot \tau_m}{\Delta P \left(1 - \sqrt{\frac{t_з}{t_{охл}}}\right)} \qquad (5)$$

Формула (5) представляет собой функциональную зависимость (I) для случая заполнения расплавом термопласта полости охлаждаемой литьевой формы. Роль коэффициента вязкости выполняет предел текучести $\tau_т$, а время вязкотекучего состояния характеризуется безразмерной величиной отношения $\frac{t_з}{t_{охл}}$. Согласно этой зависимости минимальная толщина отливаемых изделий может сниматься путем повышения давления литья. Однако, такой путь приводит к неблагоприятным последствиям из-за замораживания высоких напряжений сдвига. Эти явления мало изучены и поэтому отсутствуют какие-либо количественные рекомендации относительно допустимых значений для ΔP.

Для изделий, изготавливаемых другими способами, ограничения по толщине определяются другими причинами. Так рукавные пленки,

изготавливаемые методом экструзии, могут иметь толщину всего в несколько микрон, если помещение, где производится раздув и растяжка пленки, защищено от пыли и воздушных потоков.

Максимальная толщина формуемых изделий для реактопластов лимитируется временем отверждения, а для термопластов - временем охлаждения.

Толщина изделий из реактопластов обычно принимается не более 4мм. Повышать прочность и жесткость изделий путем увеличения толщины стенок нецелесообразно. Это подтверждается результатами испытания брусков, сечение которых показано на рис.2.Брусок №2, имеющий площадь сечения в два раза меньше площади сечения образца №I, при механических испытаниях на изгиб оказывается не менее

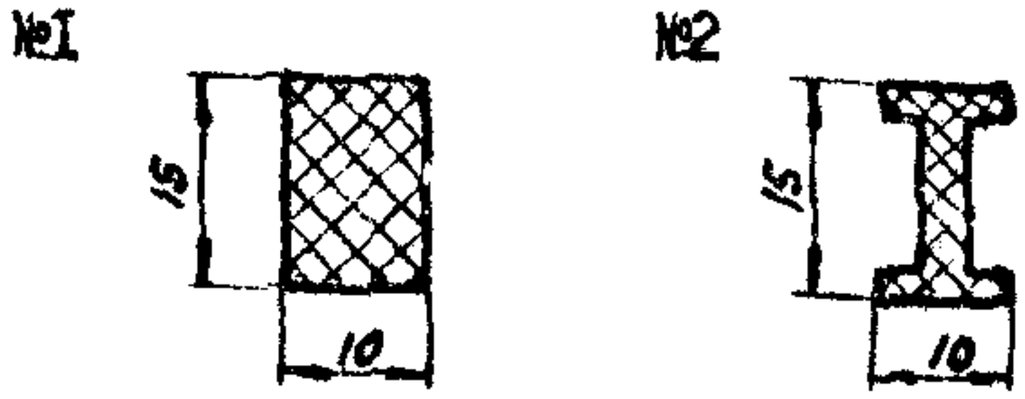
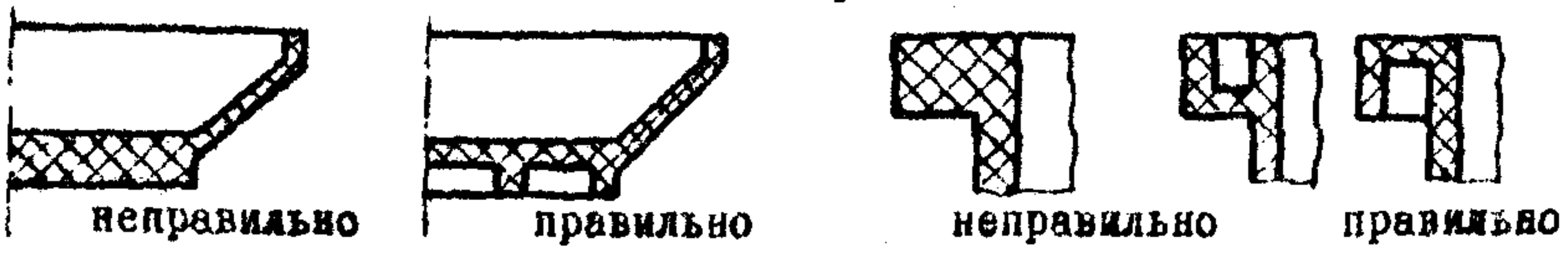


Рис.2

прочным как при статической нагрузке, так и при динамической. Очевидно, что в толстом бруске механические свойства материала оказываются более низкими, т.е. условия отверждения материала в тонком бруске более благоприятны. Из за этого жесткость и прочность изделий повышают не путем увеличения толщины стенки изделия, а с помощью ребер жесткости, выполняя их, по-возможности, равнотолщинными. На рисунке 3 показаны примеры правильных конструктивных решений с применением ребер жесткости вместо массивных толстых стенок, которые обычно бывают у металлических изделий, изготавливаемых механической обработкой.



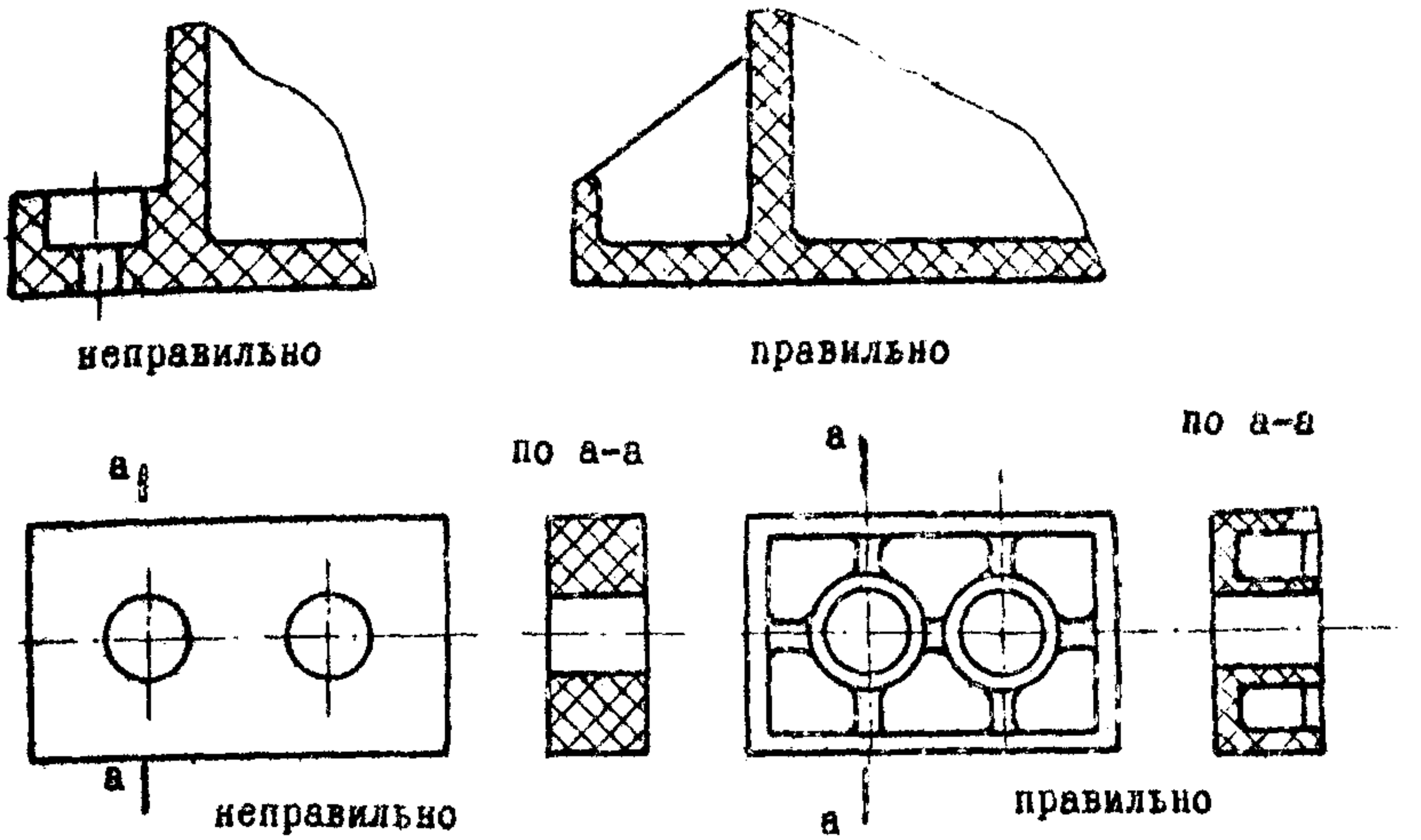


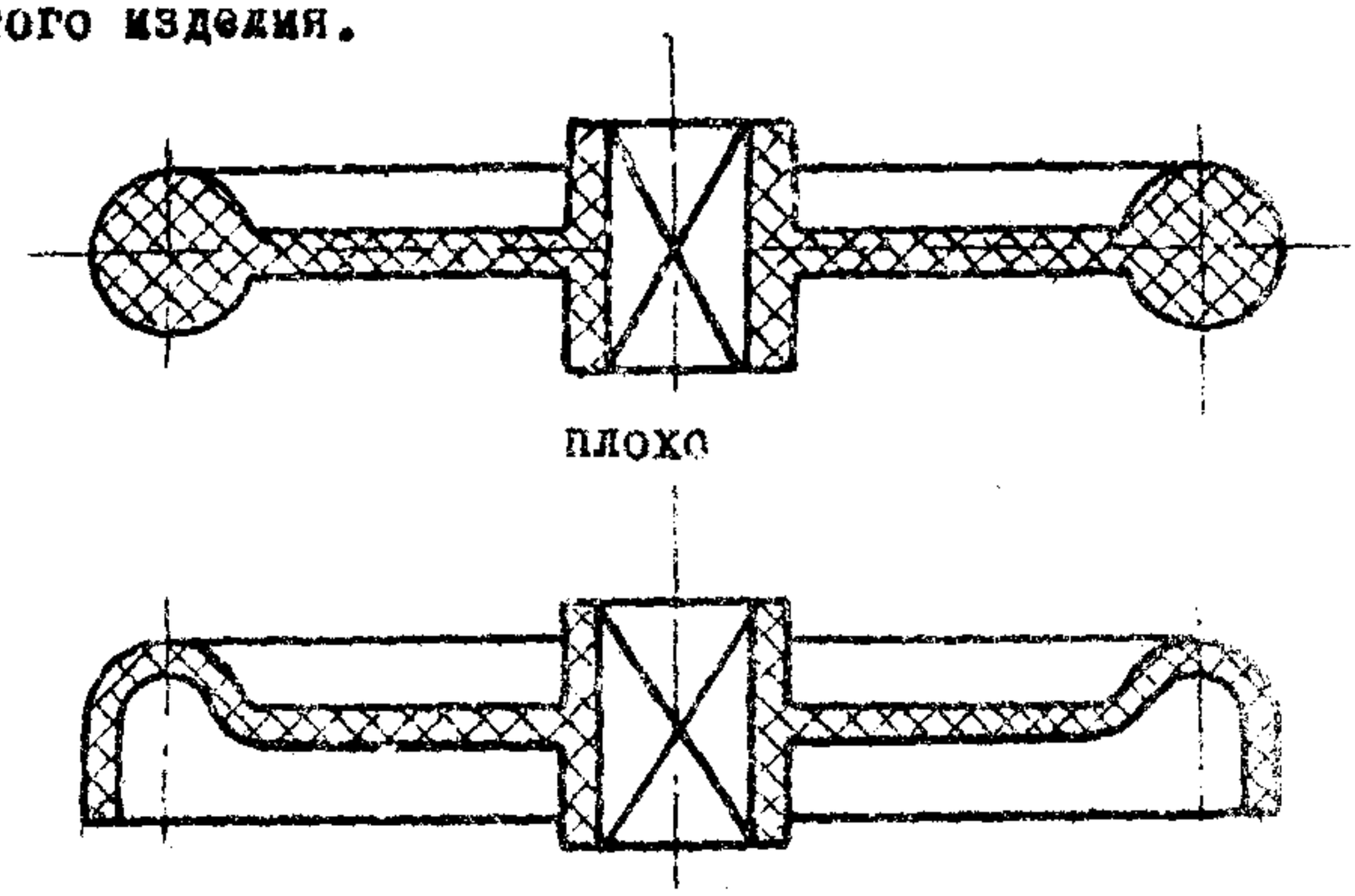
Рис.3

Из приведенных на рис.3 примеров видно, что толстые стенки у изделий, изготавливаемых путем механической обработки (точение, строгание, сверление, фрезерование и т.п.), удается сделать тонкими и достаточно прочными благодаря применению дополнительных ребер, оформление которых не вызывает затруднений при прессовании

Такие конструктивные решения приводят к экономии материала, сокращению цикла прессования и к повышению качества изделий вследствие большей однородности свойств материала в изделии.

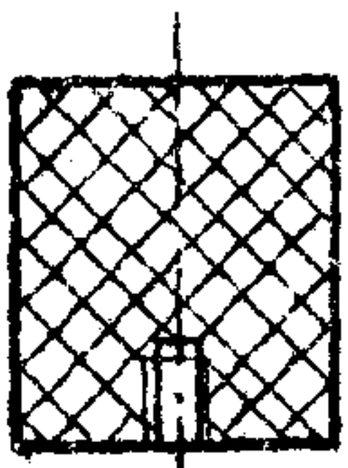
При творческом подходе к вопросам конструирования находят новые, иногда неожиданные решения. Так на рис.4 приведены примеры хороших решений для прессуемых изделий, которые являются необычными для конструкторов, привыкших конструировать изделия из металлов. На последнем примере показано, как массивная нетехнологичная конструкция наконечника рычага может быть выполнена в виде двух технологичных изделий, склеиваемых между собой, на которые будет меньше расходоваться материала и суммарное время

прессования которых будет меньше длительности прессования одного толстого изделия.

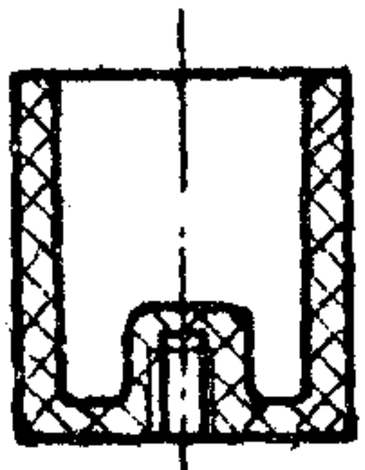


плохо

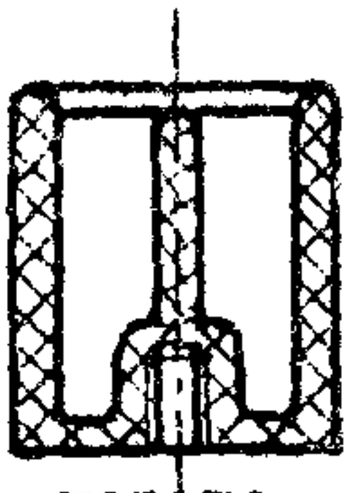
хорошо



плохо



хорошо



хорошо
(конструкция усилена ребрами)



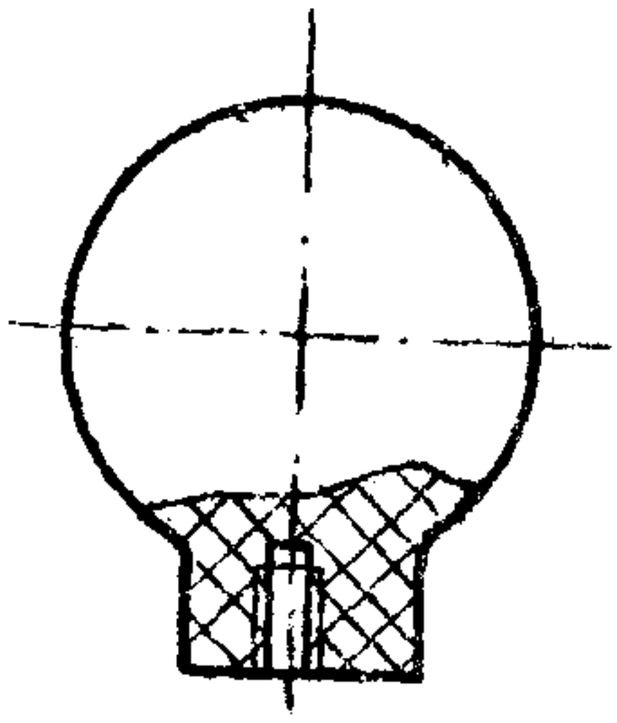
плохо



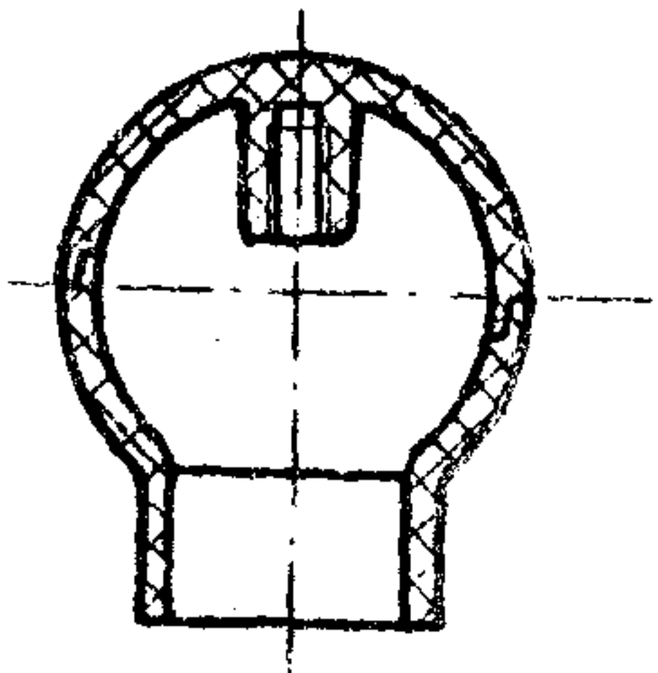
хорошо



хорошо
(конструкция усилена ребрами)



плохо



хорошо

Рис.4

На основании имеющегося опыта конструкрования прессуемых изделий желательно толщину их принимать не более 4мм. и все углы скруглять радиусом, равным от I/4 до 3/4 толщины.

Толщину стенок для отливаемых изделий также нежелательно делать очень большой. В местах утолщений могут возникать дефекты в виде так называемых утяжин и раковин. Утяжины,- т.е. вмятины на поверхности, возникают тогда, когда образующаяся в процессе охлаждения поверхностная корка не достаточно жестка, чтобы сдерживать силы, возникающие внутри материала вследствие его усадки. В противном случае, когда поверхностная корка имеет высокую жесткость, вследствие усадки охлаждающегося материала внутри его могут образоваться пустоты, хорошо наблюдаемые в изделиях из прозрачных материалов в виде пузырьков.

Указанные дефекты возникают в изделиях сложной конфигурации, имеющих углы, края, ребра. В плоской плите больших размеров такие дефекты заметны только вблизи краев. В середине же они не могут появиться. Однако, здесь вследствие усадки при охлаждении также наблюдаются остаточные напряжения, величина которых может быть рассчитана по следующей теоретической формуле:

$$\sigma_{тер} = -\frac{2}{3}\cdot\alpha\cdot E\,(t_т - t_ф)\cdot\left(6\cdot\frac{y^2}{\delta^2} - \frac{1}{2}\right) \qquad (6)$$

где: α - коэффициент линейного температурного расширения;

E - модуль упругости материала в твердом состоянии;

$t_т$ и $t_ф$ - температура отвердевания (текучести) и температура формы;

δ - толщина изделия;

y - расстояние от середины сечения до рассматриваемой точки.

На поверхности изделия при $y = I/2\,\delta$ напряжения равны

$$\sigma_{тер} = -\frac{\varepsilon}{3}\cdot\alpha E\,(t_т - t_ф) \qquad (7)$$

В середине толщины изделия $y = 0$ и

$$\sigma_{max\,p} = \frac{1}{3}\alpha \cdot E\,(t_n - t_p) \qquad (8)$$

Таким образом, на поверхности изделия создаются напряжения сжатия, а в середине толщины - растягивающие напряжения.

Резкое охлаждение, когда $(t_n - t_p)$ - велико, приводит, согласно этим формулам, к возникновению очень высоких напряжений. Однако раздельные напряжения в полимерных материалах всегда будут несколько ниже теоретических вследствие релаксации, поскольку они охлаждаются медленно из-за низкой теплопроводности. У отливаемых изделий экспериментально измеряемые напряжения менее 50% от теоретических.

Интересно то, что уровень теоретических температурных напряжений не зависит от толщины стенки. Следует полагать, что с повышением толщины стенки, при прочих равных условиях, действительные температурные напряжения снижаются из-за более длительного охлаждения, сопровождающегося более полной релаксацией напряжений. Тем не менее, на универсальных литьевых машинах не изготавливают изделия с толщиной стенок более 10мм. Это невыгодно из-за удлинения цикла литья. Усадочные дефекты вообще можно полностью устранить в любых изделиях, правильно подбирая места для расположения впусков и осуществляя подогрев литников для того, чтобы можно было обеспечить подпитку расплавом утолщенных участков на протяжении периода их охлаждения. На практике такие сложные литьевые формы применяют редко, предпочитая разрабатывать для литья толстостенных изделий специализированные литьевые машины, конструкция которых существенно упрощается, поскольку отпадает необходимость применять высокое давление.

У изделий, изготавливаемых другими способами, максимальная толщина определяется своими особыми условиями формования, которые

здесь не рассматриваются. Заметим, например, что при экструзии очень толстых профилей вместо отвода сформованного изделия появляется необходимость торможения его. При пневмо-вакуумном формовании и при экструзии с раздувом толщина изделий ограничивается тем, что форма разогретой заготовки материала может нарушаться под действием собственного веса.

I.2. Требования к конструкции изделия, связанные с разъемом формы и условиями извлечения изделия из формы.

Наиболее технологичной считается такая конфигурация изделия, которая позволяет извлечь его из формы при одной плоскости разъема. При этом у прессуемого изделия размер в направлении прессования желательно иметь наименьшим; у отливаемого изделия должна учитываться возможность наиболее рационального расположения литниковых каналов. В этом отношении конструкции, представленные на рис. 3 и 4, не вызывают возражений. Если же у изделий имеются боковые отверстия, или уступы, как показано на рис.5, то извлечь его из формы при одной плоскости разъема не удается. Прежде, чем принимать решение о конструировании сложной формы с дополнительными разъемами, следует попытаться видоизменить конфигурацию изделия так, чтобы форма, по-возможности, упростилась. Поиски такого решения требуют изобретательности. На рис.5 показаны варианты удачного решения конструкции коробки с боковыми окнами и сосуда с боковым штуцером. Сделанные изменения в конструкциях не нарушают эксплуатационных характеристик этих изделий, а с точки зрения технологичности они выигрывают весьма значительно.

В первых вариантах показанных конструкций изделий требуются дополнительные разъемы у формы, чтобы извлечь из нее изделие. Конструкция формы и работа на ней усложняются. Во втором варианте

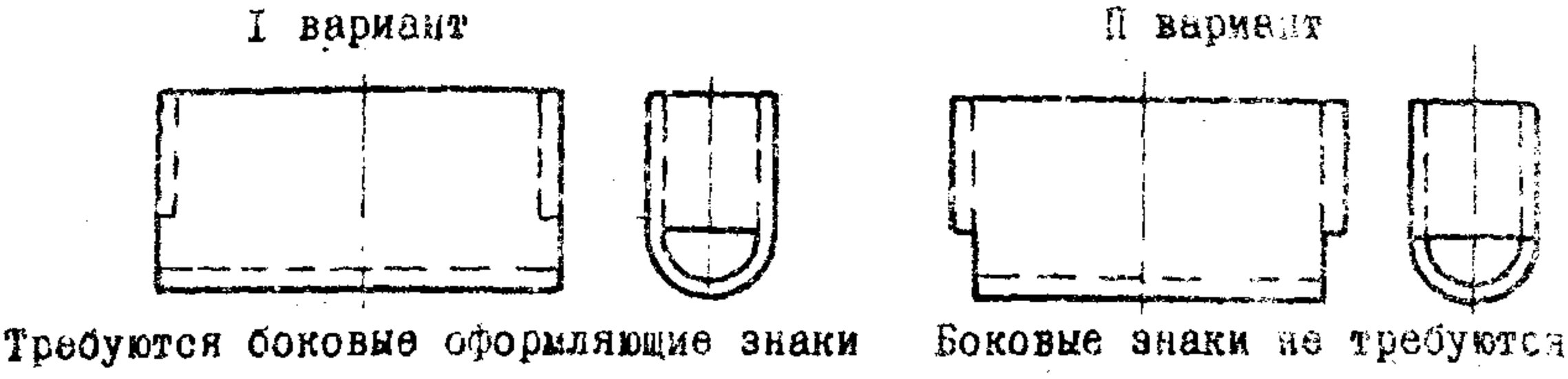


Рис.5

для коробки нужен только один разъем у формы, а для сосуда со штуцером достаточно иметь один разъем и боковой круглый знак.

Иногда при разработке конструкций сложных изделий, представляется целесообразным вместо одного сложного изделия делать два простых с последующим соединением их путем склеивания или другим каким-либо способом.

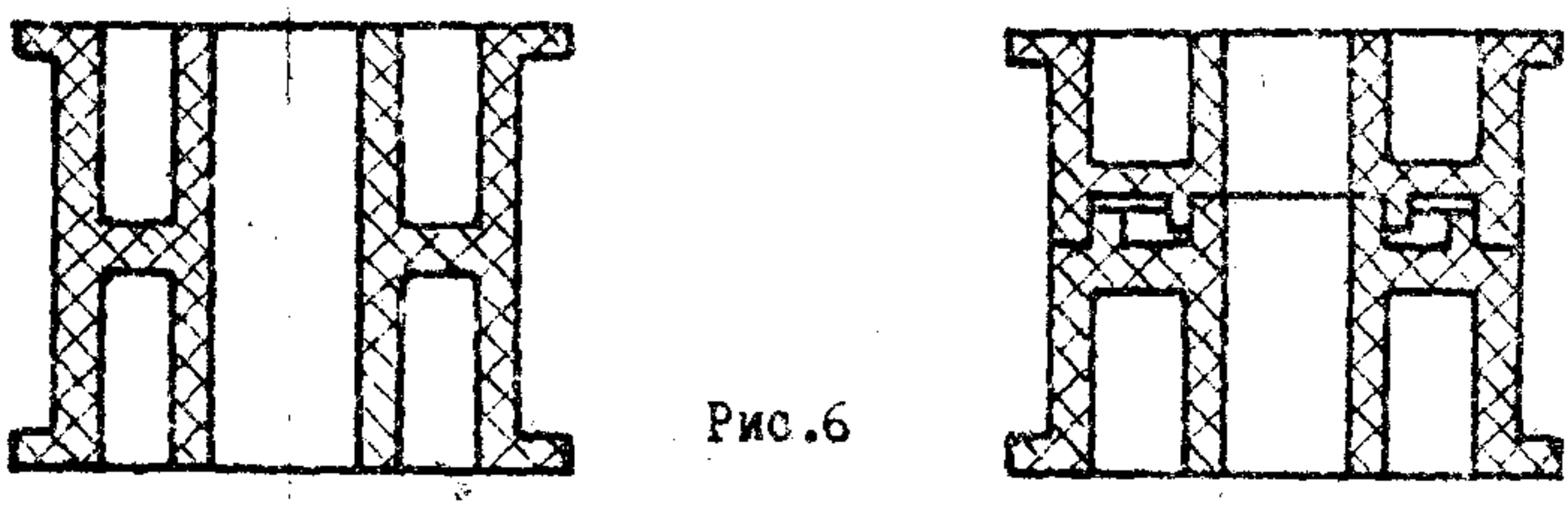


Рис.6

На рис.6 представлены два варианта конструкций ролика. По первому варианту он прессуется за один прием. Для этого нужна сложная форма с двумя разъемами. Если принять конструкцию по второму варианту, то вместо одного сложного изделия нужно будет изготавливать два более простых в формах с одним разъемом. Затем

эти два изделия сливаются, как показано на чертеже. Какой из вариантов лучше можно установить только путем соответствующего экономического расчета. Для этого надо сопоставить производительность труда работающего на одной сложной форме с разъемными матрицами с производительностью труда работающего на двух простых формах. Может оказаться, что работа на двух формах более производительна, если использовать возможность полной механизации процесса прессования, что затруднительно сделать на форме с двумя разъемами.

Отрабатывая технологичность конструкции изделия желательно заранее предвидеть в какой части размыкающейся формы будет оно удерживаться. Большая неопределенность в этом вопросе возникает для прессуемых изделий, поскольку из-за отсутствия охлаждения перед раскрытием формы трудно угадать на каком участке формы будет сильнее прилипание. Принято считать, что прессуемое изделие остается там, где больше поверхность, т.е. в той части формы, в которой имеется больше уступов, впадин и других неровностей. Однако, большее значение имеет не величина площади поверхности, а ее форма. Так на цилиндрической поверхности удерживающие силы значительно больше, чем на конусной.

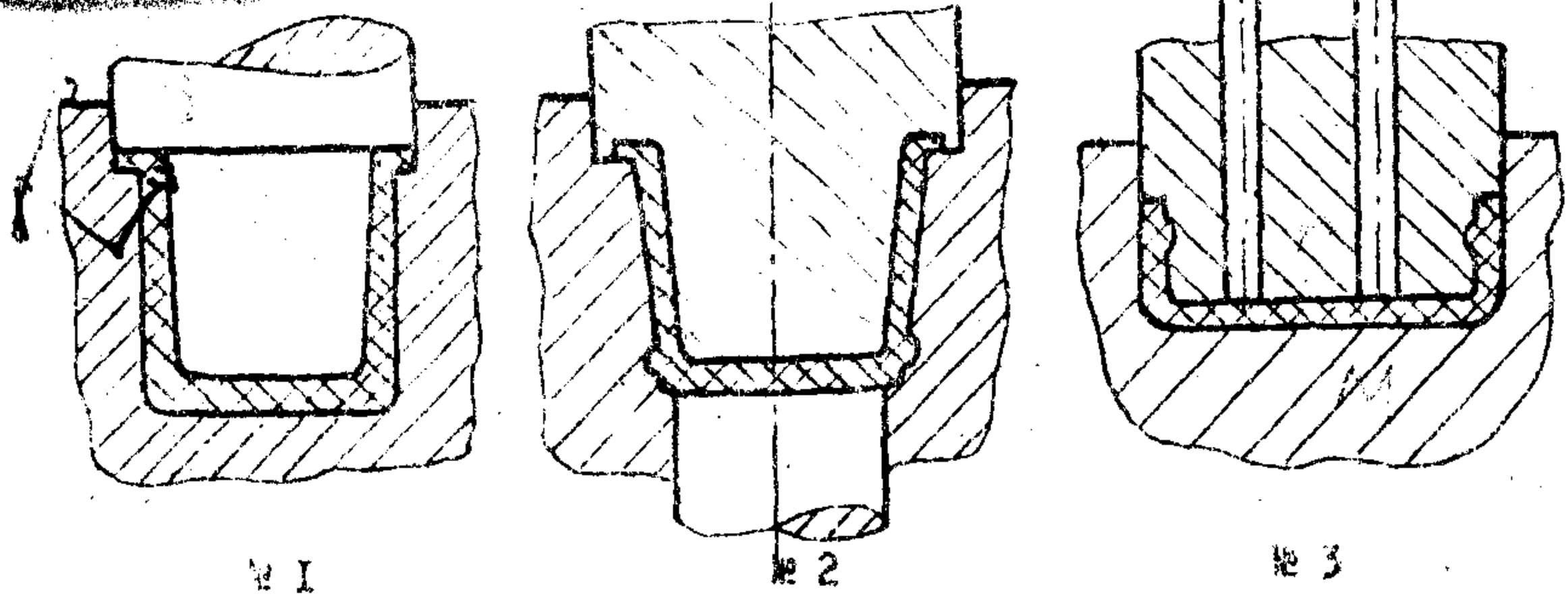


Рис. 7

Это успешно используется конструкторами, предусматривающими на всех поверхностях, на которых не должно удерживаться изделие, так называемые технологические уклоны в пределах 0,25-I°. На рис.7 (пример №I) приведена типичная конструкция изделия, остающегося во время разъема пресс-формы в матрице благодаря конусности пуансона при цилиндрической матрице. Обычно в этих случаях нет необходимости применять выталкиватели для извлечения изделия из матрицы. Оно легко выдувается сжатым воздухом, применяемым для обдувки пресс-формы, поскольку охлаждаемое изделие вследствие усадки отходит от стенки матрицы и между ними образуется зазор, через который проникает сжатый воздух и поднимает изделие. Величина конусности и уклонов может быть небольшой, так при малой высоте изделия разность размеров на наклонной поверхности укладывается в пределы допуска на соответствующий размер. На практике рекомендуют принимать углы наклона на наружных поверхностях 0,25-I°, на внутренних - 0,5-2° и на ребрах - 2-I5°.

Второй пример на рис.7 иллюстрирует случай, когда изделие по своему назначению должно быть конусным как снаружи, так и изнутри. Для того, чтобы гарантировать удерживание изделия в матрице, на нем снаружи сделан маленький кольцевой уступ. При выталкивании изделия оно деформируется (сжимается) на величину, равную высота этого уступа. На чертеже изделия уступ должен обозначаться как технологический с указанием места расположения его. Высота уступа устанавливается расчетным путем, или на основании практических данных, при конструировании формы. Обычно она берется в зависимости от размеров изделия в пределах 0,03-0,5мм.

Если на наружной поверхности проектируемого изделия неровности не допустимы, то удерживающий уступ выполняют на пуансоне, как показано на примере №3 того же рисунка. При таком решении

изделие придется стаскивать с пуансона, например с помощью ни-

Литьевые изделия, как правило, удерживаются на охватываемых поверхностях, так как вследствие усадки, появляющейся при охлаждении, изделие плотно прижимается к этим поверхностям и между ними возникают соответствующие силы трения. При формовании длинномерных изделия сила трения достигает таких значений, при которых стаскивание становится затруднительным,- изделие может разрушиться. В этом случае необходим соответствующий расчет уже на стадии конструирования изделия.

Для общности рассмотрим изделие, имеющее сечение внутренней полости в виде правильного многогранника с N гранями. На рис.8 показана часть сечения, расположенная на двух смежных гранях. Вследствие усадки материала в стенках изделия возникают тангенциальные напряжения σ_t и создается давление между изделием и формующей поверхностью, оцениваемое некоторым средним значением p.

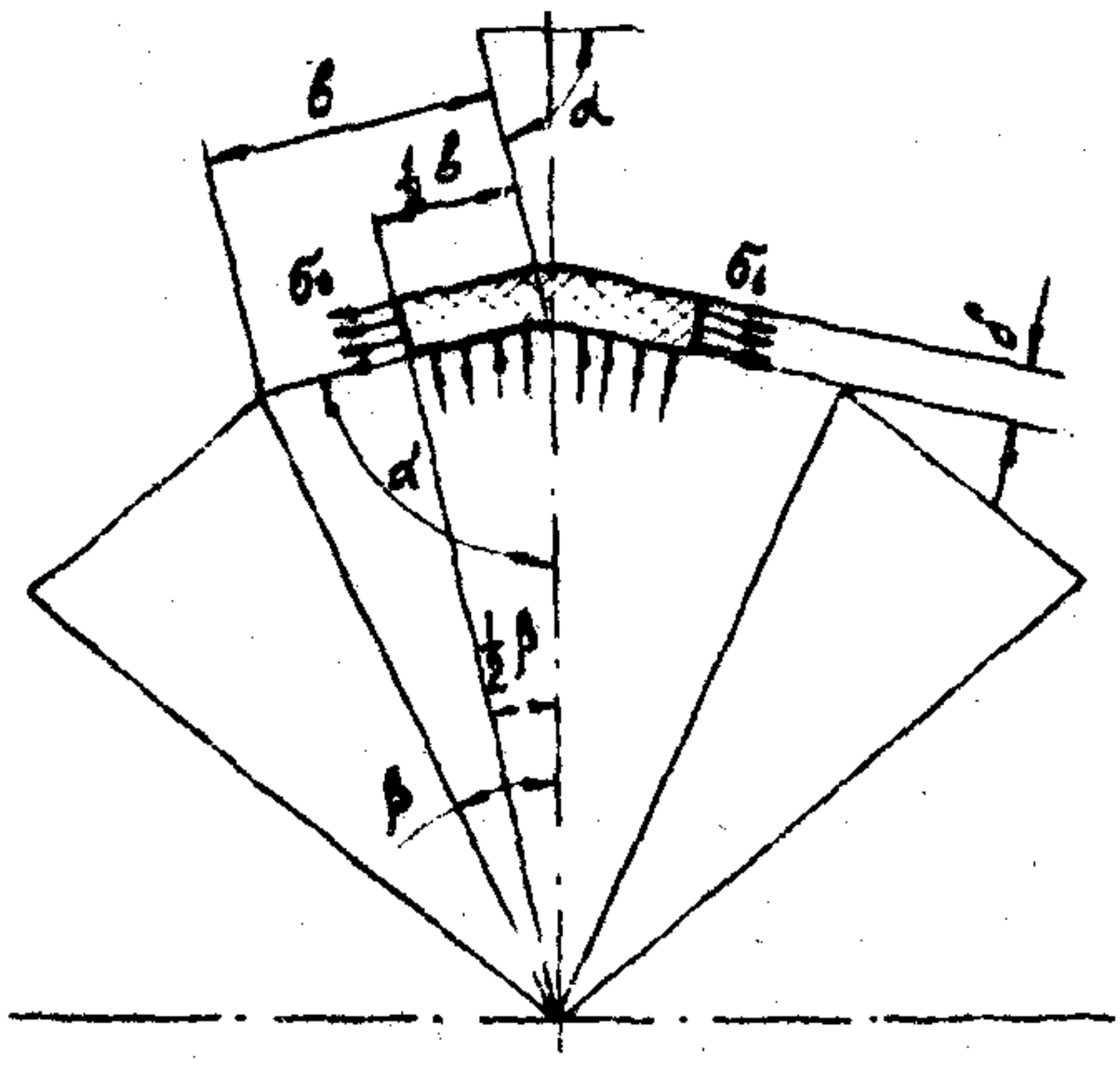


Рис.8

Изделие длиной ℓ с шириной внутренней грани b (см.рис.8) будет снимать все N граней охватываемой поверхности с силой P,

равной

$$T = p \cdot l \cdot b \cdot \mu ,$$

а сила трения на гранях между изделием и охватываемой деталью формы Q_p определится по формуле:

$$Q_p = T \cdot n = p \cdot l \cdot b \cdot N \cdot \mu , \qquad (9)$$

где: μ – коэффициент трения между изделием и формующей деталью

Величина давления p находится из условия равновесия сил, действующих на рассматриваемый участок изделия. Так сумма проекций этих сил на вертикальную ось дает $\frac{b}{2} \cdot p \cdot \sin\alpha - \sigma_t \cdot \delta \cdot \cos\alpha = 0$

откуда получим $p = \sigma_t \cdot \frac{2\delta}{b} \cdot \operatorname{ctg}\alpha$

Угол α можно выразить через центральный угол многогранника β, пользуясь следующими соотношениями:

$$2\alpha + \beta = \pi \quad и \quad \beta = \frac{2\pi}{N}$$

из которых следует $\alpha = \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{N}$

Охлаждение изделия в форме происходит сравнительно быстро, поэтому пренебрегая релаксационными явлениями, будем выражать тангенциальные напряжения σ_t, согласно закону Гука, через произведение коэффициента усадки K на модуль упругости E.

Подстановка перечисленных величин в формулу (9) и соответствующие преобразования дают:

$$Q_p = 2 \cdot N \cdot \operatorname{tg}\frac{\pi}{N} \cdot K \cdot E \cdot \delta \cdot l \cdot \mu \qquad (10)$$

Согласно выведенной формуле сила трения Q_p и равное ей усилие охлаждения изделия не зависят от размеров поперечного сечения многогранника, а зависят от его длины, толщины, числа граней и свойств материала, характеризуемых величинами K, E и μ.

Влияние числа граней на силу трения представлено в таблице в виде зависимости множителя $2N\operatorname{tg}\frac{\pi}{N}$ от N.

Число граней	3	4	5	6	10	20
Значение члена $2N\sin\frac{\pi}{N}$	10,4	8	7,3	6,9	6,5	6,32

Из таблицы видно как уменьшается множитель $2N\sin\frac{\pi}{N}$ с увеличением числа граней многогранника. Для цилиндра $N=\infty$ и $\sin\frac{\pi}{N}=0$, т.е. множитель становится неопределенным. Применяя правило Лопиталя для раскрытия неопределенности, можно показать, что

$$\lim_{N\to\infty} 2N\sin\frac{\pi}{N}$$

и формула (10) для круглых сечений принимает следующий вид:

$$Q_{кр} = 2\pi \cdot \kappa \cdot E \cdot \delta \cdot \ell \cdot N \qquad (11)$$

При сталкивании изделия по всей площади поперечного сечения в нем возникнут сжимающие напряжения, разные для многогранника

$$\sigma_{гр} = \frac{Q_{гр}}{\Pi} = \frac{2N\cdot\sin\frac{\pi}{N}}{\Pi}\cdot\kappa\cdot E\cdot\ell\cdot N \qquad (12)$$

и для цилиндра

$$\sigma_{кр} = \frac{Q_{кр}}{\Pi\cdot d\cdot\delta} = \frac{2}{d}\cdot\kappa\cdot E\cdot\ell\cdot N \qquad (13)$$

где: Π - длина периметра сечения многогранного изделия по средней линии;

d - средний диаметр круглого изделия.

Из формул (10) и (11) вытекают интересные выводы. Усилие сталкивания не зависит от размеров поперечного сечения изделия и возрастает пропорционально его толщине и длине. Напряжения сжатия при сталкивании, согласно формулам (12) и (13), не зависят от толщины и возрастают с уменьшением поперечных размеров изделия, т.е. мелкие изделия при прочих равных условиях более повреждаемы во время выталкивания. Чтобы изделие сталкивалось без повреждений, напряжения сжатия не должны превышать допустимых значений $\sigma_д$.

Согласно формуле (13) это условие можно записать в виде:

$$\frac{\ell}{d} < \frac{\sigma_д}{2\cdot\kappa\cdot E\cdot N} \qquad (14)$$

В правую часть написанного неравенства входят только величины, характеризующие свойства материала. Таким образом, для каждого материала существует предельная глубина отливки, выше которой становится затруднительным съем изделия с пуансона. На практике при съеме с пуансона глубоких изделий стремятся уменьшить возникающее усилие применением смазки (уменьшение μ) и не допускают глубокого охлаждения изделия в форме, чтобы в момент выталкивания иметь небольшие значения K и E.

Вопросы выталкивания и съема изделия окончательно решаются при конструировании литьевой формы, а при конструировании изделия приходится анализировать возможные варианты извлечения изделий с целью предусмотреть места расположения выталкивающих деталей, чтобы сделать эти участки более прочными и жесткими. На рис.9 показаны некоторые варианты оформления мест расположения выталкивателей.

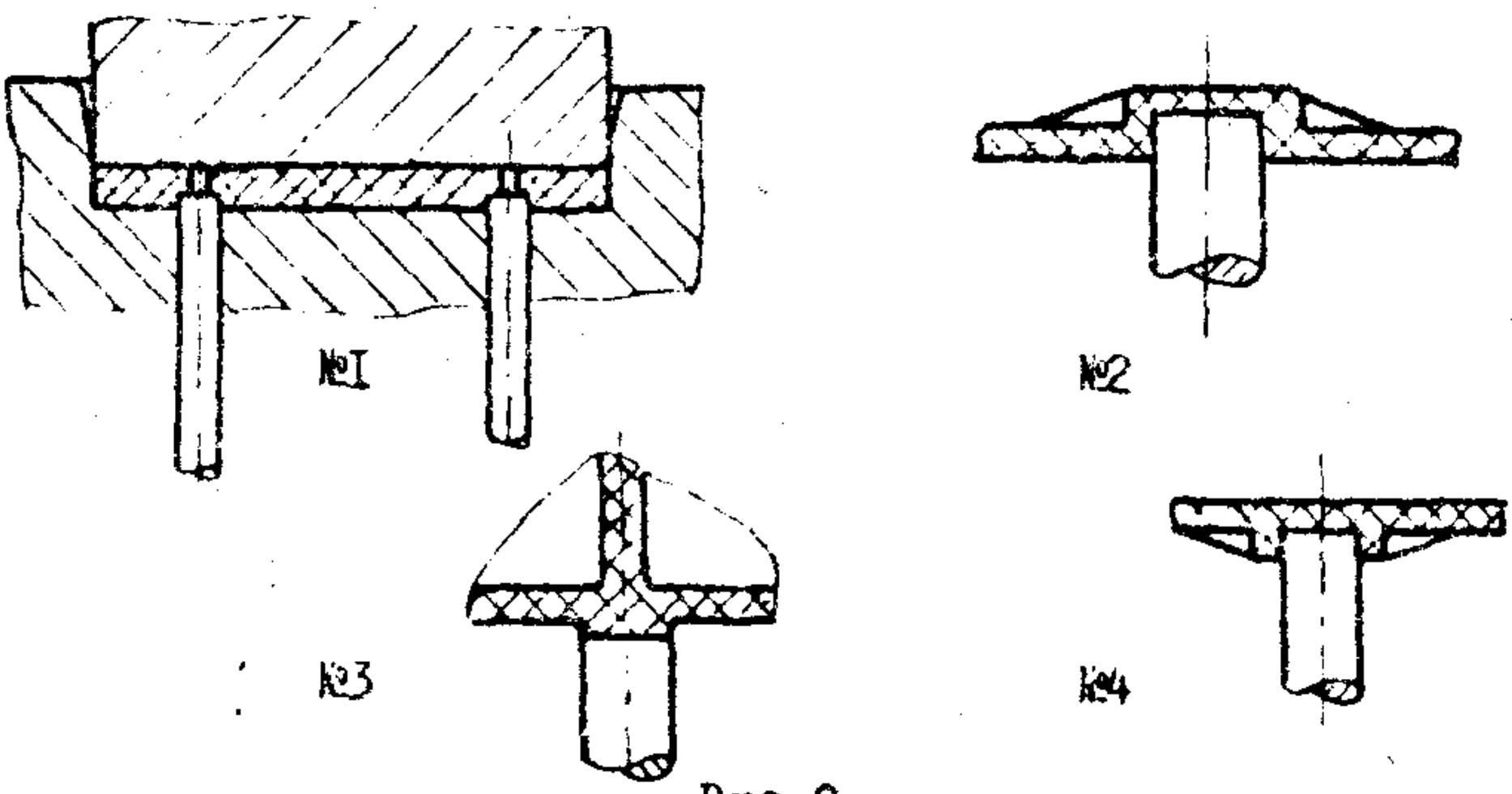


Рис.9

На примере №1 выталкиватели используются для оформления отверстий. На примере №2 показано упрочнение места действия выталкивателя, а в примере №3 для упрочнения используется ребро изделия. Упрочнение иногда создают на внешней стороне изделия, как показано на примере №4. Если возникают опасения относительно прочности донышка изделия, то выталкиватель делают таким, как

показанс на рис.7 (пример №2), т.е. увеличивают его размеры так, чтобы края находились под вертикальной стенкой.

I.3. Требования к конструкции изделия, связанные с оформлением отверстий, резьб и надписей.

Глалкие отверстия у изделия стремятся располагать параллельно друг другу так, чтобы можно было оформлять их шпильками, извлекаемыми при разъеме формы. В случае невозможности выполнить это при работе формы возникают дополнительные операции, механизация которых вызывает соответствующие усложнения. Наличие в изделии резьбовых отверстий приводит к еще большим усложнениям из-за необходимости удалять резьбовые знаки (оформляющие резьбу), путем вывинчивания. Любые отверстия могут быть сделаны в готовом изделии механическим путем, однако, к этому прибегают в крайних безвыходных ситуациях, поскольку как сверление отверстий, так и нарезание в них резьб требуют больших затрат ручного труда по сравнению с формованием. Механическую обработку применяют в следующих случаях:

I) Сверление отверстий малого диаметра и большой длины, когда оформление их шпильками невозможно из-за недостаточной жесткости последних.

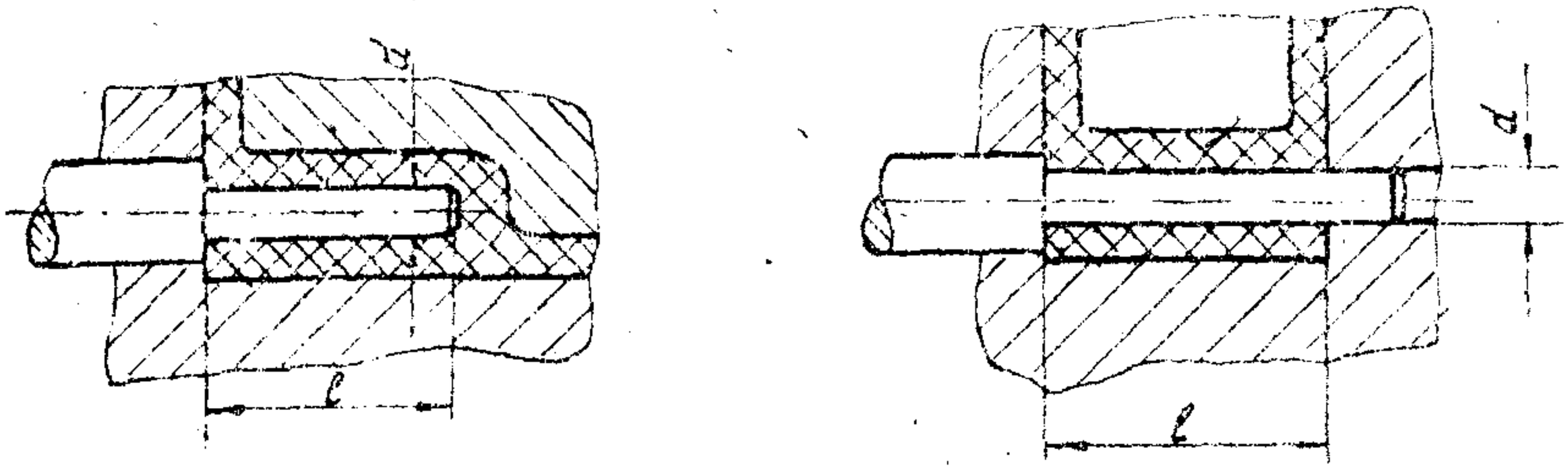
2) Нарезание резьб в отверстиях диаметром менее 4мм.

3) Нарезание наружных резьб диаметром менее I0мм.

4) Нарезание резьб в изделиях из волокнистых и слоистых материалов.

5) Удаление заусенцев, образующихся на изделиях в местах разъема формы.

Формуемые в изделиях отверстия могут быть глухими и сквозными, как показано на рис.I0.



глухое отверстие сквозное отверстие

Рис.10

При горизонтальном расположении отверстий формующие шпильки в условиях прессования под действием давления ΔP_ϕ подвергаются изгибу. Путем преобразования формул, применяемых для расчета прогиба консольной балки и балки опертой на концах под действием равномерно распределенной нагрузки, создаваемой давлением прессования ΔP_ϕ, получат следующие расчетные формулы для предельных значений ℓ:

В глухих отверстиях $$\ell \leq \sqrt[4]{\frac{E \cdot \Pi \cdot f_{max} \cdot d^3}{8 \cdot \Delta P_\phi}} \qquad (15)$$

В сквозных отверстиях $$\ell \leq \sqrt[4]{\frac{6 \cdot E \cdot \Pi \cdot f_{max} \cdot d^3}{5 \Delta P_\phi}} \qquad (16)$$

Величина f_{max} в этих формулах представляет собой предельное значение прогиба оформляющей шпильки, при котором нарушается нормальная работа формы. Для диаметров отверстий d = 4-50мм может допускаться значение f_{max} = 0,004÷0,006 см.

Шпильки, оформляющие вертикальные отверстия, находятся в более благоприятных условиях. Если для их расчета воспользоваться теми же формулами, то величину давления прессования ΔP_ϕ следует брать с коэффициентом 0,5 для глухих отверстий и с коэффициентом 0,1 для сквозных отверстий.

В литьевых формах оформляющие отверстия шпильки находятся еще в более благоприятных условиях. Несмотря на высокое давление *рабочую полость*
создаваемое поршнем литьевой машины, у входа в форму оно сравни-

стельно невелико, т.е. меньше, чем в пресс-формах, поскольку основные потери давления происходят в каналах литниковой системы. К тому же не все давление ΔP_φ, необходимое для заполнения полости формы согласно уравнению (3), воспринимается шпилькой, стоящей на пути потока. Это давление развивается у входа в форму в последний момент ее заполнения и воспринимается боковыми стенками через сдвиговые напряжения. На шпильку действует только сила, создающаяся от перепада давления в потоке на участке обтекания шпильки. Строгий расчет значения этого перепада давления, которое следует подставлять в формулы (I5) и (I6), весьма сложен. Ориентировочно, делая ошибку в сторону запаса, можно принимать перепад давления равным ΔP_φ, если шпилька находится вблизи входа в полость формы. По мере удаления шпильки от входа он будет уменьшаться в соответствии с потерями давления по пути течения расплава. Такой расчет можно выполнить только после расчета литниковой системы литьевой формы, когда станет известна величина ΔP_φ. Указанное дополнительно подтверждает взаимную связь конструкций изделия и формы, обуславливающую необходимость согласованных решений.

Формулы (I5) и (I6) отражают условия жесткости формующих шпилек. По условию их прочности, согласно формулам сопротивления материалов, должны выполняться следующие соотношения

В глухих отверстиях $$\ell \leq d\sqrt{\frac{\pi \cdot \sigma_u}{16 \cdot \Delta P_\varphi}} \qquad (17)$$

В сквозных отверстиях $$\ell \leq d\sqrt{\frac{\pi \cdot \sigma_u}{8 \cdot \Delta P_\varphi}} \qquad (18)$$

Прочность материала формующих шпилек оценивается в этих формулах величиной допустимых напряжений при изгибе - σ_u.

Рассматривая (I5) совместно с (I7), а (I6) совместно с (I8), найдем условия, при которых оформление отверстия лимитируется жесткостью формующей шпильки.

В глухих отверстиях $\frac{E \cdot \lambda_{max} \cdot \Delta P_p}{\pi \cdot d \cdot \sigma_u^2} < \frac{1}{32}$ (19)

В сквозных отверстиях $\frac{E \cdot \lambda_{max} \cdot \Delta P_p}{\pi \cdot d \cdot \sigma_u^2} < \frac{5}{384}$ (20)

Практика показывает, что в большинстве случаев формование длинных отверстий лимитируется жесткостью формующих шпилек, поэтому пользуются формулами (I5) и (I6), а затем производят проверку на условия (I9) и (20).Если эти условия не выполняются, т нужна дополнительная проверка по формулам (I7) и (I8). Очевидно длина отверстий будет лимитироваться прочностью шпилек при малы значениях d и σ_u и больших значениях E ; λ_{max} и ΔP_p .

Сечение гладких формуемых отверстий может иметь любую геометрическую форму и это не вызывает каких-либо осложнений в технологии прессования и литья. Приведенные выше расчетные формулы применимы только для круглых отверстий. Для отверстий другого сечения могут быть выведены аналогичные формулы путем подстановки в исходные формулы сопритивления материалов соответствующих выражений момента инерции, или момента сопротивления.

Резьбы у пластмассовых изделий при многократном завинчивании металлических деталей быстро ломаются. Поэтому резьбовые соединения металла с пластмассой применяют в неразъемных конструкциях. Резьбовые соединения пластмассы с пластмассой достаточно устойчивы в разъемных соединениях, но не обладают высокой прочностью. Если требуется высокопрочное разъемное соединение, то в пластмассовые изделия запрессовывают арматуру.

Оформление резьбовых отверстий и наружных резьб связано с дополнительными операциями вывинчивания резьбовых знаков из готового изделия, что конструктивно решается при разработке конструкции формы. На рис.II показано оформление резьб на чертеже изделия с учетом особенностей конструкции резьбового знака.



Изделие с наружной резьбой Изделие с резьбовым отверстием

Рис.II

Резьба, оформляемая с помощью резьбового знака, может, например, не иметь сбега. С целью удобства завинчивания резьб и предотвращении сколов на заходных участках делают фаски.

Наружные резьбы больших диаметров часто выполняют в разъемных матрицах и вместо операции по свинчиванию знака появляется операция по разъему матрицы. На чертеже изделия это может не найти отражения. Если же по характеру работы изделия следы от разъема матрицы на резьбе недопустимы, то это должно оговариваться.

На прессуемых и отливаемых изделиях хорошо оформляются буквы и цифры в виде выступов или впадин, как показано на рис.I2

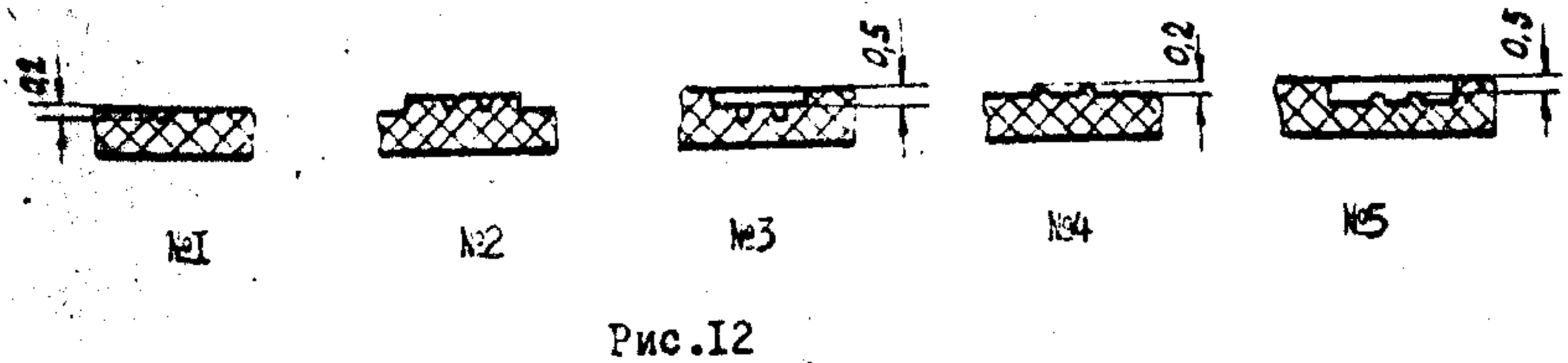


Рис.I2

С точки зрения эксплуатации изделия знаки в виде впадин (см.пример №I; №2; №3) имеют преимущества - они не стираются и могут закрашиваться. Чтобы сделать знаки более наглядными, их выполняют иногда на выступах, или в углублениях. Для получения таких знаков на изделии у формы должны иметься обратные изображения их в виде соответствующих выступов, изготовление которых

связано с трудоемкой высококвалифицированной ручной работой.

Значительно легче, т.е. с меньшими затратами труда, реализуются знаки на изделиях в виде выступов (см.примеры №4 и №5). В этом случае у формы делаются соответствующие впадины путем выдавливания с помощью твердого инструмента и молотка. Чтобы выступающие знаки не мешали на поверхности изделия, их иногда углубляют, как показано на примере №5.

В изделиях, изготовливаемых методами формования из заготовок методом экструзии отверстия получают путем вырубания их за одну стадию с формованием, если это невозможно, то вырубанием в готовом изделии. Знаки на изделиях наносятся в процессе формования на стадии, когда материал находится в размягченном состоянии.

I.4. Требования к конструкции изделий с учетом механической обработки их.

Механическая обработка у формуемых изделий является всегда нежелательной операцией, поэтому уже на стадии разработки конструкции необходимо думать о том, чтобы она полностью исключалась, или была по- возможности сокращена и облегчена.

В прессуемых изделиях механическая обработка требуется для удаления грата и зачистки мест его расположения. Наличие грата у прессуемых изделий неизбежно, поэтому полностью исключить механическую обработку нельзя и задача сводится к тому, чтобы свести ее к минимуму. У изделий простой конфигурации грат удаляют голтовкой, т.е. изделия загружают в голтовочный барабан вместе с кусками мягкого материала, например, дерева и вращают его на протяжении определенного времени. Таким путем грат отламывается от изделий. Иногда в том же барабане после голтовки производят полировку, загружая в него изделия вместе с полиру-

ными материалами.

При строгих требованиях к внешнему виду изделий место расположения грата обрабатывают механически резцом или абразивом с последующей полировкой. Для этого применяют специальные станки автоматы и полуавтоматы. Применение такой обработки накладывает определенные требования к конструкции изделий, которые иллюстрируются рядом примеров, приведенных на рис.13. Пример №1 показывает, что с целью облегчения механической обработки грата иногда целесообразно предусматривать небольшие уступы, благодаря которым предотвращается царапание расположенной рядом с гратом поверхности. На примере №2 показано как можно улучшить механическую обработку путем изменения расположения плоскости разъема. Грат на выступах срезается с меньшим повреждением поверхности, чем в случае расположения его на плоскости.

Весьма нежелательно располагать грат по сложному контуру, как показано на примере №3 слева. Надо стремиться видоизменять такие конструкции, обеспечивая расположение грата, например, по окружности. Технология прессования позволяет выполнять глухие пазы вместо привычных сквозных, изготавливаемых механической обработкой. Удачное использование этой особенности технологии прессования показано на примере №3 справа.

У литых изделий, изготавливаемых в правильно сконструированных формах на исправных литьевых машинах, не бывает грата. Оставшийся на изделии по плоскости разъема след не требует механической обработки. Это считается одним из существенных преимуществ процесса литья перед прессованием. Механическая обработка литых изделий сводится к отрезанию литника и зачистке места среза. С применением точечных впусков механическая обработка полностью устраняется, если удачно выбрано место их расположения и нет

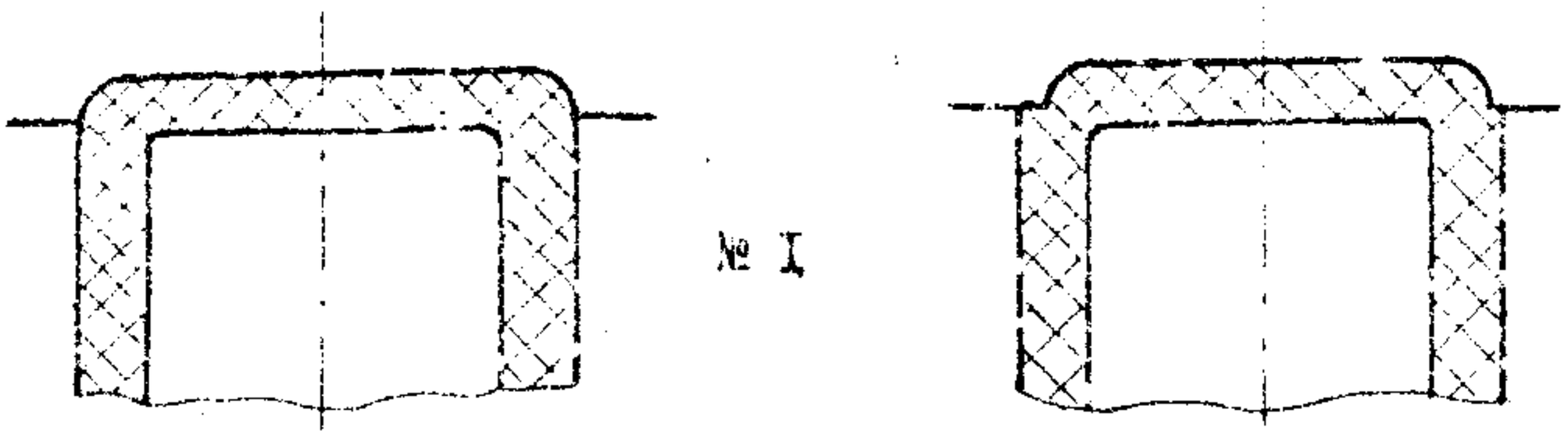


Рис.13

необходимости в зачистке этих мест. Таким образом, в проце разработки окончательной конструкции литьевого изделия дол быть выбрана литьевая система литьевой формы с учетом того в местах впуска механические свойства материала оказываю

занижеными. Т.е. впуски не должны быть вблизи напряженных при эксплуатации участков изделия.

I.5. Требования к конструкции изделий, связанные с применением арматуры.

Металлическая арматура в пластмассовых изделиях применяет-ся с целью:

1) Повысить механическую прочность
2) Повысить точность посадочных мест.
3) Увеличить износостойкость
4) Обеспечить крепление металлическими винтами
5) Осуществить электропроводку.

Металлическую деталь, называемую арматурой, помещают в формующую полость и производят формование. В изготовленном изделии пластмасса и металл должны представлять собой одно целое. Для этого между ними должен быть хороший контакт, что достигается только тогда, когда пластмасса охватывает металл. В противном случае между пластмассой и арматурой при охлаждении возникнет зазор, т.к. коэффициент линейного температурного расширения у пластмасс значительно выше, чем у металлов.

Применение арматуры в изделии существенно усложняет технологию формования, главным образом, из-за необходимости устанавливать ее в форму каждый раз перед началом нового цикла формования. Очень часто это делается вручную, поскольку не всегда удается механизировать такую операцию.

Применяя арматуру, конструктор должен позаботиться о том, как она будет устанавливаться в форме. Недостаточно строго зафиксированная в форме арматура будет смещаться при формовании. На рис.I4 приведены примеры расположения металлической арматуры

в пресс-форме. В первом примере под запрессовываемую деталь может подливаться прессуемый материал. Такая опасность исключена

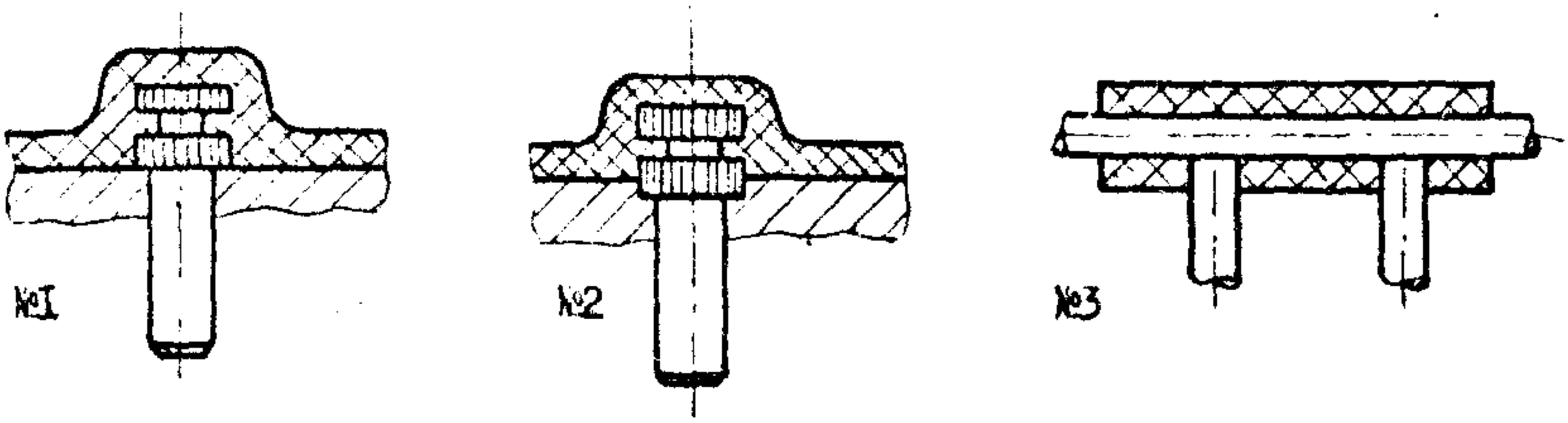


Рис.14

при установке этой детали по примеру №2. Если запрессовываемая деталь располагается в верхней части формы, или сбоку, то она должна удерживаться от выпадания соответствующими пружинящими устройствами (цанги, подпружиненные шарики и т.п.). Горизонтальные длинные детали должны иметь дополнительные опоры, как показано на примере №3 в виде вертикальных шпилек, если допустимы получающиеся от них отверстия в изделии. Во всех случаях надежность крепления и прочность арметуры следует проверять расчетным путем. В некоторых случаях для таких расчетов могут быть использованы формулы (15) ÷ (20), если арматуру рассматривать как шпильку, оформляющую отверстие. Для примера №3 на рисунке 14 формула (16) дает возможность приближенно рассчитать прогиб арматуры, подставив вместо ℓ расстояние между опорами. В тех случаях, когда указанные формулы неприменимы, можно рекомендовать воспользоваться изложенным ранее способом для вывода специальной расчётной формулы.

Из приведенных примеров следует, что конструкция самой арматуры должна разрабатываться одновременно с конструированием изделия. При этом заранее должны предусматриваться соответствующие конструктивные решения по форме. Так, например, точность

расположения осей арматуры в изделии должна обеспечиваться соответствующими допусками на посадочные гнезда в форме с учетом возможного бокового давления материала на арматуру.

Для получения качественных изделий с арматурой нужно правильно располагать ее, чтобы не возникало короблений и вздутий. Эти дефекты появляются как вследствие разных значений коэффициентов температурного расширения формуемых материалов, так и вследствие неравномерности охлаждения во времени.

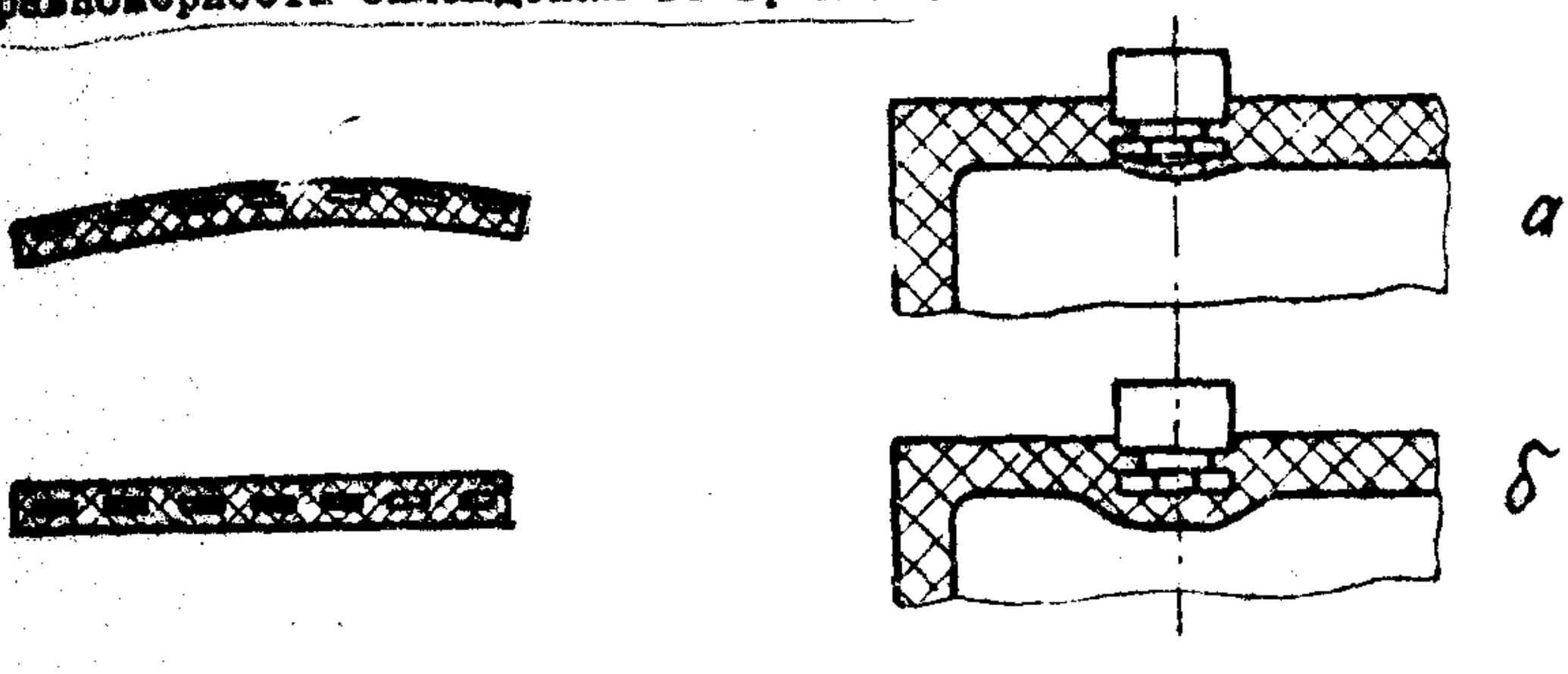


Рис.I5

Металлические детали, располагаемые ближе к одному из краев изделия, вызывают коробление, как показано на рис.I5. Коробления не будет, если их расположить посередине толщины изделия. Очевидно, что это связано с различными по величине изменениями линейных размеров при охлаждении пластмассы и металла. Показанное на этом же рисунке справа вздутие тонкого слоя пластмассы вблизи поверхности арматуры не может быть объяснено теми же причинами. Этот, хорошо известный на практике дефект, получается из-за неравномерности охлаждения стенки изделия при наличии металлической арматуры в ней. Металл и тонкий слой прилегающей к нему пластмассы вследствие высокой теплопроводности металла остывают значительно раньше, чем основная масса стенки. Последующее охлаждение и усадка основной массы происходят в условиях, когда тон-

кий слой пластмассы закрывающей арматуру, стал жестким, поэтому он под действием сжимающих сил от усаживающегося материала вынужден выпучиваться. Избежать это можно путем очень медленного охлаждения, или устранением тонкостенного участка у изделия, как показано на рис.I5б.

Вследствие разных значений коэффициентов линейного температурного расширения для пластмасс и металлов в изделиях с арматурой на поверхностях контакта арматуры с пластмассой развиваются силы давления. Под действием этих сил арматура сжимается, а пластмассовые стенки изделия растягиваются. Величина растягивающих напряжений может превышать прочность формуемого материала и если он хрупкий, то в нем неизбежно возникнут трещины, что и наблюдается на практике при прессовании некоторых изделий из реактопластов.

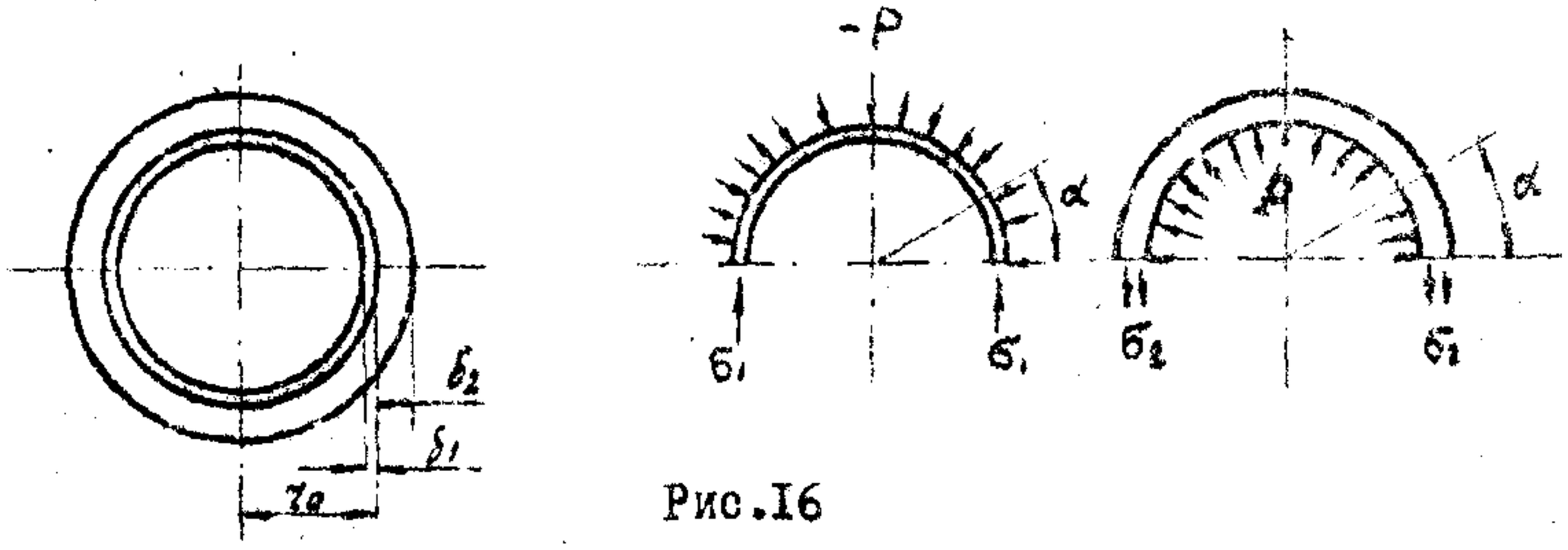


Рис.I6

Рассмотрим простейший случай, т.е. цилиндр с внутренним диаметром $2r_0$ толщиной стенки δ_2, армированный внутренним металлическим цилиндром толщиной δ_1. Допустим, что такой цилиндр изготавливается прессованием, или литьем под давлением. Будем считать, что перед началом охлаждения изделия между пластмассовым и металлическим цилиндрами на поверхности с радиусом r_0 давление p равно нулю. У прессуемого изделия охлаждение начинается с момента извлечения его из формы, а у отливаемого изделия - с момента окончания заполнения формы расплавом. Если бы оба цилиндра,

составляющие изделие, охлаждались раздельно, то внутренний радиус наружного цилиндра r_{o2} имел бы после охлаждения размер, равный

$$r_{o2} = r_o - r_o \cdot \alpha_2 (t_1 - t_o) ,$$

а наружный радиус внутреннего цилиндра r_{o1}

$$r_{o1} = r_o - r_o \cdot \alpha_1 (t_1 - t_o)$$

где: α_1 и α_2 - коэффициенты линейного температурного расширения для металла и пластмассы, соответственно;

t_1 - начальная температура изделия; для прессуемого изделия - температура прессования, а для отливаемого изделия - температура перехода из вязкотекучего состояния в твердое;

t_o - конечная температура охлаждения, равная комнатной температуре.

Поскольку $\alpha_2 > \alpha_1$, то в результате совместного охлаждения обоих цилиндров между ними возникает натяг Δ_1, величина которого, если пренебречь релаксационными явлениями, протекающими в период охлаждения, будет равна:

$$\Delta = r_{o1} - r_{o2} = r_o (\alpha_2 - \alpha_1) \cdot (t_1 - t_o) \qquad (21)$$

Создавшийся натяг приводит к тому, что внутренний цилиндр сжимается на величину Δ_1, а наружный растягивается на величину Δ_2 по радиусу. Математически это запишется в виде:

$$\Delta = |\Delta_1| + |\Delta_2| \qquad (22)$$

Для вычисления величины удельного давления p между цилиндрами рассмотрим равновесие сил, действующих на полукольцах единичной длины, показанных на рис.16. С одной стороны каждого полукольца действует сила давления, уравновешиваемая напряжениями сжатия σ_1 для внутреннего полукольца и растягивающими напряжениями σ_2 для наружного полукольца. Принимая напряжение по сечению кольца постоянным, напишем уравнение равновесия полу-

кольца в виде: $2 \cdot \sigma_1 \cdot \delta_1 \cdot 1 = 2 \cdot \int_0^{\frac{1}{2}\pi} 1 \cdot p \cdot r_0 \cdot \sin\alpha \cdot d\alpha = 2 \cdot p \cdot r_0$

откуда $$p = \frac{\sigma_1 \cdot \delta_1}{r_0} \text{ ; или } p = \frac{\sigma_2 \cdot \delta_2}{r_0} \qquad (23)$$

Пользуясь законом Гука, выразим напряжения σ_1 и σ_2 через деформации сопрягающихся цилиндров Δ_1 и Δ_2

$$\sigma_1 = E_1 \cdot \frac{\Delta_1}{r_0} \text{ и } \Delta_2 = E_2 \cdot \frac{\Delta_2}{r_0} \qquad (24)$$

где: E и E - модули упругости металла и пластмассы, соответственно.

Совместное решение уравнений (21) ; (22); (23) и (24) дает возможность выразить значения деформаций цилиндров через исходные данные в виде следующих формул:

$$\Delta_1 = \frac{r_0(\alpha_2-\alpha_1)\cdot(t_1-t_0)\cdot\delta_2\cdot E_2}{\delta_1\cdot E_1 + \delta_2\cdot E_2}; \Delta_2 = \frac{r_0(\alpha_2-\alpha_1)\cdot(t_1-t_0)\cdot\delta_1\cdot E_1}{\delta_1\cdot E_1 + \delta_2\cdot E_2} \qquad (25)$$

Переходя с помощью закона Гука к напряжениям, получим:

$$\sigma_1 = \frac{(\alpha_2-\alpha_1)\cdot(t_1-t_0)\cdot\delta_2\cdot E_2\cdot E_1}{\delta_1\cdot E_1 + \delta_2\cdot E_2}; \sigma_2 = \frac{(\alpha_2-\alpha_1)\cdot(t_1-t_0)\cdot\delta_1\cdot E_1\cdot E_2}{\delta_1\cdot E_1 + \delta_2\cdot E_2} \qquad (26)$$

Выведенные формулы дают предельные значения упругих деформаций и напряжений в изделии, когда отсутствуют релаксационные явления. Действительные деформации и напряжения всегда будут несколько ниже расчетных, поскольку, даже при очень быстром охлаждении, возникающие напряжения будут частично релаксировать. Путем замедления процесса охлаждения, или выдерживания армированного изделия при повышенной температуре, можно углубить релаксационный процесс и еще более снизить напряжения в изделии.

В процессе эксплуатации изделия напряжения продолжают релаксировать. Опасность разрушения изделия под действием остаточных напряжений уменьшается. Однако, это не исключает возможности появления трещин , поскольку прочностные свойства пластмасс носят явно выраженный временной характер. Изделия, эксплуатирующиеся в условиях воздействия погоды, подвержены большей опасно-

ется растрескивание. Так, например, штурвалы автомобилей, имеющие по центру металлическую ступицу, работающие зимой в северных районах, должны рассчитываться по формулам (26) с учетом возможных морозов, т.е. при значениях t_0, соответствующих этим морозам.

Интересно отметить, что, согласно формулам (26), напряжения не зависят от габаритных размеров изделия, т.к. в эти формулы не входит радиус. Основное влияние на величину напряжений оказывает соотношение толщин δ_2/δ_1, что можно показать разделив на δ_1 числитель и знаменатель правой части формулы для σ_2.

$$\sigma_2 = \frac{(\alpha_2-\alpha_1)\cdot(t_1-t_0)\cdot E_1 E_2}{E_1 + \delta_2/\delta_1 \cdot E_2} \qquad (27)$$

Наиболее часто металлическая арматура выполняется в виде цилиндра с уступами, удерживающими его от осевого перемещения, а для предотвращения проворота на уступах делают рифы методом накатки. На рис.17 представлены два варианта такой цилиндрической арматуры. В первом варианте при охлаждении изделия оба уступа

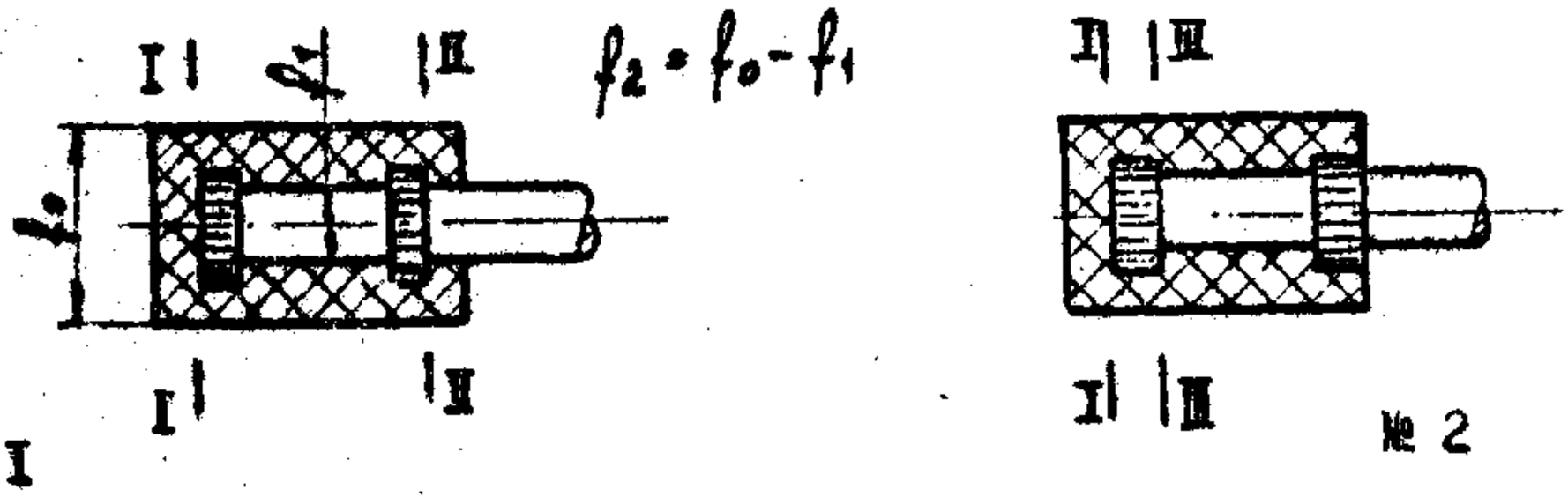


Рис.17

воспринимают осевое усилие, возникающее вследствие разности коэффициентов линейного температурного расширения пластмассы и металла. Арматура сжимается между плоскостями I-I и II-II, а пластмасса между этими плоскостями растягивается. Чем больше расстояние от плоскости I-I до плоскости II-II, тем меньше влияние концевых эффектов, проявляющихся на этих плоскостях. При

достаточно большом расстоянии между ними можно пренебречь нарушением плоскостности этих сечений и решение задачи сильно упрощается. Если в отношении рассматриваемого варианта проделать все то, что было сделано для случая, представленного на рис.16, то будут выведены расчетные формулы для напряжений сжатия в арматуре σ_1 и для растягивающих напряжений в пластмассе σ_2 .

$$\sigma_1 = \frac{(\alpha_2-\alpha_1)\cdot(t_1-t_0)\cdot F_2\cdot E_2\cdot E_1}{F_1 E_1 + F_2\cdot E_2}; \quad \sigma_2 = \frac{(\alpha_2-\alpha_1)\cdot(t_1-t_0)\cdot F_1\cdot E_1 E_2}{F_1\cdot E_1 + F_2 E_2} \qquad (28)$$

Здесь в отличие от формул (26), вместо толщин стоят площади сечений арматуры F_1 и пластмассы F_2 , указанные на рисунке. На практике вместо варианта №1 рекомендуют применять вариант №2, в котором правый уступ свободен в осевом направлении и пластмасса на участке между уступами оказывается разгруженной от осевых растягивающих напряжений. В этом случае напряжения могут возникать только на участке между сечениями I-I и II-II. При медленном охлаждении в пластмассе возникнут небольшие растягивающие напряжения. При быстром охлаждении могут возникнуть сжимающие напряжения, аналогичные тем, которые на рис.15 вызывают выпучивание.

Исчерпывающие рекомендации по всем возможным вариантам конструкций изделий с арматурой дать нельзя. Приведенные примеры показывают, что протекающие в процессе формования явления важны и анализ их необходим, чтобы исключить неблагоприятные последствия.

I.6. Точность пластмассовых изделий.

Под точностью изделия понимают степень соответствия его действительных размеров заданным размерам. Когда разрабатывается конструкция изделия, то вопросы точности не могут не учитываться, поскольку всегда имеются пределы допустимых отклонений размеров от задаваемых значений. А у изделий имеющих сопряга-

ющиеся размеры вопросы точности приобретают первостепенное значение.

Разность между наибольшим и наименьшим допустимыми размерами называют допуском, по величине которого судят о точности изготовления. Конструктор задает такой допуск, который нужен, чтобы изделие удовлетворяло своему назначению. Технолог должен обеспечить изготовление изделия с заданным допуском. Чем меньше допуск, тем труднее задача технолога и это учитывается при конструировании изделия. Для каждого способа формования есть предельные значения выполнимых допусков, которые конструктор должен знать и, в случае необходимости, должен находить пути решения задач по повышению точности.

Известно, что вследствие усадки размеры у формуемых изделий всегда получаются несколько меньше, чем соответствующие им размеры у формующего инструмента. Если бы эти отклонения всегда были бы одинаковыми, то их можно было бы учитывать при конструировании формующего инструмента и таким путем обеспечивать получение нужных размеров у изделия с высокой точностью. На практике наблюдаются существенные колебания усадки и это затрудняет изготовление точных изделий.

Кроме колебания усадки есть и другие причины, влияющие на точность формуемых изделий. Однако основную роль во всех способах формования играет колебание усадки, поэтому этот показатель взят за основу при определении групп точности для изделий, изготавливаемых методами прессования и литья под давлением. В зависимости от величины колебания усадки принято 6 групп точности, обозначаемых ГП-Ш ÷ ГП-УШ.

Если колебания усадки не превышают 0,1%, то на формуемом изделии размеры могут выполняться с допусками по группе точности

ГП-Ш. При промежуточных значениях колебания усадки применяются все остальные группы точности, приведенные в таблице. Группы точности ГП-I и ГП-П являются перспективными, поэтому допуски на них не установлены.

Колебания расчетной усадки при формовании, %	Степень точности изготовления изделий	Геометрическая форма изделия	
		Простая	Сложная
До 0,I	Повышенная	-	ГП-Ш
	Нормальная	ГП-Ш	ГП-IУ
Св.0,I до 0,I6	Повышенная	ГП-Ш	ГП-IУ
	Нормальная	ГП-IУ	ГП-У
Св.0,I6 до 0,25	Повышенная	ГП-IУ	ГП-У
	Нормальная	ГП-У	ГП-УI
Св.0,25 до 0,4	Повышенная	ГП-У	ГП-УI
	Нормальная	ГП-УI	ГП-УП
Св.0,4 до 0,6	Повышенная	ГП-УI	ГП-УП
	Нормальная	ГП-УП	ГП-УШ
Св.0,6 до I,0	Повышенная	ГП-УП	ГП-УШ
	Нормальная	ГП-УШ	-

Указанное деление по группам точности (нормальная точность) характеризуется обычными нормальными условиями организации технологического процесса при массовом производстве. Повышенная точность (достижимая точность) достигается путем более высокой стабилизации технологического процесса. При тех же интервалах колебания усадки, в этом случае, группа точности может быть повышена на единицу.

Каждая группа точности нормирует величины технологических допусков на размеры от I до 500мм., как представлено в таблице.

Номинальные размеры, мм	Размеры элементов				
	оформляемых в одной части пресс-формы	зависящих от подвижных частей пресс-формы	оформляемых в двух и более частях пресс-формы, расположенных вдоль направления усилия замыкания пресс-формы		
			подгруппы		
			А	Б	В
Группа точности ГП-Ш					
Св. 1 до 3	0,03	0,05	0,05	0,08	0,II
" 3 " 6	0,04	0,06	0,06	0,09	0,I2
" 6 " I0	0,05	0,07	0,07	0,I0	0,I3
" I0 " I8	0,06	0,08	0,08	0,II	0,I4
" I8 " 30	0,08	0,I0	0,I0	0,I3	0,I6
" 30 " 50	0,I0	0,I2	0,I2	0,I5	0,I8
" 50 " 80	0,I4	0,I6	0,I6	0,I9	0,22
" 80 " I20	0,20	0,22	0,22	0,25	0,28
" I20 " I80	0,28	0,28	0,28	0,28	0,32
" I80 " 260	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
" 260 " 360	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
" 360 " 500	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
Группа точности ГП-IУ					
Св. I " 3	0,04	0,08	0,08	0,I2	0,I8
3 " 6	0,06	0,I0	0,I0	0,I4	0,20
" 6 " I0	0,08	0,II	0,II	0,I6	0,2I
" I0 " I8	0,I0	0,I2	0,I2	0,I8	0,22
" I8 " 30	0,I2	0,I6	0,I6	0,2I	0,25
" 30 " 50	0,I6	0,20	0,20	0,24	0,28
" 50" 80	0,22	0,25	0,25	0,30	0,36
" 80 " I20	0,32	0,36	0,36	0,40	0,45
" I20 " I80	0,45	0,45	0,45	0,45	0,50
" I80 " 260	0,60	0,60	0,60	0,60	0,( )
" 260 " 360	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
" 360 " 500	I,I0	I,I0	I,I0	I,I0	I,I0

Номинальные размеры, мм	Размеры элементов				
	оформляемых в одной части пресс-формы	зависящих от подвижных частей пресс-формы	оформляемых в двух и более частях пресс-формы, расположенных вдоль направления усилия замыкания пресс-формы		
			подгруппы		
			А	Б	В
	Группа точности ГП-У				
Св. I до 3	0,08	0,I2	0,I2	0,20	0,28
" 3 " 6	0,I0	0,I6	0,I6	0,22	0,32
" 6 " I0	0,I2	0,I8	0,I8	0,25	0,34
" I0 " I8	0,I6	0,20	0,20	0,28	0,36
" I8 " 30	0,20	0,25	0,25	0,34	0,40
" 30 " 50	0,25	0,32	0,32	0,38	0,45
" 50 " 80	0,36	0,40	0,40	0,48	0,55
" 80 " I20	0,50	0,55	0,55	0,60	0,70
" I20 " I80	0,70	0,70	0,70	0,70	0,80
" I80 " 260	I,00	I,00	I,00	I,00	I,00
" 260 " 360	I,20	I,20	I,20	I,20	I,20
" 360 " 500	I,80	I,80	I,80	I,80	I,80
	Группа точности ГП-УI				
Св. I до 3	0,I2	0,20	0,20	0,32	0,45
" 3 " 6	0,I6	0,25	0,25	0,36	0,50
" 6 " I0	0,20	0,28	0,28	0,40	0,52
" I0 " I8	0,25	0,32	0,32	0,45	0,55
" I8 " 30	0,32	0,40	0,40	0,52	0,60
" 30 " 50	0,40	0,50	0,50	0,58	0,70
" 50 " 80	0,55	0,60	0,60	0,75	0,90
" 80 " I20	0,80	0,90	0,90	I,00	I,I0
" I20 " I80	I,I0	I,I0	I,I0	I,I0	I,20
" I80 " 260	I,60	I,60	I,60	I,60	I,60
" 260 " 360	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
" 360 " 500	2,80	2,80	2,80	2,80	2,80

Номинальные размеры, мм	Размеры элементов				
	оформляемых в одной части пресс-формы	зависящих от подвижных частей пресс-формы	оформляемых в двух и более частях пресс-формы, расположенных вдоль направления усилия замыкания пресс-формы		
			подгруппы		
			А	Б	В
	Группа точности ГП-УП				
Св. I до 3	0,19	0,32	0,32	0,50	0,70
" 3 " 6	0,25	0,40	0,40	0,55	0,80
" 6 " I0	0,32	0,45	0,45	0,60	0,85
" I0 " I8	0,40	0,50	0,50	0,70	0,90
" I8 " 30	0,50	0,60	0,60	0,85	I,00
" 30 " 50	0,60	0,80	0,80	0,95	I,I0
" 50 " 80	0,90	I,00	I,00	I,I5	I,40
" 80 " I20	I,20	I,40	I,40	I,60	I,80
" I20 " I80	I,80	I,60	I,80	I,80	2,00
" I80 " 260	2,50	2,50	2,50	2,50	2,50
" 260 " 360	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20
" 360 " 500	4,50	4,50	4,50	4,50	4,50
	Группа точности ГП-УШ				
Св. I до 3	0,30	0,50	0,50	0,80	-
" 3 " 6	0,40	0,60	0,60	0,90	-
" 6 " I0	0,50	0,70	0,70	I,00	-
" I0 " I8	0,60	0,80	0,80	I,I0	-
" I8 " 30	0,80	I,00	I,00	I,30	-
" 30 " 50	I,00	I,20	I,20	I,50	-
" 50 " 80	I,40	I,60	I,60	I,90	-
" 80 " I20	2,00	2,20	2,20	2,50	-
" I20 " I80	2,80	2,80	2,80	2,80	-
" I80 " 260	4,00	4,00	4,00	4,00	-
" 260 " 360	5,00	5,00	5,00	5,00	-
" 360 " 500	7,00	7,00	7,00	7,00	-

Примечания:

I. Допуски подгруппы А относятся к термопластичным материалам при литье под давлением и термореактивным с порошкообразным наполнителем при литьевом прессовании.

2. Допуски подгруппы Б относятся к термореактивным материалам с порошкообразным наполнителем при прямом прессовании и с волокнистым наполнителем при литьевом прессовании.

3. Допуски подгруппы В относятся к термореактивным материалам с волокнистым наполнителем при прямом прессовании.

Подавляющее большинство размеров у формуемых изделий выполняется без допусков и если нет особой необходимости, то величина усадки не учитывается при задании размеров формующему инструменту. Необходимость в допусках появляется тогда, когда проектируемое изделие при эксплуатации сопрягается с другими деталями. Назначаемые при этом допуски не должны быть меньше заданных в таблице значений. Если же требуется изготавливать изделия с точностью, превышающей достижимую, т.е. с меньшими допусками по сравнению с указанными в таблицах, то нужны основания такой возможности. В связи с этим проанализируем понятие усадки.

На рис.I8 показана схема образования усадки для изделия вал,

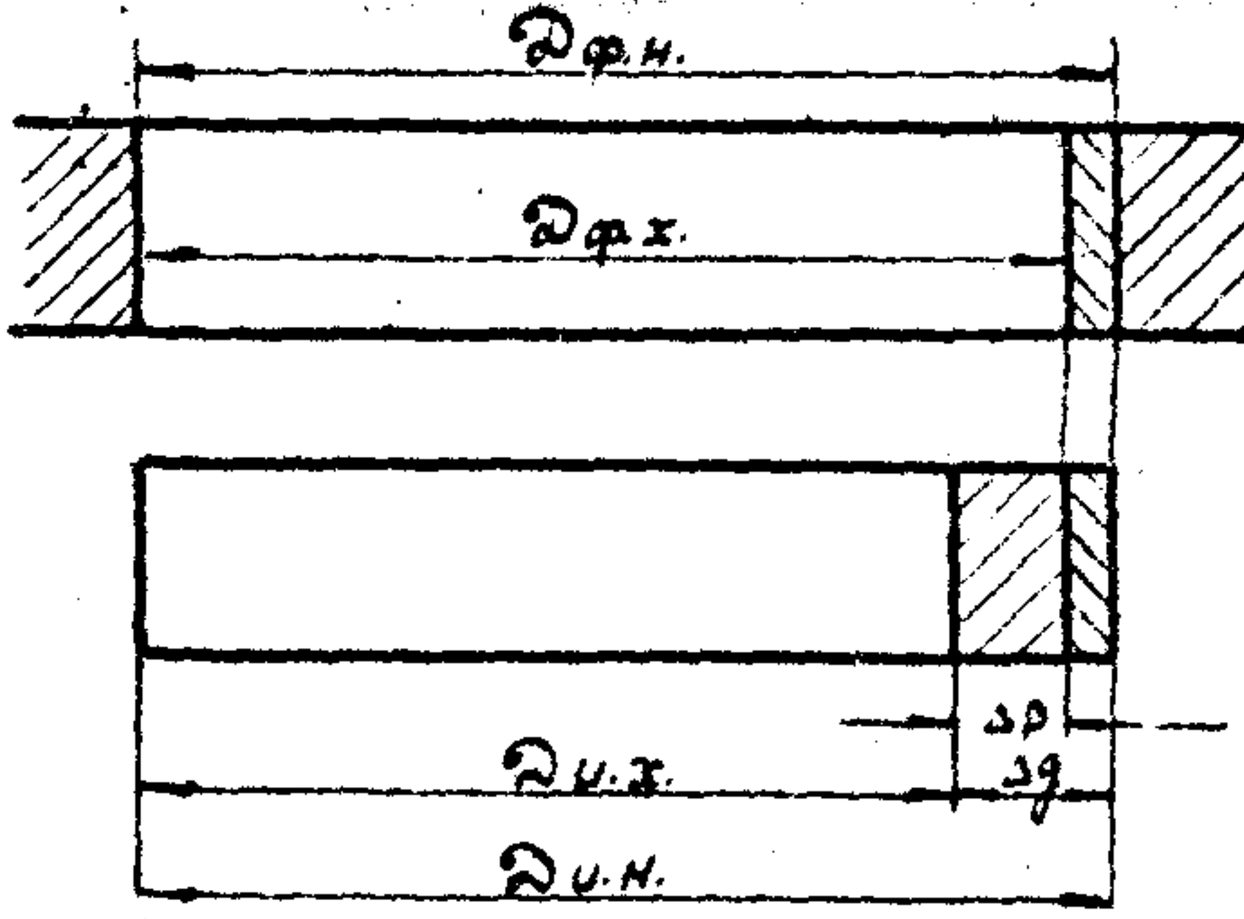


Рис.I8

где приняты следующие обозначения:

$Д_{р.м.}$ и $Д_{р.х.}$ - значения диаметра формующей поверхности в нагретом и холодном состояниях, соответственно;

$Д_{и.м.}$ и $Д_{и.х.}$ - значения диаметра изделия в нагретом и холодном состояниях, соответственно;

Δg - значение действительной усадки;

Δp - значение расчетной усадки.

Расчетная усадка и ее колебания определяются непосредственно из опыта; величина их зависит как от свойств формуемого материала, так и от условий опыта. В зависимости от времени измерения размеров изделия подразделяют усадку на технологическую и эксплуатационную. Обычно технологическую усадку оценивают по измерениям, производимым на следующий день после формования, а все дальнейшие изменения размеров рассматривают как следствие эксплуатационной усадки.

Проявление усадки отражает совокупность физических и химических явлений, протекающих в процессе формования и сопровождающихся изменением размеров формуемого изделия. Влияние условий формования на величину усадки проявляется в двух направлениях. Во-первых, от условий формования зависит непосредственно плотность материала в изделии. Во-вторых, от условий формования зависит масса готового изделия, а чем больше масса, тем больше размеры изделия. Уменьшение массы изделия воспринимается как уменьшение усадки.

Независимо от усадки на точность формуемых изделий оказывает влияние точность размеров формующего инстумента. При этом немаловажными оказываются гнездность формы и степень ее изношенности. В многогнездных формах размеры у отдельных гнезд отличаются друг от друга и это приводит к дополнительным колебаниям размеров изделий, воспринимаемые как колебания усадки. Изнаши-

вание формующих деталей формы приводит к изменению соответству-ющих размеров уиздлий. Наружные размеры увеличиваются, а внут-ренние- уменьшаются. При изнашивании подвижных деталей формы возрастают люфты и из-за этого нарушается геометрическая форма изделий. Длительность эксплуатации формы лимитируется таким изно-сом ее деталей, когда размеры изделий выходят за пределы допу-стимых значений.

Изменение плотности перерабатываемого материала с темпера-турой определяется экспериментально с помощью простейшего прибо-ра, схематично изображенного на рис.19

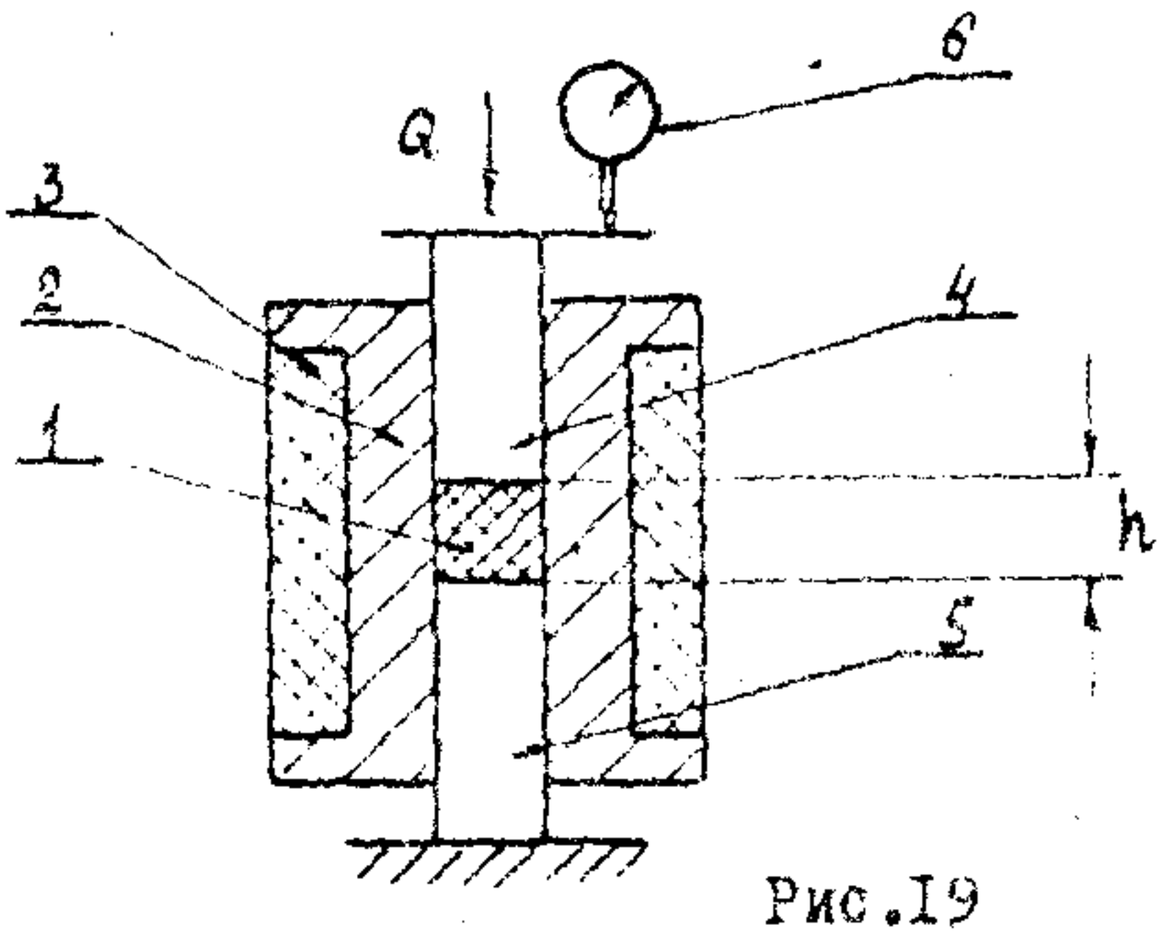


Рис.19

Исследуемый материал 1 помещается в цилиндр 2 с электронаг-ревателем 3 и сжимается между двумя поршнями 4 и 5. Нижний пор-шень неподвижен, а верхний может перемещаться под действием гру-за Q , создающего соответствующее давление на материал. Это давление должно быть достаточным, чтобы деформировать испытыва-емый материал и предотвращать образование зазора на цилиндричес-кой поверхности. Температурное расширение металлического цилин-дра мало по сравнению с расширением полимера, поэтому оно в этих опытах не учитывается. Положение верхнего поршня контролируется индикатором 6. При медленном нагревании цилиндра испытуемый мате-риал прогревается и расширяясь поднимает поршень 4. По величине

перемещения поршня h судят об изменении объема с температурой. Результаты опытов представляют в виде графиков зависимости $\frac{\Delta h}{h}$ (величины, обратной изменению плотности) от t, как показано на рисунке 20. Нижние кривые описывают температурное расширение

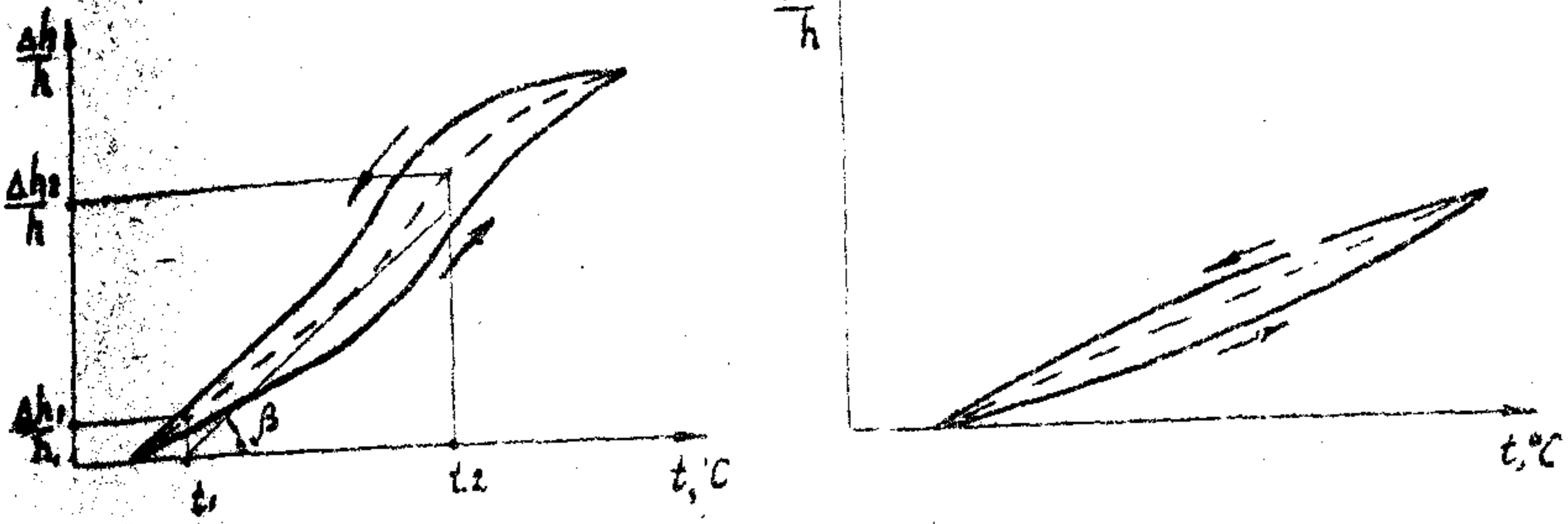


Рис.20

полимерного материала при нагревании, а верхние - при охлаждении. Кривые не накладываются друг на друга из-за запаздывания прогрева и перестройки структур, поэтому они образуют замкнутую петлю. Чем быстрее происходит разогрев и охлаждение, тем шире петля. На левом рисунке показан типичный график для кристаллизующегося полимера, величина температурного расширения которого в условиях переработки может достигать 20 ÷ 25%, а на правом - для аморфного, температурное расширение которого обычно не превышает 10%. Пунктирные линии посередине петли приближенно характеризуют изменение удельного объема в равновесном состоянии.

При выборе материала для изделия с высокими требованиями к точности его размеров приведенные графики представляют большой интерес. Очевидно, что кристаллизующийся полимер будет давать большие колебания усадки, чем аморфный, поскольку у него сильнее зависимость удельного объема от температуры и шире петля гистерезиса. Плотность материала в изделии, таким образом, зависит

от его свойств и от кинетики охлаждения. На свойства можно влиять меняя состав материала. В этом отношении наибольший эффект достигается путем введения в полимер жестких наполнителей, которые резко снижают температурную зависимость плотности. Поэтому для изготовления наиболее точных изделий применяют наполненные полимерные материалы.

В отношении кинетики охлаждения следует руководствоваться следующими соображениями. Плотность аморфных полимеров не зависит от скорости охлаждения, а у кристаллизующихся она тем меньше, чем быстрее охлаждение, поскольку полимер не успевает закристаллизоваться и образовать более плотную структуру. Влияние кинетики охлаждения на усадку проявляется по-разному в зависимости от того где охлаждается изделие. При охлаждении в форме скорость охлаждения влияет на усадку сильнее, чем при охлаждении вне формы. Замедленное охлаждение в форме дает возможность формуемому материалу более полно отрелаксировать в условиях, когда размеры изделия на поверхностях, соприкасающихся детали формы, остаются постоянными, что приводит к уменьшению усадки.

Если при охлаждении не препятствовать усадке, то линейные размеры будут уменьшаться одинаково во всех направлениях. Объемная усадка Δ_0, определяемая на рис.20 отношением $\Delta h/h$, в этом случае связана с линейной усадкой следующим соотношением

$$1+\Delta_0 = (1+\Delta_1)^3$$

откуда следует

$$\Delta_1 \approx \frac{1}{3}\Delta_0 \qquad (29)$$

Пользуясь соотношением (29) можно с помощью графиков на рис.20 находить коэффициент линейного температурного расширения по углу наклона касательных

$$\alpha = \frac{1}{3}\operatorname{tg}\beta = \frac{1}{3}\frac{d\Delta h/h}{dt} = \frac{1}{3}\frac{d\Delta_0}{dt} \qquad (30)$$

Для аморфных полимеров графики температурной зависимости

изменения объема близки к прямым линиям, поэтому α является практически постоянной величиной. Для кристаллизующихся полимеров эти графики представляют собой кривые линии, т.е. α является переменной величиной, зависящей от температуры. Линейная усадка находится путем интегрирования

$$\Delta_л = \frac{1}{t_1}\int_{t_2}^{t_2} \alpha(t)\cdot dt$$

Соотношения (29) и (30) дают возможность графически трактовать функцию $\alpha(t)$ и находить по кривым на рис.20 величины линейных усадок в заданном температурном интервале $t_1 - t_2$

$$\Delta_{л2} - \Delta_{л1} = \frac{1}{3}\left(\frac{\Delta h_2}{h_2} - \frac{\Delta h_1}{h}\right)$$

Это соотношение выполняется для случая изотропной усадки, которая на практике никогда не достигается даже при охлаждении изделия вне формы. Усадка всегда меньше в направлении большей жесткости при прочих равных условиях. Например, усадка цилиндров,

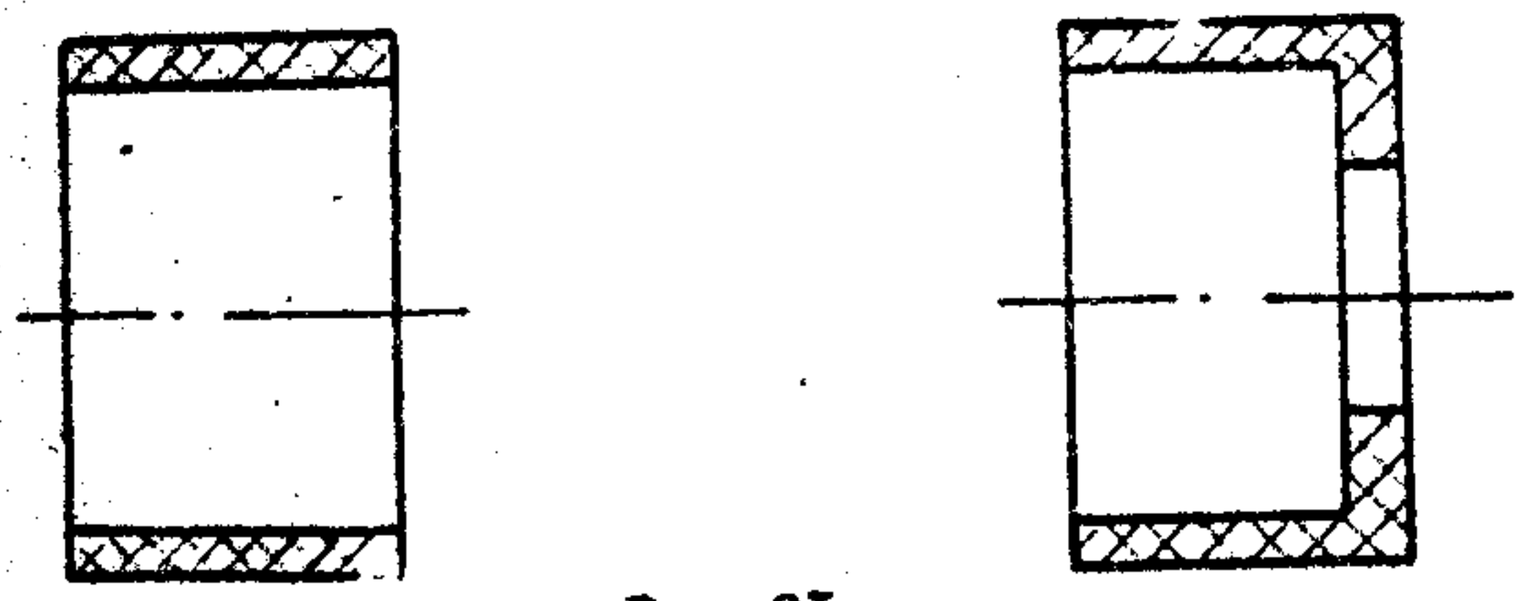


Рис.2I

изображенных на рис.2I будет различна. У левого цилиндра не имеющего бортика, усадка больше по сравнению с правым, у которого бортик создает дополнительную жесткость. При этом у цилиндра с бортиком усадка по диаметру на левом конце будет больше, чем на правом. Количественная оценка усадки с учетом жесткости конструкции представляет собой весьма сложную задачу. Очевидно, что величина усадки определяется величиной и распределением остаточных температурных напряжений, возникающих при охлаждении, описываемых для простейшего случая уравнением (6). В местах

действии сжимающих напряжений плотность материала возрастает, а там, где действуют растягивающие напряжения, плотность снижается. Суммарное действие этих эффектов проявляется как отклонение от идеализированного случая изотропной усадки. Как уже отмечалось, уровень остаточных напряжений зависит от кинетики охлаждения, а для конструкций, имеющих элементы дополнительной жесткости, существенное значение имеет последовательность охлаждения отдельных участков изделия. Если участки, сообщающие жесткость изделию, охлаждать раньше, то они при последующем охлаждении других участков будут эффективнее сдерживать усадку последних.

Одним из факторов, влияющих на точность размеров формуемых изделий, является дозировка формуемого материала. Если для изделия весом Y при дозировке делается ошибка Δ_y, то среднее колебание размеров изделия вследствие этой ошибки согласно формуле (29) составит

$$\Delta_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{\Delta_y}{Y} \cdot 100\% \qquad (31)$$

Формула (31) дает возможность количественно оценить влияние точности дозировки на размерную точность изделия при условии, что ошибка в дозировке распределяется равномерно по всем размерам. Это влияние имеет существенное значение, поскольку оно воспринимается практически как колебание усадки, определяющее применимую группу точности.

Прессуемый материал дозируется по объему, или по весу. Степень точности дозировки может быть сколь угодно высокой. Однако, не вся загружаемая в форму порция материала идет на образование изделия. Часть его теряется в виде грата и величина этих потерь весьма нестабильна. Часть материала теряется в виде летучих паров и газов, составляющих ощутимую долю потерь, если нет надлежащего контроля за содержанием летучих в прессуемой композиции.

Величина потерь сильно зависит от колебания технологических параметров прессования и от конструкции пресс-формы. Очевидно, чем больше колебания температуры и давления прессования, тем больше различия в количестве образующегося грата при разных запрессовках. Наличие у пресс-формы опорных планок не спасает положения, поскольку от давления и температуры зависит объем остающегося в форме материала в момент ее смыкания. Очевидно также, что количество удаляемых летучих не может не зависеть от колебания в их параметров. Решая вопросы достижимой точности прессуемых изделий необходимо учитывать вышеизложенное, обосновывая принимаемые решения имеющимися экспериментальными данными.

Перерабатываемый на универсальных литьевых машинах материал дозируется по объему. Принципиально имеется возможность сравнительно точной дозировки. Для практической реализации ее необходимо обеспечивать высокую стабильность технологических параметров процесса литья. При этом наибольшее значение имеет стабильность стадии подпитки, когда в формующую полость под высоким давлением дополнительно продавливается расплав по мере охлаждения и уменьшения объема находящегося в форме материала. Эта стадия ответственна также за структуру материала в изделии, поскольку продавливание расплава в условиях охлаждения приводит к возникновению высоких замораживаемых сдвиговых напряжений. Важность этих вопросов подтверждается тем, что в современных литьевых машинах предусматривается программирование давления на стадии подпитки. Точность отливаемых изделий в направлении разъема формы зависит от конструкции узла смыкания. Рычажный механизм в этом узле должен иметь большую жесткость и должен удерживать форму в сомкнутом состоянии с усилием, превышающим силу, развивающуюся внутри ее, чтобы упругие деформации деталей маши-

ны не могли отражаться на толщине отливаемых изделий. Для этой в механизмах смыкания предусматриваются регулировочные устройства, которые полностью не устраняют влияние жесткости машины на точность изготавливаемых изделий, однако, дают возможность уменьшить это влияние. Отметим, что машины с гидравлическим узлом смыкания лишены этого недостатка. Принято считать, что метод литья дает менее точные изделия по сравнению с прессованием. Тем не менее, тщательный анализ процесса литья для каждого конкретного случая, путем научно обоснованной разработки конструкций изделия и формы и стабилизации параметров процесса, дает возможность обеспечить высокую точность отливаемых изделий.

Точность изделий, формуемых из листовых заготовок, определяется, главным образом, равномерностью разогрева заготовки. Перегретые участки в процессе формования больше деформируются и на этих местах получается более тонкая стенка у изделия. Кроме того изделие, полученное из неравномерно прогретой заготовки, подвержено большим короблениям. Следует иметь в виду, что по самой природе процессов формования из заготовок, нагреваемых ниже температуры вязкотекучего состояния, изготовленные изделия не могут устойчиво сохранять форму при повышенных температурах, поскольку замороженные высокоэластические деформации становятся обратимыми при нагревании.

Точность изделий, изготавливаемых методом экструзии, зависит от очень большого числа факторов. Определяющие среди них связаны с формующей головкой и калибрующим устройством. В формующей головке осуществляется дозирование расплава по участкам поперечного сечения формующей щели с целью получить изделие с заданными размерами. Одновременно с дозированием должно обеспечиваться равенство скоростей течения на всех участках, чтобы не

нарушенная форма экструдата по выходе из головки. Эта сложная задача решается при конструировании формующей головки. В калибрующем устройстве экструдируемому изделию придается окончательная форма. Путем частичного охлаждения поверхности экструдата фиксируют эту форму, а дальнейшее окончательное охлаждение сопровождается неконтролируемой усадкой. Таким образом, вопросы точности экструдируемых изделий решаются при разработке конструкций формующей оснастки.

Из изложенного видно, как сложны вопросы точности для пластмассовых изделий и как они мало изучены.

1.7. Взаимосвязь конструкций и эксплуатационных характеристик изделий.

Принято говорить, как конструкция удовлетворяет предъявляемым к ней требованиям и сравнительно редко говорят о том, какие новые возможности открывает разработанная конструкция. Обычно конструкция разрабатывается по исходным данным и намного реже ищут пути применения имеющейся конструкции. В бытующей взаимосвязи конструкций и эксплуатационных характеристик изделий на первое место ставят желаемые характеристики. В то же время нельзя отрицать, что требования к изделиям могут значительно возрасти, если появятся необычные оригинальные решения конструкций. То есть любая новая разработка при творческом подходе может дать неожиданные возможности расширения эксплуатационных характеристик. Нельзя научить находить такие решения. Можно только показать примеры удачных решений, дающих основания предполагать о потенциальных возможностях творчества.

В качестве примера рассмотрим конструкции пробок из полиэтилена, представленные на рис.22. Под пробкой понимают сплошной цилиндр

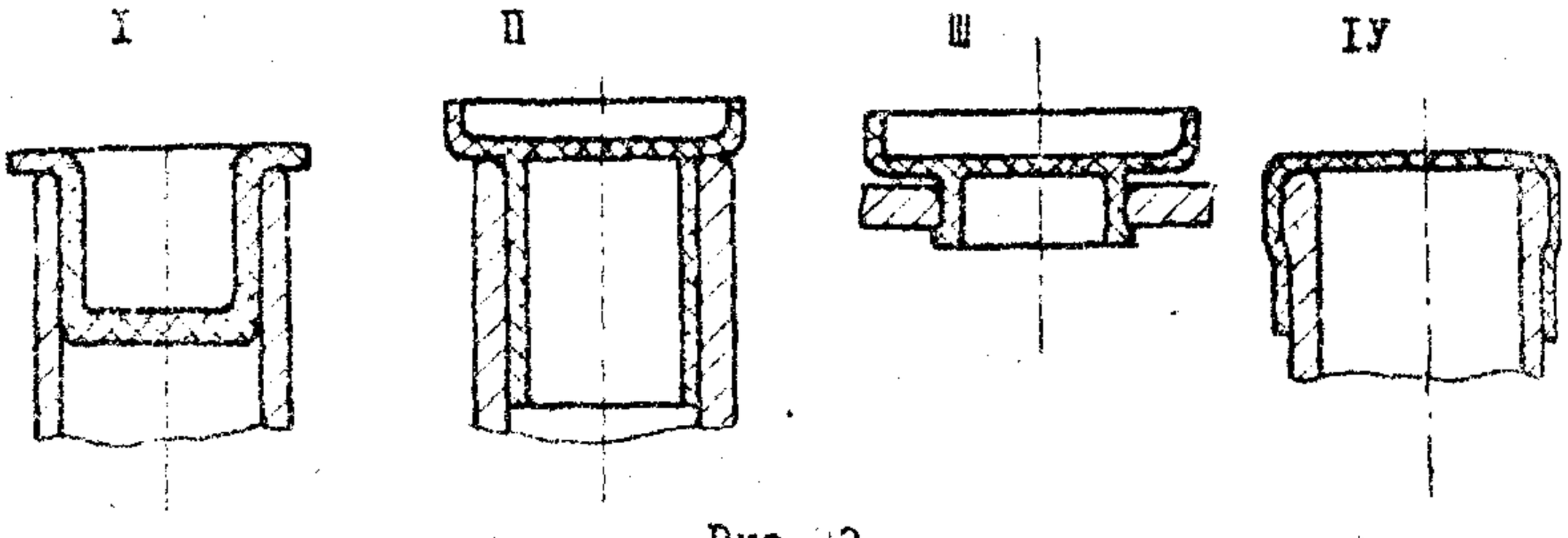


Рис.22

из сравнительно мягкого материала, используемый для закрытия отверстия. Из жесткого материала делают резьбовые пробки в сочетании с прокладками из мягких материалов. Полиэтилен по жесткости занимает промежуточное положение и из него была создана оригинальная конструкция пробки в виде тонкостенного цилиндра с донышком, как показано на рис.22,I. Модификации пробок в виде тонкостенных других цилиндров имеют дополнительные ценные характеристики. Так пробка в виде открытого длинного цилиндра (рис.22,II) может работать под давлением, поскольку с повышением давления на такую пробку соответственно возрастает сила, прижимающая стенку пробки и увеличивается сила трения, удерживающая ее. Короткой пробкой с уступом на конце (рис.22,III) можно надежно закрывать отверстия в тонкой стенке. Используя эффект "термоусаживания", вместо внутренних пробок применяют колпачки, как показано на рис.22,IУ, обеспечивающие надежную герметизацию.

С целью вскрыть одну из потенциальных возможностей применения полимерных материалов для изготовления пружин рассмотрим их механические свойства.

Полимерные материалы относят к низкомодульным. Модуль упругости у них ниже по сравнению со сталями на два десятичных порядка, поэтому они легко деформируются. По допустимым напряжениям

стали превосходят полимерные материалы менее, чем на два десятичных порядка. Упругая энергия, накапливаемая в единице объема деформирующегося материала, прямопропорциональна произведению напряжений на деформацию. Максимально возможная упругая энергия будет равна произведению допустимого значения напряжения на деформацию, соответствующую этому напряжению. Согласно вышеприведенным соотношениям прочностей и модулей упругости для металлов и пластмасс, произведение напряжения на деформацию для последних будет несколько больше, т.е. в деформирующейся пластмассе запасаемая в единице объема упругая энергия больше, чем в металле. Ввиду высокой жесткости сталей пружины из них делают в виде пластин, работающих на изгиб, или в виде витых проволочных спиралей, работающих на кручение. В обоих случаях напряжения в сечении пружины распределены неравномерно, т.е. при деформировании пружины упругая энергия накапливается в наиболее напряженных слоях, а материал в середине сечения является балластом. Пружины из полимерных материалов можно конструировать по иному принципу используя для накопления упругой энергии всю массу материала в изделии. Это возможно благодаря низким значениям модуля упругости. Резина иногда используется вместо металлических пружин в условиях одноосного сжатия или растяжения. Более жесткие пластмассы не могут быть использованы так же как резина.

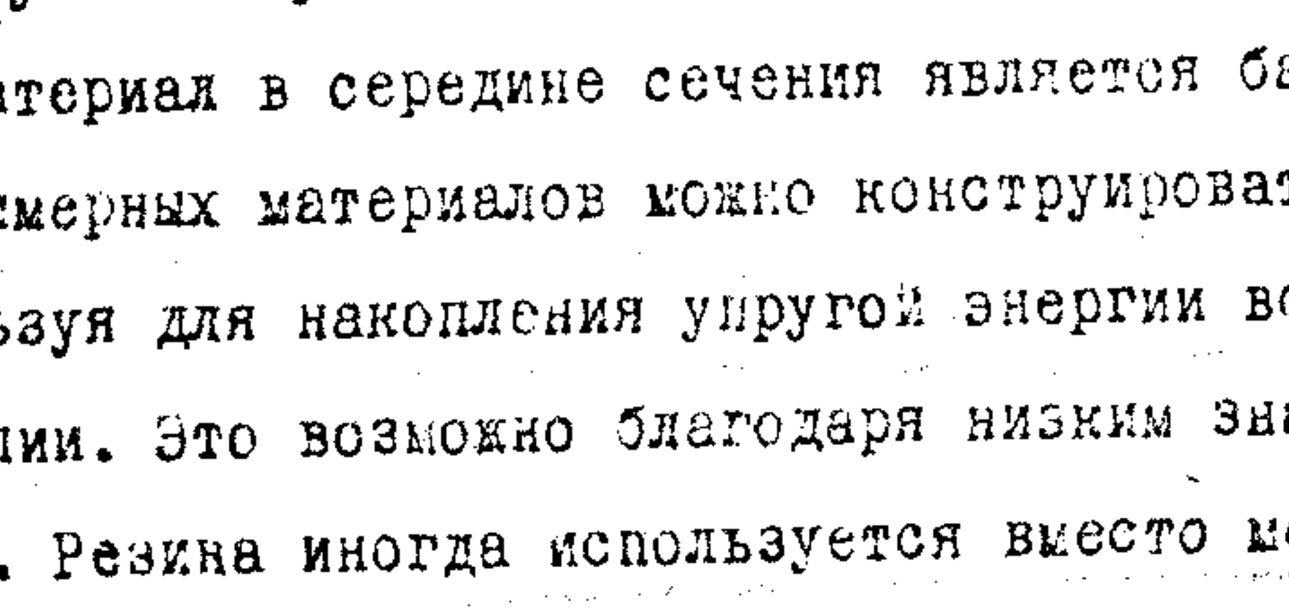


Рис.23

Для них нужны другие решения. Одно из таких возможных решений показано на рис.23. Пружина состоит из большого числа располагаемых один за другом цилиндров. Сила P, действующая на пружину, сжимает одни цилиндры и растягивает другие. Таким образом, все цилиндры последовательно деформируются в осевом направлении. Суммарная деформация всех цилиндров проявляется в виде перемещения внутреннего цилиндра относительно внешнего. Упругая энергия накапливается по всей массе пружины, поэтому такая пружина будет компактнее и намного легче стальной. Если применить сшитый полимер, не проявляющий ползучести, то ее надежность в работе не будет вызывать никаких сомнений при действии медленных нагрузок. Нагрузки, действующие с большой частотой, будут нагревать пружину вследствие больших механических потерь.

Свойства полимерных материалов весьма многогранны и творческое использование их таит в себе необразимые потенциальные возможности создания конструкций с необычайными эксплуатационными характеристиками.

2. РАСЧЕТ ИЗДЕЛИЙ

Расчеты выполняют с целью найти геометрическую форму и размеры изделия, обеспечивающие требующиеся эксплуатационные характеристики. В зависимости от назначения изделия расчет проводят по тому, или другому показателю, характеризующему то, или иное свойство материала. Пластмассы имеют очень разнообразные свойства и применяются для изделий самых различных назначений, поэтому в кратком курсе можно рассмотреть только узкий круг вопросов, касающихся расчетов, выполняемых с учетом основных свойств, к которым относятся прочность и деформируемость. Эти свойства проявляются в изделиях любого назначения. Расчеты, связанные с электрическими, теплофизическими, оптическими, акустическими и другими специальными свойствами, рассматриваются там, где эти свойства являются лимитирующими. Такие расчеты можно найти в специализированной литературе, посвященной конструированию и расчету изделий специального назначения.

Прочностные и деформационные расчеты основываются на современных научных представлениях о прочности и деформируемости полимерных материалов, сильно отличающихся от традиционных конструкционных материалов. Естественно, что перед описанием применяемых методов расчета необходимо дать хотя бы краткие сведения о прочностных и деформационных свойствах, используемых в инженерных расчетах.

2.I. Инженерная оценка прочности и деформируемости.

Под прочностью понимают свойство тел противостоять механическому разрушению, а под деформируемостью - способность к

деформированию (к изменению формы) без разрушения, т.е. без нарушения целостности тела. Исторически сложилось так, что эти свойства для конструкционных материалов оцениваются с помощью разрушающих методов испытания образцов материала при различных видах деформирования (растяжение, сжатие, изгиб, кручение, сдвиг и т.д.). Обычно по достижении некоторой предельной нагрузки наступает внезапное разрушение и протекает оно очень быстро, поэтому возникли понятия о предельных нагрузках и предельных напряжениях.

Вновь появляющиеся материалы к которым относятся и пластмассы, естественно, подвергаются тем же испытаниям и оцениваются теми же показателями. Для сопоставления традиционных конструкционных материалов с полимерными материалами на рис.24 показаны кривые "напряжение- деформация" для конструкционных металлов: I- марганцовистая сталь; 2- никелевая сталь; 3- литая углеродистая сталь; 4- бронза и 5- чугун. Эти кривые построены по результатам испытаний на разрывных машинах. Точки на концах кривых соответствуют моментам разрушения образцов. Начальные участки кривых для первых четырех материалов представляют собой прямые

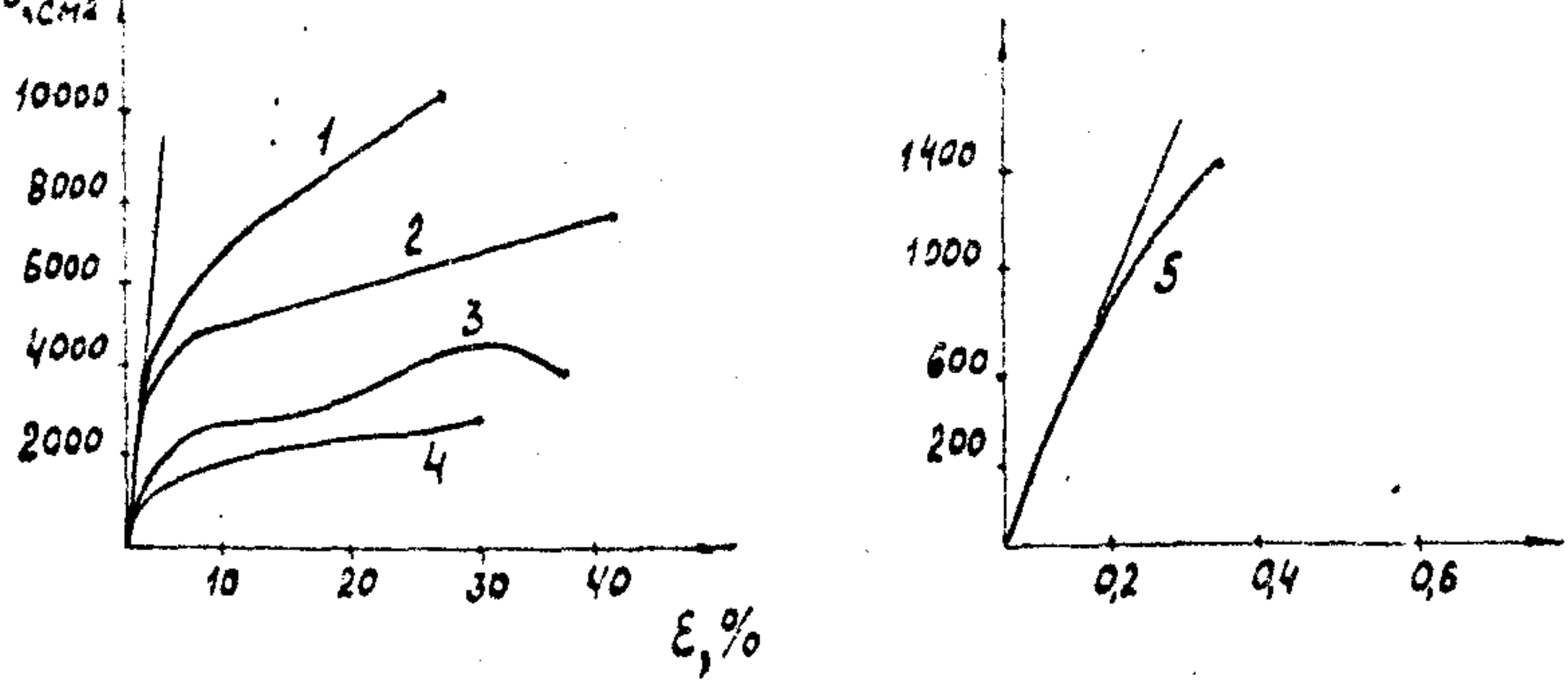


Рис.24

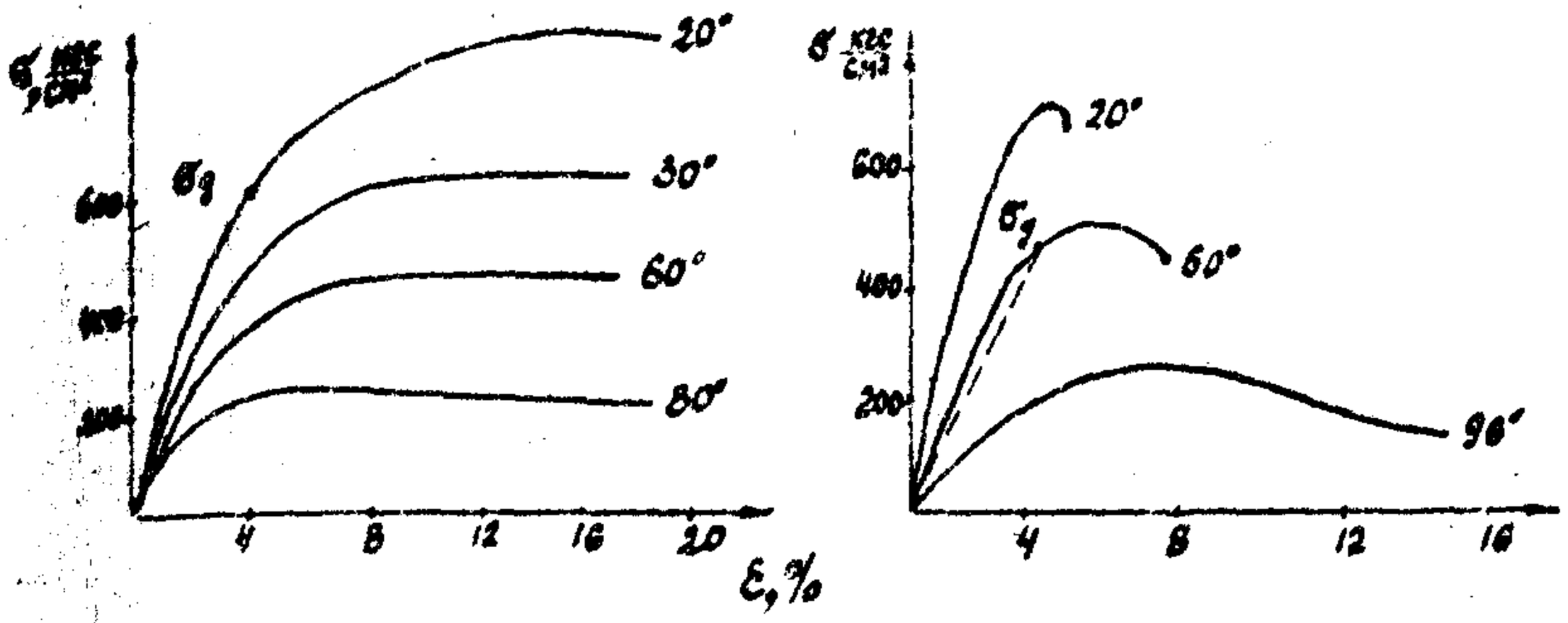


Рис.25

линии, соответствующие упругим деформациям. По углу наклона прямых определяется модуль упругости. Для чугуна график построен в другом масштабе, поскольку развивающиеся в нем напряжения и деформации значительно ниже. Характер кривой для него отличается отсутствием начального прямолинейного участка, поэтому модуль упругости для чугуна оценивается по касательной в начале координат. На рис.25 показаны графики результатов испытаний типичных представителей полимерных материалов: полиметилметакрилата (левые) и полистирола (правые). У каждой кривой показана температура испытания, поскольку в отличие от металлов, она сильно влияет на получаемые результаты. У всех кривых отсутствуют прямолинейные начальные участки, т.е. отсутствует область упругих гуковских деформаций, поэтому модуль упругости для этих материалов определяется как для чугуна условно по углу наклона касательной на начальном участке. Сопоставление этих кривых с кривыми для металлов по величинам напряжений дает основание судить о возможностях ненаполненных пластмасс как конструкционных материалов. Введение некоторых наполнителей сильно упрочняет полимерные мате-

риалы и делает их сопоставимыми по прочности со сталями.

После появления полимерных материалов представления о прочности изменились. Был установлен временный характер прочности, иллюстрируемый на рис.26 экспериментальными данными, полученными путем испытаний образцов под действием постоянного напряжения σ, в координатах "деформация - время действия нагрузки". Момент разрушения обозначен точкой на конце каждой кривой. Оказывается, что образец разрушается при любых значениях напряжения. Если напряжение большое, то разрушение наступает быстро. При уменьшении напряжения время разрушения сильно возрастает. Время с момента нагружения образца до момента его разрушения принято называть долговечностью, которая зависит от температуры t, так что кривые на рис.26 могут быть получены при условии $t_1 > t_2 > t_3 > t_4 > t_5$ и $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_4 = \sigma_5$; или при условии $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 > \sigma_4 > \sigma_5$ и $t_1 = t_2 = t_3 = t_4 = t_5$.

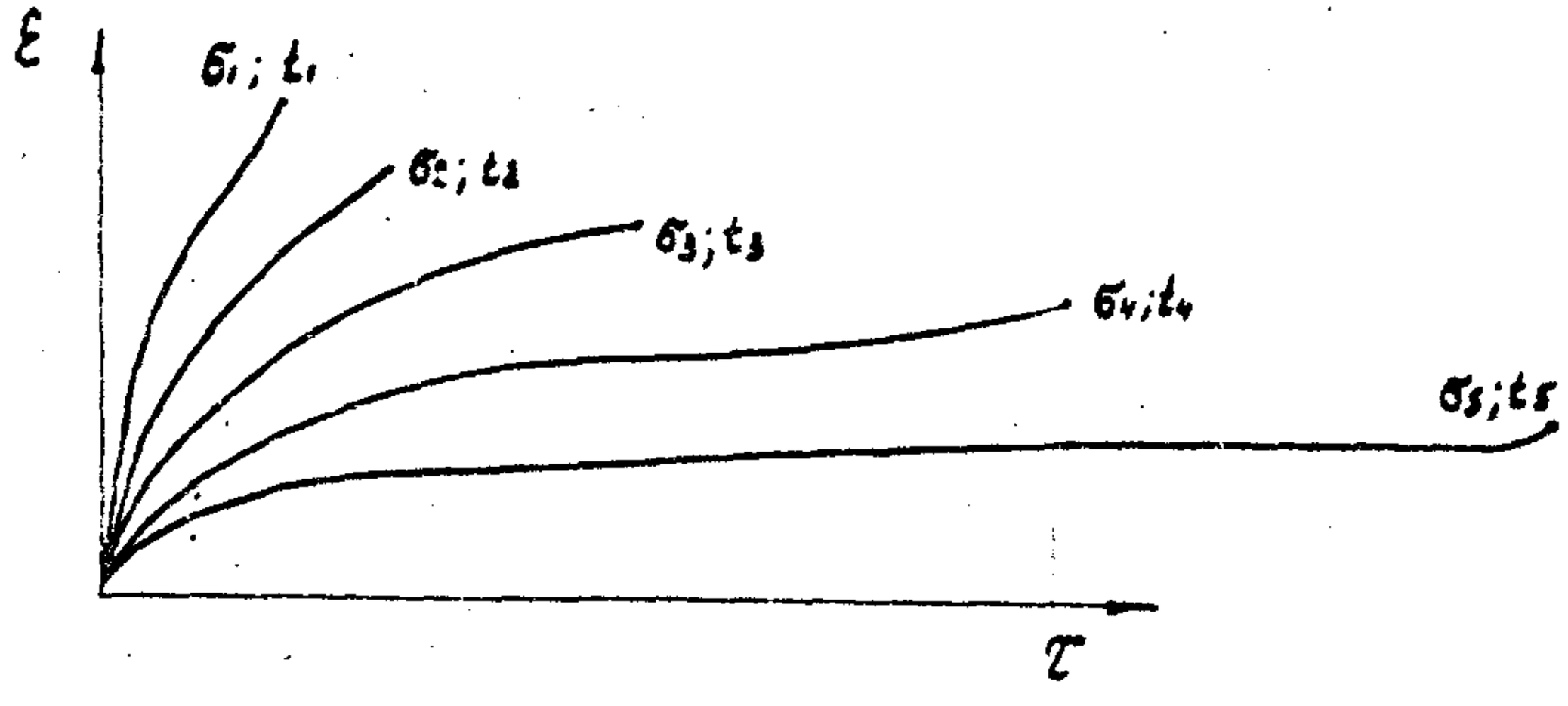


Рис.26

Экспериментальные данные по зависимости долговечности при растяжении τ_p от величины напряжения σ в полулогарифмических координатах аппроксимируются прямыми линиями, как показано на рис.27 для полистирола при температурах: I - 20°С; 2- 45°С; 3 - 70°С и 4 - 95°С. На основании этого предложено уравнение

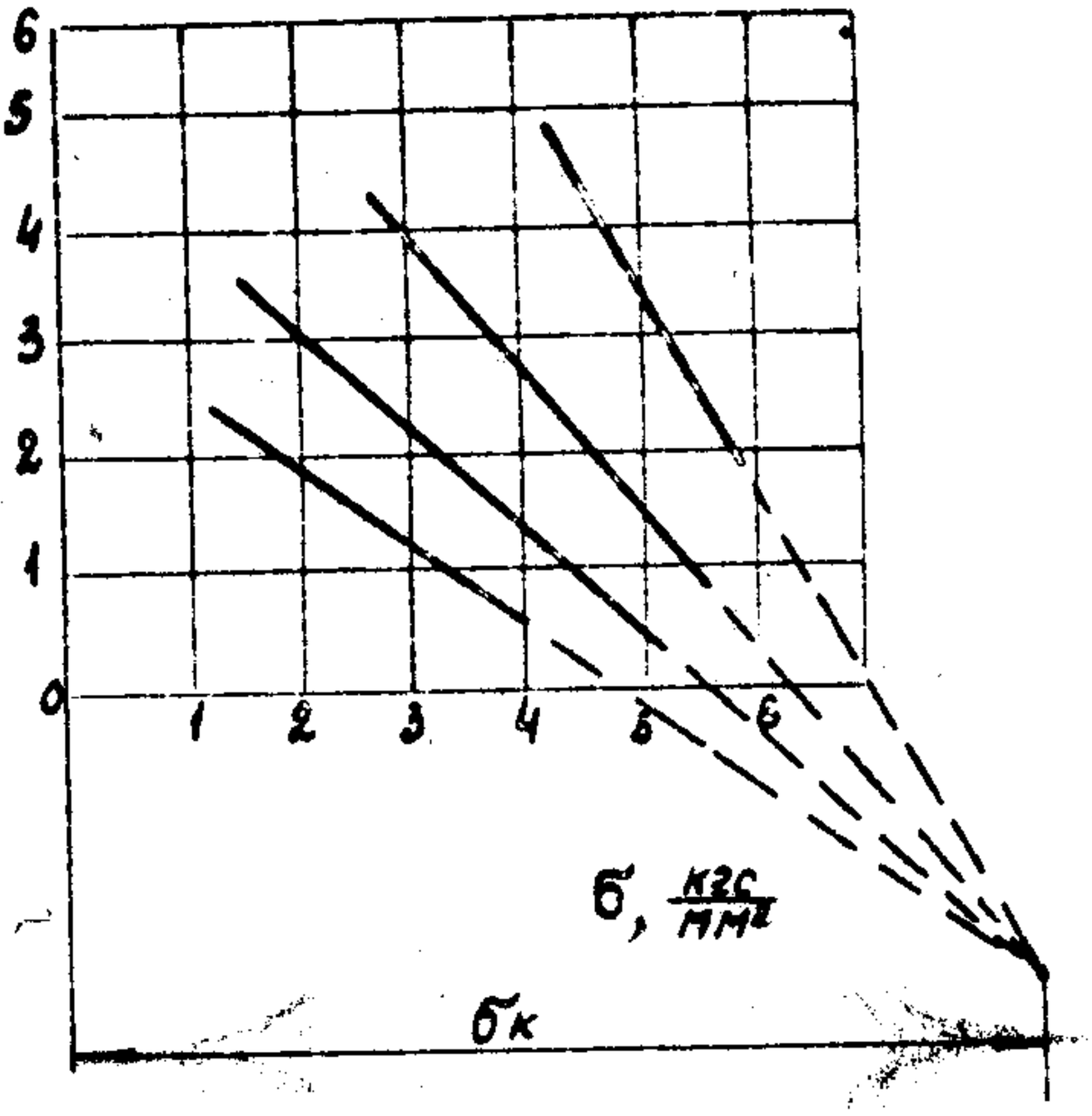


Рис.27

долговечности

$$\tau_p = A \cdot \exp(-\alpha \cdot \sigma), \qquad (32)$$

в котором постоянные A и α связаны с температурой следующими экспериментально установленными соотношениями

$$\alpha = \exp \frac{\gamma}{k \cdot T} \quad и \quad A = \tau_0 \cdot \exp \frac{U_0}{k \cdot T} \qquad (33)$$

где: U_0 - энергия активации процесса разрушения;

T - температура по шкале Кельвина;

k - постоянная Больцмана;

γ - коэффициент, зависящий от структуры материала;

τ_0 10^{-13}сек - период колебания кинетической единицы около положения с минимумом потенциальной энергии.

Совместное рассмотрение соотношений (32) и (33) дает уравнение долговечности Журкова

$$\tau_p = \tau_0 \cdot \exp \frac{U_0 - \gamma \cdot \sigma}{k \cdot T} \qquad (34)$$

Уравнение долговечности подтверждается экспериментальными данными тогда, когда структура испытываемого материала не претерпевает изменения на протяжении испытания. В противном случае экспериментальные точки в полулогарифмических координатах не образуют прямой линии. Такие отклонения тем больше, чем сильнее деформируется испытуемый материал на протяжении опыта. По величине и характеру отклонений судят об изменениях, происходящих в материале.

Временная зависимость прочности несовместима с представлениями о предельных разрушающих напряжениях. Зависимость прочности от времени указывает на протекание процесса разрушения в напряженном состоянии, связанного с развитием имеющихся в материале дефектов. Испытания на разрывных машинах протекают немного быстрее по сравнению с длительностью напряженного состояния изделия, находящегося в условиях эксплуатации. За время испытания дефекты не успевают развиться, а структура изменяется очень сильно. Результаты испытания характеризуют не столько свойства исходного материала образца, сколько его свойства после изменения структуры в процессе испытания. Поэтому испытания на разрывных машинах не дают возможности оценить истинную эксплуатационную характеристику материала. Нужны испытания на долговечность и деформируемость во времени под действием постоянного напряжения.

На рис.27 показано, что продолжение экспериментальных прямых полученных при разных температурах, пересекаются в одной точке, соответствующей максимальной кратковременной прочности материала $\sigma_к$. Чем больше скорость деформирования при испытаниях на разрывных машинах, тем ближе получаемое значение предела прочности к значению $\sigma_к$. С помощью величины $\sigma_к$ удобно сопоставлять прочностные свойства разных материалов. Если бы на рис.27 нанести

графики долговечности для стали, то для нее критическая точка расположилась бы намного правее. Прямая, характеризующая долговечность при комнатной температуре, поднималась бы круто вверх, поскольку для стали при комнатных температурах не удается обнаружить проявление временного характера прочности. Величина $\sigma_к$ в этом случае является единственным показателем прочности и равна пределу прочности, получаемому на разрывной машине. И лишь при высоких температурах (более 400 ÷ 500°С) удается экспериментально наблюдать временной характер прочности, когда графики долговечности получаются в виде наклонных прямых.

В условиях эксплуатации изделий напряжения могут изменяться во времени. В этом случае для долговечности применим закон аддитивности, записываемый для периодически действующего напряжения в виде следующих равенств

$$\tau_p = \tau_1 + \tau_2 + \ldots + \tau_n ; \quad 1 = \frac{\tau_1}{\tau_p} + \frac{\tau_2}{\tau_p} + \ldots + \frac{\tau_n}{\tau_p} \qquad (35)$$

в которых $\tau_1, \tau_2, \ldots \tau_n$ - время действия напряжения в первом периоде, втором и т.д. до n го периода, после которого наступает разрушение.

Если действующее напряжение различно в каждом периоде, то закон аддитивности запишется в виде

$$\sum \frac{\Delta \tau_i}{\tau_p(\sigma_i)} = 1 \qquad (36)$$

где: $\Delta\tau_i$ - время действия напряжения, которому соответствует долговечность $\tau_p(\sigma_i)$.

Для непрерывно изменяющегося напряжения условие разрушения (36) запишется в виде следующего интеграла

$$\int_0^{\tau_{p(пер)}} \frac{d\tau}{\tau_p[\sigma(\tau)]} \qquad (37)$$

в котором $\tau_{p(пер)}$ представляет собой время с момента нагружения до разрушения при переменном напряжении $\sigma(\tau)$.

Приведенные закономерности по временной зависимости проч-

ности в инженерных расчетах применяются редко, что объясняется отсутствием требующихся экспериментальных данных и методов выполнения расчетов с помощью этих данных. Кроме того, как уже отмечалось, эти закономерности в реальных условиях часто не соблюдаются, что затрудняет использование их для расчетов. Все это вынуждает прибегать к применению традиционных методов расчета на прочность, излагаемых в курсах сопротивления материалов. Применяя их к пластмассам, необходимо учитывать специфику свойств последних. Так, для пластмассовых изделий должны приниматься более высокие запасы прочности, а показатели свойств нужно брать строго в соответствии с температурными условиями эксплуатации рассчитываемых изделий.

В телах, подчиняющихся закону Гука, напряженное состояние от действия внешних нагрузок описывается формулами сопротивления материалов. Любое напряженное состояние в точке характеризуют тремя главными нормальными напряжениями по трем взаимно перпендикулярным направлениям. Затем, в зависимости от свойств материала, применяют соответствующую теорию прочности для расчета по главным напряжениям эквивалентного напряжения, которое сопоставляется с предельной прочностью материала, оцениваемой путем испытания образцов на разрывных машинах. Такой расчет пластмассовых изделий является строгим при кратковременных нагружениях, когда деформации развиваются по закону Гука. С течением времени действия нагрузки проявляется ползучесть, причем развивающиеся деформации больше в тех точках и в тех направлениях, где выше напряжения. Вследствие этого первоначальное напряженное состояние постепенно изменяется; происходит выравнивание напряжений. Таким образом, в пластмассовых изделиях наиболее опасное с точки зрения прочности напряженное состояние бывает

в начальный момент нагружения, когда можно пользоваться формулами сопротивления материалов. Получающиеся при расчетах по этим формулам ошибки приводят к большему запасу прочности.

Полимерные материалы относятся к низкомодульным. Развивающиеся при кратковременных нагрузках деформации могут быть достаточно большими, чтобы изделие потеряло конструктивную определенность, поэтому для пластмассовых изделий деформационные расчеты приобретают не меньшее значение, чем прочностные. На основании этих соображений рекомендуется даже при кратковременных нагрузках не допускать напряжения, близкие к предельной прочности. Так для термопластов они не должны превышать 50% от предельной прочности, определяемой механическими испытаниями. Для реактопластов 60÷80%.

Изделия, работающие под длительными нагрузками, должны рассчитываться, согласно имеющимся справочным данным, на напряжения, составляющие от предельных не более 20÷25%, если нет более точных экспериментально обоснованных данных о допустимых напряжениях. Последние получают путем испытания образцов , или непосредственно изделий, на долговечность при действии постоянных напряжений. Результаты испытаний изображают в виде графиков σ – t при разных температурах, по которым находят допустимые напряжения в заданных условиях эксплуатации (время, температура).

В случае прямолинейных графиков для определения допустимых напряжений может использоваться уравнение (34).

На основании практических данных рекомендуется для изотропных термопластов применять четвертую теорию прочности и рассчитывать эквивалентное напряжение $\sigma_э$ по следующей расчетной формуле

$$\sigma_э = \sqrt{\left[(\sigma_1-\sigma_2)^2+(\sigma_2-\sigma_3)^3+(\sigma_3-\sigma_1)^2\right]} \leq \sigma_д \qquad (44)$$

где: $\sigma_1; \sigma_2 и \sigma_3$ - главные нормальные напряжения в опасной точке рассчитываемого изделия, из которых σ_1 имеет максимальное значение, а σ_3 - минимальное со знаками плюс для растягивающих напряжений и со знаками минус для напряжений сжатия;

$\sigma_д$ - допустимое напряжение.

Для изотропных реактопластов рекомендуется обобщенная теория прочности Мора, дающая следующую расчетную формулу

$$\sigma_э = \sigma_1 - \frac{\sigma_р}{\sigma_{сж}} \cdot \sigma_3 \leq \sigma_д \qquad (45)$$

где: $\sigma_р$ и $\sigma_{сж}$ пределы прочности при растяжении и сжатии, соответственно.

По этой теории среднее по величине напряжение σ_2 не влияет на прочность, поэтому в формулу не входит, а допустимое напряжение определяется по прочности при растяжении.

Для анизотропных пластмасс применяют теорию наибольших нормальных напряжений. Деформации в сложном напряженном состоянии рассчитываются согласно закону Гука по следующим уравнениям

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma_1}{E} - \mu\left(\frac{\sigma_2}{E} + \frac{\sigma_3}{E}\right)$$
$$\varepsilon_2 = \frac{\sigma_2}{E} - \mu\left(\frac{\sigma_1}{E} + \frac{\sigma_3}{E}\right) \qquad (46)$$
$$\varepsilon_3 = \frac{\sigma_3}{E} - \mu\left(\frac{\sigma_1}{E} - \frac{\sigma_2}{E}\right)$$

где: ε_1; ε_2 и ε_3 - деформации в направлении действия главных нормальных напряжений;

μ - коэффициент Пуассона, принимаемый для пластмасс равным 0,5.

Предельная прочность полимерных материалов при различных средах и марках определяется стандартизированными методами. Результаты этих определений для всего многообразия пластмасс даются в справочниках. Чтобы правильно пользоваться этими данными надо понимать сущность стандартных методов.

1. Испытания на растяжение проводятся по ГОСТ 11262-68. Стандартом предусмотрено 6 типов образцов для различных материалов. На них определяются: предел прочности, предел текучести, удлинение в момент появления текучести и удлинение при разрыве. Для прочностных расчетов используется обычно предел прочности, который представляет собой отношение усилия на испытываемом образце в момент его разрушения к площади поперечного сечения в исходном состоянии. Истинные напряжения в момент разрушения значительно больше этой величины, поскольку перед разрушением образец сильно удлиняется и соответственно уменьшается площадь его поперечного сечения. Для хрупких пластмасс (например для реактопластов), имеющих небольшое удлинение при испытании, такой подход вполне оправдан. Для материалов с большим удлинением правильнее было бы выбирать допустимые напряжения по пределу текучести.

2. Испытания на сжатие проводятся по ГОСТ 4651-68, согласно которому определяют предел прочности при сжатии. Для хрупких материалов его рассчитывают как отношение разрушающего усилия к начальной площади поперечного сечения испытываемого образца. Для неразрушающихся пластичных материалов предел прочности характеризуют отношением усилия на образце в момент раздавливания его, когда деформация нарастает без существенного увеличения усилия, к начальной площади поперечного сечения образца.

3. Испытания на статический изгиб проводят по ГОСТ 4648-71. Предел прочности при изгибе хрупких материалов характеризуют напряжением в момент разрушения образца. Для материалов, не разрушающихся при изгибе, прочность оценивают по величине напряжения в момент прогиба испытуемого образца на 1,5 толщины его.

4. Для деформационных расчетов используются модули упругости, определяемые по ГОСТ 9550-71, согласно которому эксперименталь-

но находят одно значение модуля при растяжении, или изгибе, соответствующее условиям испытаний.В практических расчетах, с целью учета ползучести, иногда модуль упругости представляют в виде переменной величины, уменьшающейся с увеличением времени действия напряжения. Необходимо учитывать также изменение модуля с температурой.

Большинство стандартных методов механических испытаний дают такие показатели механических свойств, которые невозможно использовать для расчетов. Тем не менее они широко применяются для сравнения материалов между собой. При выборе материала для того или иного изделия они оказываются весьма полезными. Отметим среди них наиболее важные.

I. Испытания на ударный изгиб по ГОСТ 4647-69.В этом стандарте предусмотрено определение ударной вязкости, представляющей собой отношение работы разрушения образца к площади поперечного сечения его. Этот показатель не может быть использован для расчетов потому, что разрушение носит локальный характер и затрачиваемая при этом работа не столько характеризует материал, сколько геометрическую форму разрушаемого тела. Однако, он служит прекрасным ориентиром для оценки областей применения различных материалов на основании имеющегося опыта.

2. Теплостойкость по Мартенсу (ГОСТ I5069-69), или по Вика (ГОСТ I5065-69; ГОСТ I5068-69),также не может использоваться при расчетах. Но при выборе материала для проектируемого изделия знание теплостойкости необходимо. По Мартенсу за теплостойкость принимается температура, при которой в обусловленных условиях нагрева (50 град/час) под действием груза , создающего напряжения изгиба 50 кгс/см^2, консольный конец стандартного бруска прогибается на определенную величину. По Вика теплостойкость оце-

нивают по вдавливанию цилиндра ∅ 1,3мм на глубину 1мм под действием груза в 1 , или 5 кг. Оба показателя условны, тем не менее дают возможность охарактеризовать температурные области применения разных материалов путем их сравнения на основании имеющегося опыта.

3. Для изделий, работающих при низких температурах, необходимо знать температуру хрупкости, определяемую по ГОСТ 16782-71 и ГОСТ 16783-69. Оба метода являются разрушающими. По первому методу производится изгиб консольно закрепленного образца размером 2х6х25 на величину 7мм. По второму методу полоска материала 0,5х 6 складывается в виде петли. Указанное деформирование производят при разных температурах. Температуру при которой разрушается 50% образцов, называют температурой хрупкости.

4. Твердость пластмасс определяется по ГОСТ 4670-67 и ГОСТ 13323-67. Шарик диаметром d =5мм под действием силы P =225кг вдавливается в испытуемый образец втечение 60 секунд. Измеряется глубина продавливания h и остаточная деформация h_1. По этим данным вычисляют :

1) Число твердости H

$$H = \frac{P}{\pi \cdot d \cdot h} \qquad (47)$$

2) Число упругости $У$

$$У = \frac{h - h_1}{h} \cdot 100\% \qquad (48)$$

3) Число пластичности $П$

$$П = \frac{h_1}{h} \cdot 100\% \qquad (49)$$

Получаемые по данному методу результаты испытания непосредственно не используются в расчетах. Однако по числу твердости ориентировочно может быть рассчитан предел прочности при разрыве с помощью следующей эмпирической формулы

$$\sigma_p = 0,36 \cdot H \qquad (50)$$

5. При эксплуатации изделий весьма важно знать стабильность свойств применяемого материала. В связи с этим разработаны и применяются следующие методы:

I) По ГОСТ 4650-73 определяется водопоглощение. Образцы выдерживаются втечение определенного времени в воде и путем взвешивания определяют количество поглощаемой воды.

2) По ГОСТ I7I70-7I определяют атмосферостойкость и светостойкость в естественных погодных условиях на стендах. Параллельно испытываются две партии образцов. Одна партия испытывается в начале опытов и после выдерживания на стенде. Вторая партия (контрольная) хранится в помещении и испытывается одновременно с первой партией по окончании опытов. По изменению свойств судят о стойкости материала. Причем оценку ведут по тому показателю, который представляет наибольший интерес при эксплуатации изделия.

3) По ГОСТ I7I7I-7I оценивают светостойкость материала в условиях искусственного облучения на специальных приборах-везерометрах. Применяя интенсивное облучение, значительно ускоряют процесс испытания. В качестве критерия стойкости, как и в предыдущем методе , выбирается наиболее важный показатель свойств.

Среди перечисленных методов есть как разрушающие, так и неразрушающие. Предпочтение следует отдавать неразрушающим методам, поскольку они могут применяться для непосредственного контроля изделий, поступающих на эксплуатацию. В этом отношении наиболее интересным является метод испытания на твердость. Следует полагать, что подобным методам принадлежит будущее. Применяя вместо шарика лопаточки различных форм и размеров, можно выявлять, например, анизотропию свойств, что очень важно для правильной характеристики эксплуатационных свойств изделия. Проведя испытания при разных температурах можно находить допустимый

температурный интервал эксплуатации изделия.

2.2. Расчет на изгиб изделий из низкомодульных материалов.

К конструкционным материалам принято относить те материалы, у которых модуль упругости имеет достаточно большое значение, чтобы изделие в процессе эксплуатации под нагрузкой сохраняло свою форму и размеры. С появлением резин, имеющих очень низкие модули упругости, и применяемых для изделий, работающих под нагрузкой, представления о конструкционных материалах стали изменяться. Конструкторы начали использовать низкомодульные материалы для разработки таких конструкций, которые дают новые, неожиданные с точки зрения прежних представлений, эффекты. Так были созданы резиновые шины для транспортных машин, всевозможные амортизаторы, гибкие трубы (манжеты) и другие резинотехнические изделия. Появление пластмасс с разнообразными свойствами еще более расширяют возможности конструкторов и сдерживающим фактором становится привычка к старым традиционным материалам. Это проявляется также и в отношении расчетов, выполняемых при конструировании пластмассовых изделий, для которых стремятся применить те же формулы сопротивления материалов, корректируя их с учетом отличительных особенностей новых материалов.

Пластмассовые изделия, подвергающиеся изгибу, вследствие низкомодульности пластмасс могут иметь своеобразные характеристики и это начинают использовать конструкторы. Так имеются изделия, у которых благодаря хорошей гибкости отдельные элементы выполняют функции шарниров, пружин, защелкивающих устройств и т.п. Гибкость используют также при транспортировке и хранении погонажных изделий, путем наматывания их на бобины и т.д. Применяя

для расчетов известные формулы сопротивления материалов приходится учитывать необычность постановки задач.

Рассмотрим прямолинейную пластику с прямоугольным поперечным сечением, подвергающуюся чистому изгибу под действием двух пар сил, приложенных по концам (смотрите рис.29)



Рис.29

В результате изгиба верхние волокна пластины растягиваются, а нижние сжимаются. В середине сечения пластины сохраняется нейтральный слой, в волокнах которого не будет нормальных напряжений. Если модули упругости при растяжении и сжатии равны, то нейтральный слой пройдет через центр тяжести поперечного сечения пластины перпендикулярно плоскости действия изгибающих моментов. Два параллельных сечения I-I и II-II, расположенные на расстоянии

2ℓ друг от друга, при изгибе разворачиваются, образуя угол 2α, как показано на рис.29 справа внизу. Из подобия треугольников, показанных на рисунке толстыми линиями, вытекает следующее соотношение

$$\frac{\Delta}{z} = \frac{\ell}{\rho_0} \quad или \quad \frac{\Delta}{\ell} = \frac{z}{\rho_0} = \varepsilon \qquad (51)$$

в котором: Δ - удлинение участка волокна длиной ℓ, расположенного на расстоянии z от нейтральной поверхности;

ρ_0 - радиус кривизны нейтральной поверхности;

ε - относительная деформация растянутого волокна.

С помощью закона Гука соотношение (51) преобразуется к виду

$$\rho_0 = \frac{E}{\sigma} \cdot z \quad , \text{ или } \quad \sigma = \frac{E}{\rho_0} \cdot z \qquad (52)$$

В волокнах, расположенных на поверхности пластины, где $z = 1/2 \cdot \delta$, напряжения будут иметь максимальное значение $\sigma_и$, вычисляемое по формуле

$$\sigma_и = \frac{E}{\rho_0} \cdot \frac{\delta}{2} \qquad (53)$$

Распределение относительных деформаций ε и соответствующих им напряжений σ по толщине пластины для гуковских тел изображается прямолинейными графиками, показанными на рис.29. Для полимерных материалов, отклоняющихся от закона Гука, при линейном распределении величины деформаций напряжения изобразятся криволинейным графиком, поскольку модуль упругости в формуле (52) будет переменной величиной, уменьшающейся во времени. Чем больше время действия нагрузки, тем меньше становятся напряжения на поверхности пластины за счет повышения напряжений в волокнах, расположенных ближе к нейтральной поверхности.

Соотношение между изгибающим моментом $M_и$ и напряжениями находится из условия равновесия одной из половинок пластины, выражаемого в виде уравнения

$$M_и = \int_F \sigma \cdot z \cdot dF \qquad (54)$$

где: F - площадь поперечного сечения пластины.

Используя соотношение (52), приведем уравнение (54) к виду

$$M_u = \frac{E}{\rho} \int z^2 dF = \frac{E}{\rho} \cdot J \qquad (55)$$

в котором: J - момент инерции сечения пластины относительно нейтральной оси, проходящей через центр тяжести сечения.

Максимальные напряжения изгиба, согласно формуле (55) и уравнению (55), могут рассчитываться для сечений, симметричных относительно нейтральной оси (см.рис.29 - I,II), по формуле

$$\sigma_u = \frac{M_u}{J} \cdot \frac{\delta}{2} = \frac{M_u}{2J/\delta} = \frac{M_u}{W} \qquad (56)$$

где: $W = \frac{2J}{\delta}$ - момент сопротивления сечения пластины.

Для несимметричных сечений (см.рис.29-III) напряжения в верхних $\sigma_{uв}$ и нижних волокнах $\sigma_{uн}$ различны как по знаку, так и по абсолютным значениям, вычисляемым по формулам:

$$\sigma_{uв} = \frac{M_u}{J/z_1} \quad и \quad \sigma_{uн} = \frac{M_u}{J/z_2} \qquad (57)$$

Вышеприведенные формулы являются строгими при малых значениях деформаций, когда можно пренебречь изменением сечений деформируемых волокон. В низкомодульных материалах деформации достигают таких значений, при которых сужение растягиваемых волокон и расширение сжимаемых приводит к значительному смещению нейтральной поверхности от центра тяжести сечения в направлении сжимаемых напряжений и вышеприведенные формулы могут давать существенные погрешности. Кроме того, при больших деформациях возникают погрешности вследствие отклонений от закона Гука, когда эпюра напряжений в сечении изгибаемой полосы становится криволинейной, как показано на рис.29 снизу.

Формулой (55) можно пользоваться при напряжениях изгиба σ_u, не превышающих некоторых предельных значений σ_y, характерных

для различных материалов и разных температурах. На рис.25 эти напряжения соответствуют верхним точкам начальных участков кривых, которые с допустимой погрешностью аппроксимируются прямыми линиями. По величине σ_s находится минимальное значение ρ_0, при котором изгиб не приводит к заметным повреждениям изделия, т.е. условие безопасного изгиба определяется следующим неравенством

$$\rho_0 > \frac{E}{\sigma_s} \cdot \frac{\delta}{2} \qquad (58)$$

При более сильном изгибе σ_u превысит величину σ_s и возрастут необратимые деформации в материале, т.е. после снятия изгибающего усилия изделие будет искривленным. Если модуль упругости мал и материал имеет большое удлинение при растяжении, то лист такого материала, как показывает практика, может изгибаться без



Рис.30

разрушения с радиусом кривизны в середине сечения $\rho_c < \delta$ и даже складываться вдвое, когда $\rho_c = 1/2 \cdot \delta$ (см.рис.30). При этом нейтральная поверхность может не совпадать с серединой сечения.

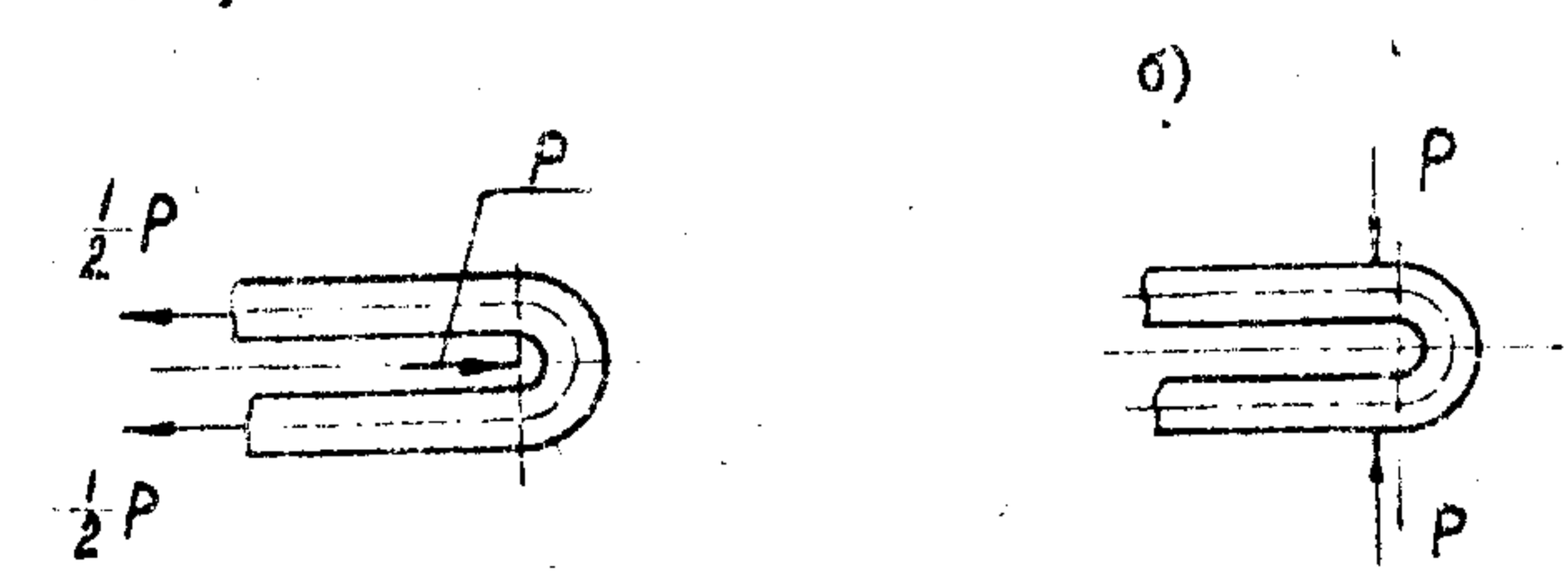


Рис.31

Если изгиб происходит под действием растягивающих сил (см. рис. 31[а]), то нейтральная поверхность смещается в направлении сжима-

ешних волокон и $\rho_0 < \rho_c$. Если изгибающие силы сжимают пластину (см.рис.3I^б), то нейтральная поверхность смещается в направлении растягиваемых волокон и $\rho_0 > \rho_c$. Очевидно, что путем применения специальной комбинации изгибающих сил можно достичь равенства $\rho_0 = \rho_c$. Применяя условно к этому случаю формулу (53), найдем условия, при которых материал способен складываться вдвое, т.е. $\rho_c = \rho_0 = \frac{\delta}{2}$, без каких либо повреждений, или остаточных деформаций.

$$\frac{E}{\sigma_y} < I \text{ ; или } E < \sigma_y \qquad (59)$$

Материалы, удовлетворяющие условию (59), называют эластомерами.

Если материал при перегибе на 180^0 имеет остаточные деформации, но не разрушается, то для него, согласно формулам (5I) + (56) и (59) предельное удлинение ε_0 должно удовлетворять условию

$$\varepsilon_0 > I \qquad (60)$$

Полимерные материалы, в зависимости от значений модуля упругости, подразделяют на эластомеры, низкомодульные пластмассы, конструкционные пластмассы средней жесткости и высокомодульные композиции.

У эластомеров (резина, пластифицированный ПВХ и др.) модуль упругости удовлетворяет условию (59).

К низкомодульным пластмассам можно относить полимерные материалы с модулем упругости $E = I0^3 + I0^4$ кгс/см^2 (полиэтилены; фторопласты; ПВХ с небольшим количеством пластификатора и др.). Они успешно применяются для уплотнительных изделий (прокладки, манжеты) и всевозможных пробок, крышек, мягких емкостей и т.п.

Конструкционные пластмассы средней жесткости имеют модуль упругости $E = I0^4 + I0^5$ кгс/см^2 (полиамиды; жесткий ПВХ; полистирол; поликарбонат; фенопласты; аминопласты и т.д.). Эти материалы применяют для изделий широкого потребления (бытовые изделия, ит-

ручки и т.п.) и для различных технических изделий.

Высокомодульные композиции с модулем упругости $E > 10^5$ кгс/см^2 представляют собой высокопрочные жесткие материалы, применяемые для ответственных изделий, работающих под большими нагрузками. Высокие механические свойства достигаются вследствие применения в композиции волокнистых наполнителей (стеклопластики, углепластики и т.п.).

Решение некоторых задач по изгибу пластмассовых изделий иногда существенно облегчается путем использования равенства между упругой энергией изгибаемого изделия U_y и работой внешних сил $U_в$, осуществляющих изгиб. Упругая энергия при изгибе участка изделия длиной ℓ в общем случае равна

$$U_y = \frac{1}{2}\int_0^{\ell} M_u \cdot d\alpha$$

где: α - угол поворота поперечного сечения изгибаемого изделия.

Согласно рисунку 29 можно написать

$$d\alpha = \frac{d\ell}{\rho_0}$$

Величина $1/\rho_0$, согласно (55), равна

$$1/\rho_0 = \frac{M_u}{E \cdot y}$$

Сделав подстановки, получим

$$U_y = \frac{1}{2}\int_0^{\ell} M_u \cdot \frac{M_u}{E \cdot y} \cdot d\ell = \int_0^{\ell} \frac{M_u^2}{2 \cdot E \cdot y} \cdot d\ell = \int_0^{\ell} \frac{E \cdot y}{2 \cdot \rho_0^2} \cdot d\ell$$

Для однородного изгиба ($M_u = Const$) имеем

$$U_y = \frac{M_u^2}{2 \cdot E \cdot y} \cdot \ell = \frac{M_u}{2 \cdot \rho_0} \cdot \ell = \frac{E \cdot y}{2 \cdot \rho_0^2} \cdot \ell \qquad (61)$$

С помощью полученной формулы легко находится, например, крутящий момент, необходимый для намотки экструдируемых изделий на круглые бухты по схеме, показанной на рис.32

Наматываемое на бухту изделие изгибается с радиусом кривизны ρ_0. Необходимый для этого изгибающий момент M_u создается силой натяжения Q и силой прижатия изгибающего ролика к трубе P. С целью уменьшить напряжения в наматываемом изделии стремятся

вести процесс намотки в условиях чистого изгиба, когда $Q=0$ и

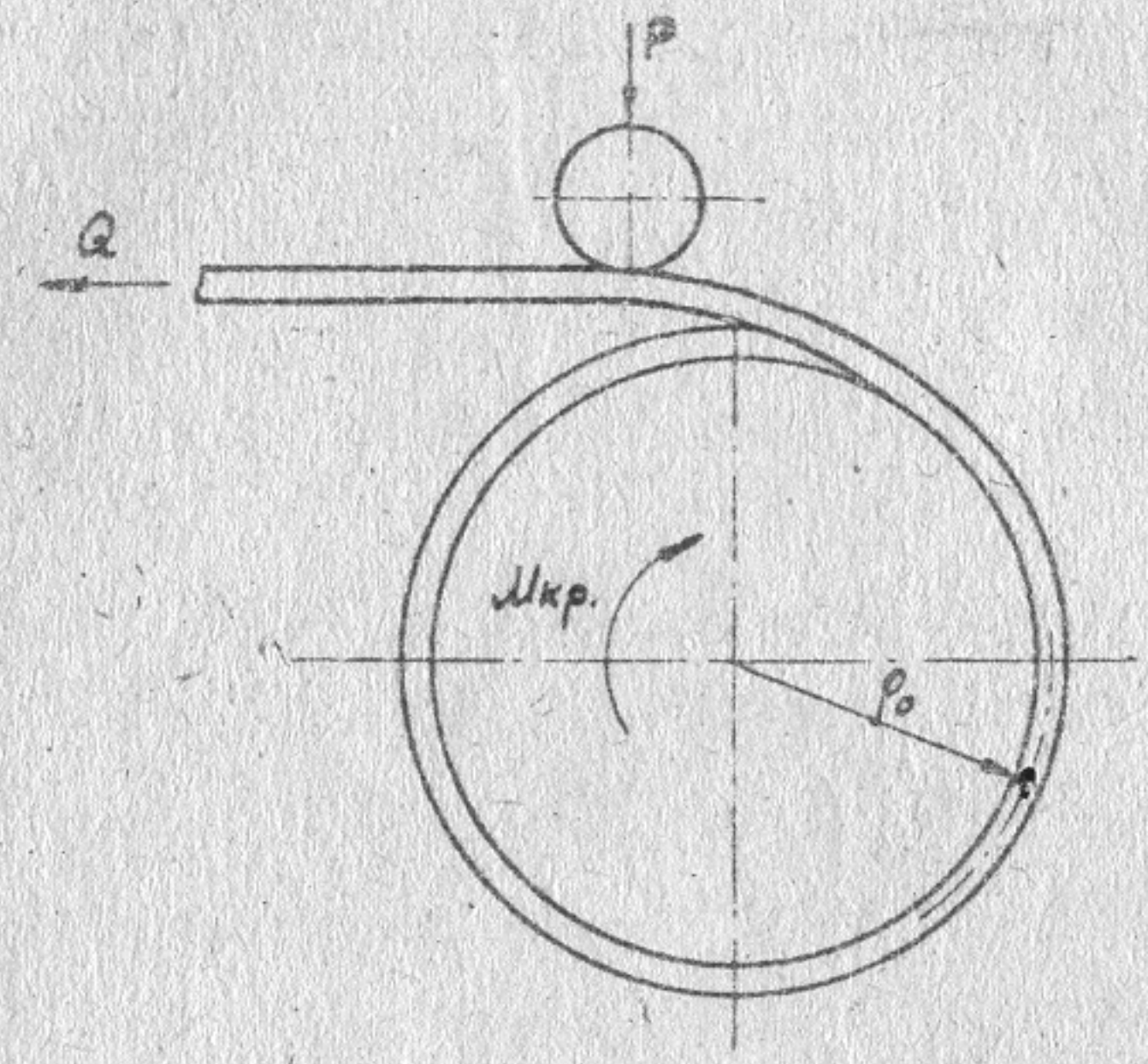


Рис.32

работа, затрачиваемая при намотке $U_б$, равна

$$U_б = M_{кр} \cdot \varphi = M_{кр} \cdot \frac{\ell}{\rho_0} = U_у = \frac{M_и}{2 \cdot \rho_0} \cdot \ell ,$$

откуда $M_{кр} = \frac{1}{2} M_и$

2.3. Расчет сопрягаемых изделий.

Взаимодействия изделий в условиях эксплуатации весьма разнообразны и среди этого многообразия целесообразно выделить такие случаи, когда на соприкасающихся поверхностях возникают силы давления, создающие напряженное состояние во всей стенке изделия. Расчет в таких случаях представляет особый интерес, поскольку он дает возможность в процессе конструирования обосновать выбор материала и размеров, обеспечивающих требующиеся эксплуатационные характерист..ки.

Если сечение сопрягающегося изделия образует разомкнутый контур, то его стенки изгибаются и для расчета используются соответствующие формулы сопротивления материалов с учетом специфи-

ки свойств пластмасс, как указывалось выше. Если же сечение сопрягающегося изделия образует замкнутый контур, то значение изгиба резко утрачивается, особенно в тонкостенных изделиях, в которых превалируют одни растягивающие или одни сжимающие напряжения. В стенках толстостенных изделий на растяжение (или сжатие) накладывается изгиб.

В общем виде напряжения в стенках круглого цилиндра (рис.53) при действии внутреннего p_2 и внешнего p_1 давлений находят по формулам Гадолина-Лямe. Элемент материала стенки на расстоянии z

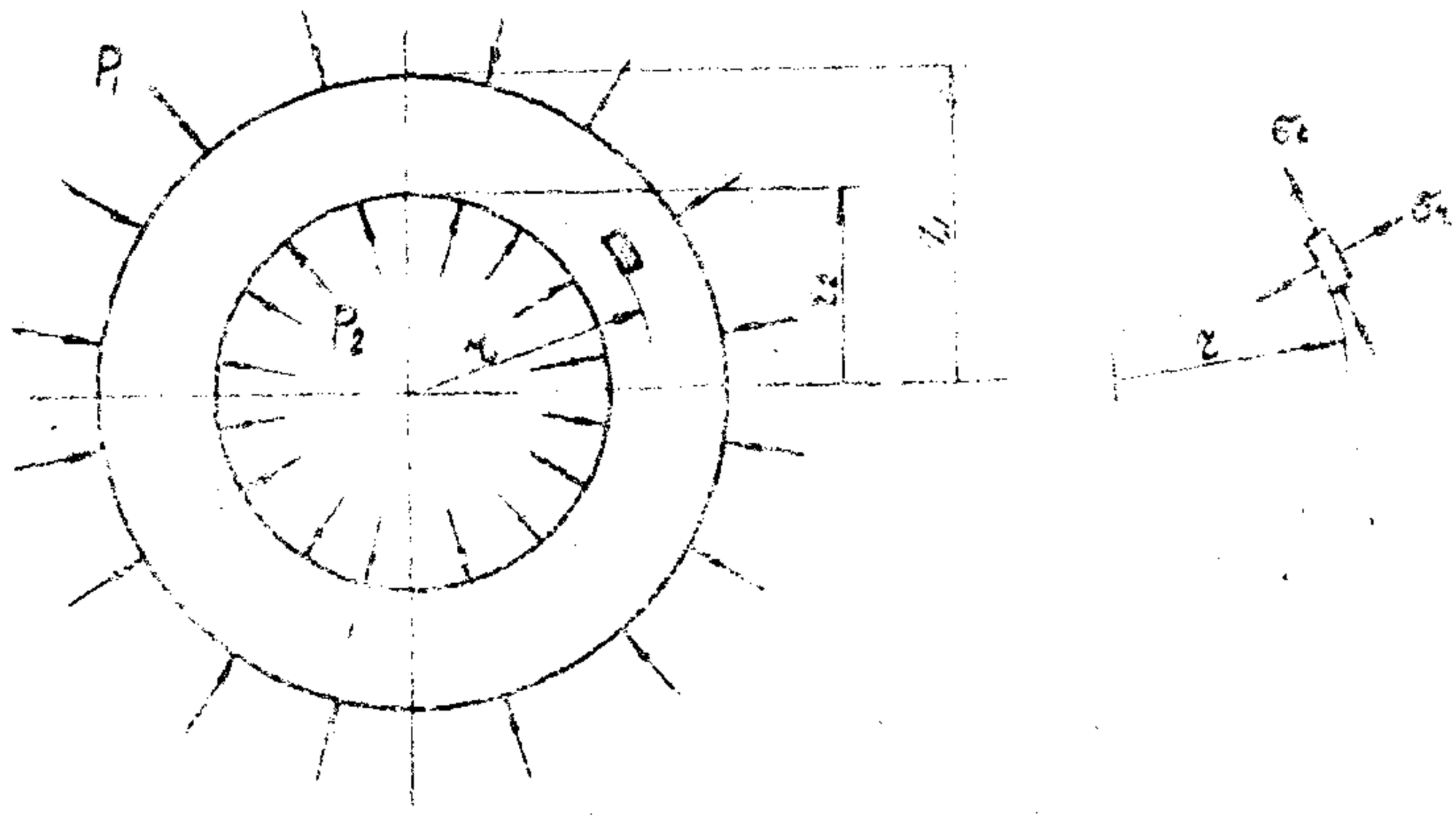


Рис.53

от оси цилиндра испытывает сложное напряженное состояние, характеризуемое тремя главными напряжениями: в тангенциальном направлении $-\sigma_t$; в радиальном направлении σ_z и в осевом направлении σ_z

$$\sigma_t = \frac{p_2 z_2^2 - p_1 z_1^2}{z_1^2 - z_2^2} - \frac{(p_2 - p_1) z_1^2 z_2^2}{z^2 (z_1^2 - z_2^2)}$$

$$\sigma_z = \frac{p_2 z_2^2 - p_1 z_1^2}{z_1^2 - z_2^2} + \frac{(p_2 - p_1) z_1^2 z_2^2}{z^2 (z_1^2 - z_2^2)} \qquad (62)$$

$$\sigma'_z = \frac{p_2 z_2}{2(z_1 - z_2)}$$

У сопрягающихся изделий давление на внешней или внутренней поверхности стенки создается вследствие натяга. Как правило, имеет место только одно из них, при этом осевое давление отсутствует, поэтому всегда $\sigma_z = 0$.

Принимая в формулах (62) $p_1 = 0$ и подставляя в них вместо текущей координаты r ее значения r_1 и r_2 для наружной и внутренней поверхностей соответственно, получим величины напряжений σ_t и σ_r на этих поверхностях. Так радиальное напряжение на внутренней поверхности $\sigma_{r_2} = -p_2$, а на наружной - $\sigma_{r_1} = 0$. Тангенциальные напряжения всегда будут положительными (растягивающими) и на внутренней поверхности σ_{t_2} всегда больше, чем на наружной σ_{t_1}. Можно показать, что отношение этих напряжений при $p_1 = 0$ равно:

$$\frac{\sigma_{t_2}}{\sigma_{t_1}} = 1 + \frac{\delta}{r_2} + \frac{1}{2}\left(\frac{\delta}{r_2}\right)^2 > 1 \qquad (63)$$

где: $\delta = r_1 - r_2$ - толщина стенки.

Если рассматриваемое изделие располагается внутри другого изделия, то $p_1 \neq 0$, а $p_2 = 0$. В этом случае формулы (62) дадут:

$$\sigma_{r_1} = -p \quad \text{и} \quad \sigma_{t_2} = 0.$$

Тангенциальные напряжения будут отрицательными (сжимающими). Подставляя в формулы (62) $p_2 = 0$ и для r значения r_2 и r_1 получим значения тангенциальных напряжений на поверхностях изделия. Отношение этих напряжений будет равно:

$$\frac{\sigma_{t_2}}{\sigma_{t_1}} = \frac{2}{2 - 2\frac{\delta}{r_1} + \left(\frac{\delta}{r_1}\right)^2} > 1 \qquad (64)$$

Соотношения (63) и (64) показывают, что абсолютные значения тангенциальных напряжений на внутренней поверхности изделия в обоих случаях больше, чем на наружной. Это различие тем больше, чем толще изделие, т.е. больше величина δ. По мере уменьшения толщины различия уменьшаются и отношение напряжений стремится к единице, т.е. $\frac{\sigma_{t_2}}{\sigma_{t_1}} \to 1$ при $\frac{\delta}{r_2} \to 0$ и $\frac{\delta}{r_1} \to 0$

В изделиях, толщина которых значительно меньше радиуса, можно принимать $\sigma_{t_2} = \sigma_{t_1}$ и пользоваться упрощенными формулами (25). Допускаемая при этом ошибка определяется из соотношений (63) и (64).

На рисунке 34 показаны цилиндры перед запрессовкой их друг в друга. У внутреннего цилиндра наружный радиус больше внутреннего радиуса внешнего цилиндра на величину натяга Δz.

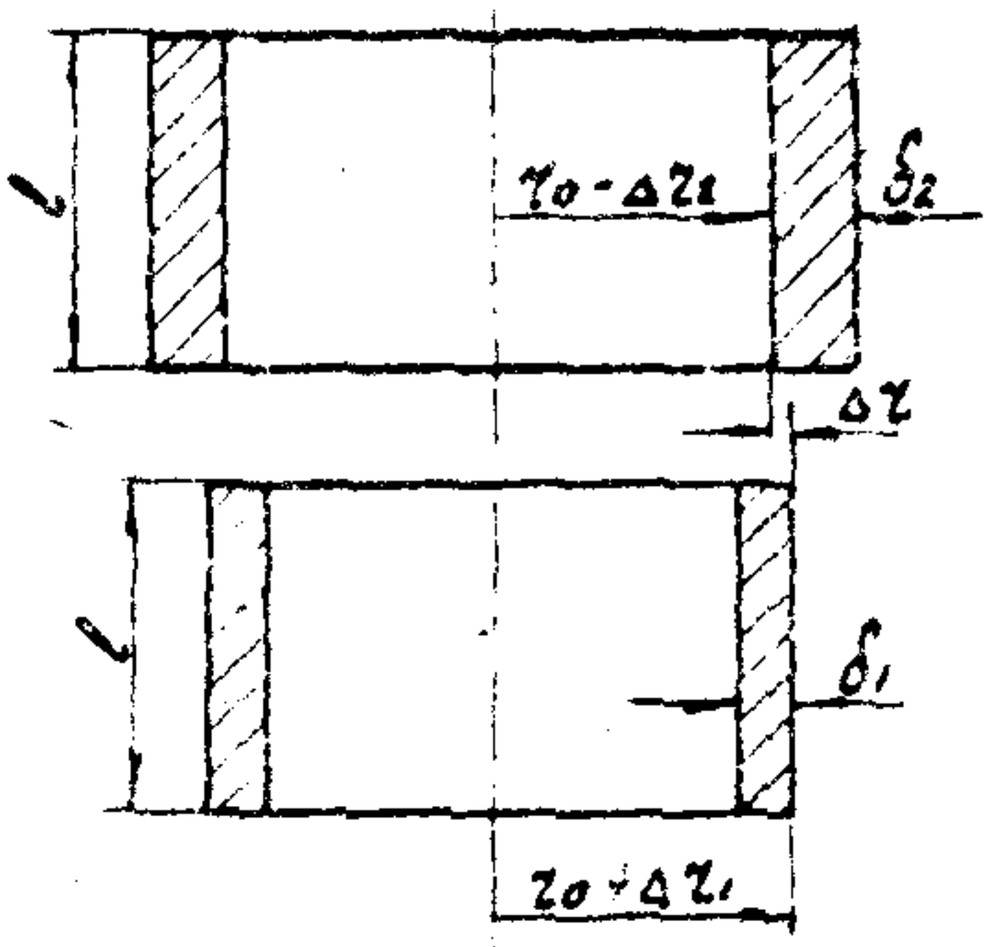


Рис.34

После запрессовки посадочная поверхность у обоих цилиндров имеет один и тот же радиус r_0, поскольку радиус внешнего цилиндра увеличился на величину Δz_2, а у внутреннего цилиндра уменьшился на Δz_1, т.е.

$$|\Delta z_1| + |\Delta z_2| = \Delta z \qquad (65)$$

В результате натяга на сопряженных поверхностях развивается давление p, являющееся внешним для внутреннего цилиндра и внутренним для внешнего цилиндра, а в стенках цилиндров возникнут тангенциальные сжимающие напряжения σ_1 и растягивающие напряжения σ_2 у внутреннего и внешнего цилиндров, соответственно. Соотношение между этими величинами с точностью, контролируемой формулами (65) и (64), описывается уравнением (23), которое запишем

в виде:

$$p = \left| \frac{\sigma_1 \cdot \delta_1}{r_0} \right| = \left| \frac{\sigma_2 \cdot \delta_2}{r_0} \right| \qquad (66)$$

и из которого следует равенство:

$$|\sigma_1 \cdot \delta_1| = |\sigma_2 \cdot \delta_2|, \text{ или } \frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \frac{\delta_2}{\delta_1} \qquad (67)$$

показывающее, что отношение напряжений в стенках сопрягаемых цилиндров обратно пропорционально отношению их толщин и не зависит от свойств материала стенок.

Свойства материалов цилиндров, характеризуемые соответствующими модулями упругости E_1 и E_2, будут влиять на уровень напряжений σ_1 и σ_2. Чем выше модули упругости, тем выше напряжения при одном и том же натяге Δr. Применяя закон Гука в виде

$$\sigma_1 = \frac{\Delta r_1}{r_0} \cdot E_1 \; ; \; \sigma_2 = \frac{\Delta r_2}{r_0} \cdot E_2$$

и соотношения (65), (67), найдем:

$$\sigma_1 = \frac{\Delta r}{r_0} \cdot \frac{\delta_2 \cdot E_1 \cdot E_2}{\delta_1 E_1 + \delta_2 E_2} \; ; \; \sigma_2 = \frac{\Delta r}{r_0} \cdot \frac{\delta_1 \cdot E_1 \cdot E_2}{\delta_1 \cdot E_1 + \delta_2 \cdot E_2} \qquad (68)$$

Найденные значения тангенциальных напряжений имеют место в начальный момент запрессовки цилиндров при условии, что реализуемые деформации не выходят за пределы упругих. С течением времени напряжения снижаются вследствие релаксации.

Формулы (68) дают возможность рассчитать давление на сопрягаемых поверхностях по величине заданного натяга r путем подстановки рассчитанных значений σ_1 или σ_2 в формулы (66). Необходимость расчета давления p появляется при конструировании таких изделий, в которых существенное значение имеют силы трения, возникающие на сопрягаемых поверхностях, поскольку величина их определяется величиной этого давления. Так, например, пластмассовые подшипники иногда удерживаются в посадочных гнездах за счет сил трения, создаваемых натягом. Металлическая арматура в пластмассовых изделиях также удерживается силами трения, если не

предусмотрены для этого специальные уступы, или пазы. В таких изделиях как пробки, крышки, чехлы и т.п., сила трения, создаваемая натягом, является важным эксплуатационным фактором. Величина силы трения $Q_{тр}$ определяется по известной формуле

$$Q_{тр} = M \cdot P,$$

где: M - коэффициент трения между соприкасающимися поверхностями;

P - сила давления, создающаяся на этих поверхностях, равная $P = 2 \cdot \pi \cdot r_0 \cdot l \cdot p$

Подставляя в эти выражения значение p, полученное с помощью формул (66) и (68), будем иметь

$$Q_{тр} = \frac{\Delta r}{r_0} \cdot 2 \cdot \pi \cdot l \cdot M \cdot \frac{\delta_1 \cdot \delta_2 \cdot E_1 \cdot E_2}{\delta_1 \cdot E_1 + \delta_2 \cdot E_2} \qquad (69)$$

Когда пластмассовое изделие сопрягается с металлическим или стеклянным изделием, обладающим значительно большей жесткостью то бывает целесообразно еще более упростить расчетные формулы. Т.е при $\delta_1 \cdot E_1 \gg \delta_2 \cdot E_2$ можно принять

$$\frac{E_1}{E_1 + \delta_2/\delta_1 \cdot E_2} \simeq 1$$

и формула (69) приводится к виду

$$Q_{тр} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{\Delta r}{r_0} \cdot \delta_2 \cdot E_2 \cdot M \cdot l \qquad (70)$$

Полученная формула отличается от формулы (II) только тем, что в ней вместо коэффициента усадки "к" стоит относительная деформация $\frac{\Delta r}{r_0}$.

Все вышеприведенные формулы относятся к тонкостенным цилиндрам без донышек. На практике встречаются весьма разнообразные конструкции, для которых эти формулы могут оказаться неприемлемыми. Так, например, цилиндры с донышками, с утолщениями, сплошные цилиндры, массивные изделия с запрессованной тонкой арматурой и т.п. Примеры таких конструкций приведены на рис.35.

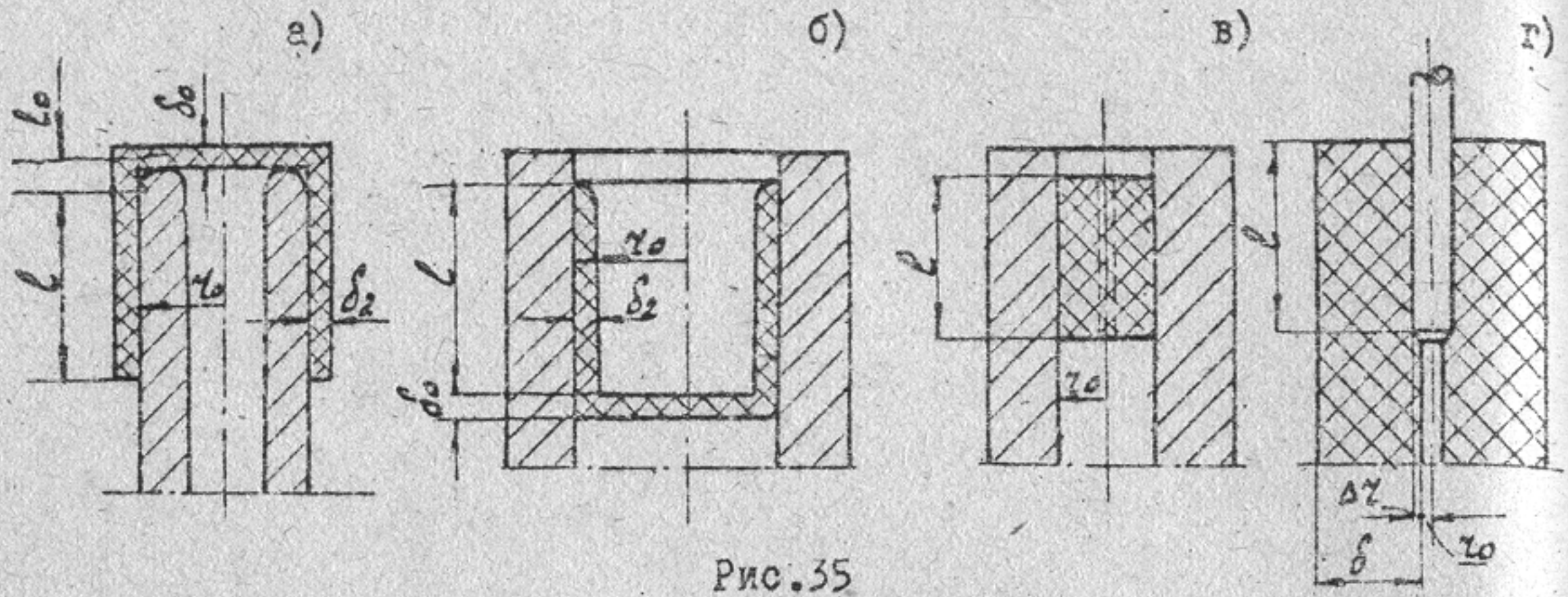


Рис.35

Для крышки, показанной на рис.35-а, формула (70) дает только одну составляющую сил трения, преодолеваемых при ее одевании, которая связана с деформированием на величину натяга Δr нижней части крышки длиной ℓ (см.рисунок). В конечный момент одевания появляется дополнительная составляющая, связанная с деформированием донышка. При этом донышко подвергается растяжению на величину Δr_1, равную согласно закону Гука

$$\Delta r_1 = \frac{\sigma_r'}{E_2} \cdot r_0 = \frac{p_1}{E_2} \cdot r_0$$

где: σ_r' - растягивающее радиальное напряжение в донышке, которое, согласно формулам (62), при $p_2 = 0$; $r_2 = 0$ будет равно $\sigma_2 = p_1$. Одновременно край стенки крышки у донышка на длине ℓ_0 будет отгибаться на величину Δr_2, вычисляемую приближенно по формуле прогиба консольной балки

$$\Delta r_2 = \frac{p_1 \cdot 1 \cdot \delta_0 \cdot \ell_0^3}{3 \cdot E_2 \cdot y} = \frac{p_1 \cdot \delta_0 \cdot \ell_0^3}{3 \cdot E_2 \frac{1 \cdot \delta_2^3}{12}} = \frac{4 \cdot p_1 \cdot \delta_0 \cdot \ell_0^3}{E_2 \cdot \delta_2^3}$$

Из условия $\Delta r_1 + \Delta r_2 = \Delta r$ находится величина давления p_1, создающего дополнительное трение в конечный момент одевания крышки вследствие влияния жесткости донышка. Сделав необходимые преобразования, получим следующую расчетную формулу

$$Q_{тр} = 2\pi \frac{\Delta r}{r_0} \cdot \delta_2 \cdot E_2 \cdot m \left(\ell + \frac{r_0^2 \cdot \delta_2^2 \cdot \delta_0}{4 \cdot \ell_0^3 \cdot \delta_0 + \delta_2^3 \cdot r_0} \right) \qquad (71)$$

Для пробки, показанной на рис.35-б, формула (70) дает составляющую сил трения, возникающую от деформирования на величину

натяга Δz верхней части пробки без донышка. Вследствие деформирования донышка толщиной δ_0 возникает дополнительная сила трения $Q_{тр.д}$, величину которой найдем с помощью закона Гука и формул (62)

$$Q_{тр.д} = 2 \cdot \pi \cdot \Delta z \cdot \delta_0 \cdot E_z \cdot \mu \qquad (72)$$

Для суммарной силы трения расчетная формула может быть представлена в виде

$$Q_{тр} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{\Delta z}{z_0} E_z \cdot \mu (\ell + z_0 \cdot \frac{\delta_0}{\delta_z}) \qquad (73)$$

Усилие перемещения сплошной пробки, показанной на рис.35-в, может рассчитываться по формуле (72), в которую вместо δ_0 подставляется длина ℓ (см.рис.35-в). Интересно отметить, что при одном и том же натяге Δz и постоянной длине это усилие не зависит от радиуса пробки. Отметим также, что согласно формулам (62), $\sigma_t = \sigma_z = -p$ для всех точек пробки. При наличии малейшего отверстия в ней (как показано на рис.35-в пунктиром) создается качественно иное напряженное состояние, о чем можно судить с помощью формулы (64), поскольку:

$$\lim \frac{\sigma_{t_2}}{\sigma_{t_1}} = 2 \quad при \quad \frac{\delta}{z_1} \to 1 \ (или \ z_0 \to 0),$$

тогда, как формулы (62) при $z_2 = 0$ дают

$$\frac{\sigma_{t_2}}{\sigma_{t_1}} = 1$$

На рис.35-г показано изделие с запрессованным в него тонким металлическим стержнем. Поскольку δ намного больше радиуса отверстия z_0, в которое запрессовывается стержень, то, согласно формуле (64), напряжения на поверхности отверстия намного выше напряжений на внешней поверхности и для материалов, не проявляющих хрупкость, являются безопасными с точки зрения прочности всего изделия даже тогда, когда они превышают предел прочности материала. Это свойство иногда называют "гвоздильностью", поскольку в материалы, обладающие этим свойством, можно забивать

гвозди. Хрупкие пластмассы не обладают таким свойством, однако это не исключает возможности запрессовки в них тонких металлических стержней, если в местах запрессовки имеются отверстия соответствующих размеров.

Согласно формулам (62) напряжения на внутренней поверхности отверстия для рассматриваемого случая $p_1 = 0$ равны:

$$\sigma_{t_2} = \frac{p_2 \cdot (r_1^2 + r_2^2)}{r_1^2 - r_2^2} > p_2; \text{ если } r_1 \gg r_2, \text{ то } \sigma_{t_2} \approx p_2;$$

$$\sigma_{r_2} = -p_2$$

где: p - давление, создаваемое стержнем на внутреннюю поверхность отверстия.

Принимая напряжения равными давлению, будем иметь по закону Гука следующие соотношения

$$|\sigma_{t_2}| = |\sigma_{r_2}| = |p_2| = \frac{\Delta r}{r_0} \cdot E_2$$

Для хрупких материалов напряжения не должны превышать допускаемого значения σ_g, откуда следует, что величина натяга Δr не должна превышать

$$\Delta r < \frac{\sigma_g \cdot r_0}{E_2} \qquad (74)$$

При этом, согласно вышеприведенным соотношениям, величина силы трения, удерживающей стержень в отверстии, будет равна

$$Q_{тр} = p_2 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r_0 \cdot l \cdot f = 2\pi \cdot \Delta r \cdot E_2 \cdot f \cdot l \qquad (75)$$

С течением времени эта сила будет снижаться вследствие релаксации напряжений.

2.4. Особенности расчета изделий, передающих крутящий момент.

К изделиям, передающим крутящий момент в условиях их эксплуатации, можно отнести: зубчатые колеса, штурвалы автомобилей, рукоятки, маховички, шкивы, пластмассовые детали муфт и другие подобные детали машин, приборов и разных устройств, в которых

передается усилие с целью непрерывного вращения или поворота на некоторый угол. Естественно, что при конструировании пластмассовых изделий такого назначения используются годами проверенные конструкции их из традиционных материалов. Однако, расчеты и практика показывают, что для эффективного применения полимерных материалов в этих случаях необходимы поиски иных конструктивных решений. Это касается, в первую очередь, мест посадок изделий на детали, к которым передается крутящий момент, т.е. на валы, шпиндели, оси и т.п. В металлических конструкциях для этого применяют шпоночные и шлицевые соединения, штифты, стопорные винты, посадку с помощью квадратных, шестигранных и других сложных сечений посадочных участков вращаемых деталей. На рисунке 56 показаны наиболее характерные конструкции для передачи крутящего момента с помощью шпонки, шлицевого соединения и посадки на квадрат. Во всех

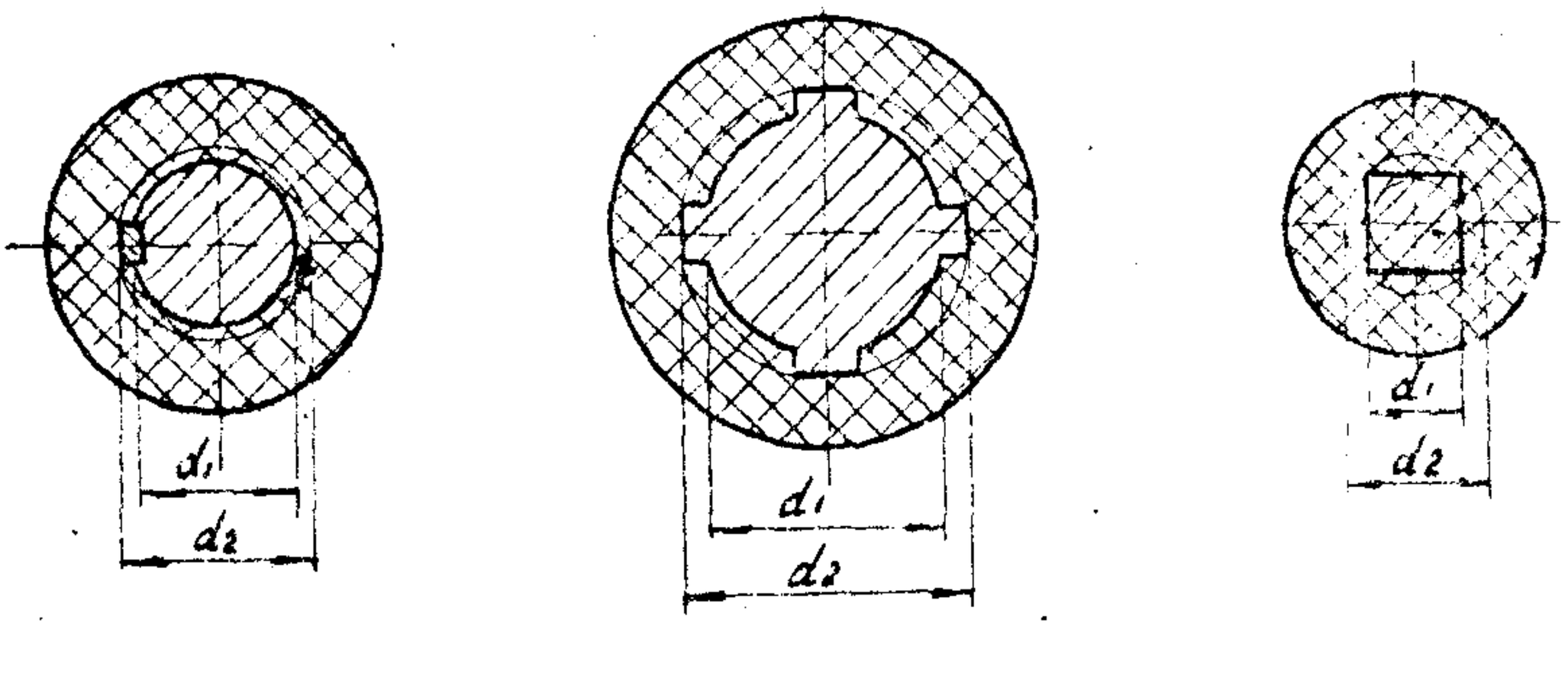


Рис.56

случаях крутящий момент $M_{кр}$ передается опорными поверхностями, располагающимися между окружностями диаметром d_2 и d_1, и сила P, создающая давление на этих поверхностях, будет равна

$$P = \frac{M_{кр}}{\frac{d_2+d_1}{4}} = \frac{4 \cdot M_{кр}}{d_2+d_1}$$

Возникающие на опорных поверхностях напряжения смят я $\sigma_{см}$ опреде-

ляется по формуле $$\sigma_{см} = \frac{P}{\frac{d_2 - d_1}{2} \cdot l \cdot n \cdot \varphi},$$

где: l - длина опорных поверхностей

n - число опорных поверхностей

φ - коэффициент одновременности работы опорных поверхностей, принимаемый 0,75 при $n > 1$.

Окончательно расчетная формула для $\sigma_{см}$ принимает вид:

$$\sigma_{см} = \frac{\delta \cdot M_{кр}}{n \cdot \varphi l \cdot (d_2^2 - d_1^2)} \qquad (75)$$

При небольших значениях крутящего момента значения $\sigma_{см}$ могут быть невелики, т.е. могут не превышать допустимых для пластмасс контактных напряжений, приводимых в соответствующих справочных таблицах. Конструкция соединения в этом случае может приниматься без изменений. Если же величина $\sigma_{см}$ превысит допустимые значения, то при желании сохранить форму и размеры соединения необходимо применить металлическую арматуру, как показано, например, на рис.37. Тогда рассчитанные напряжения смятия будут дей-

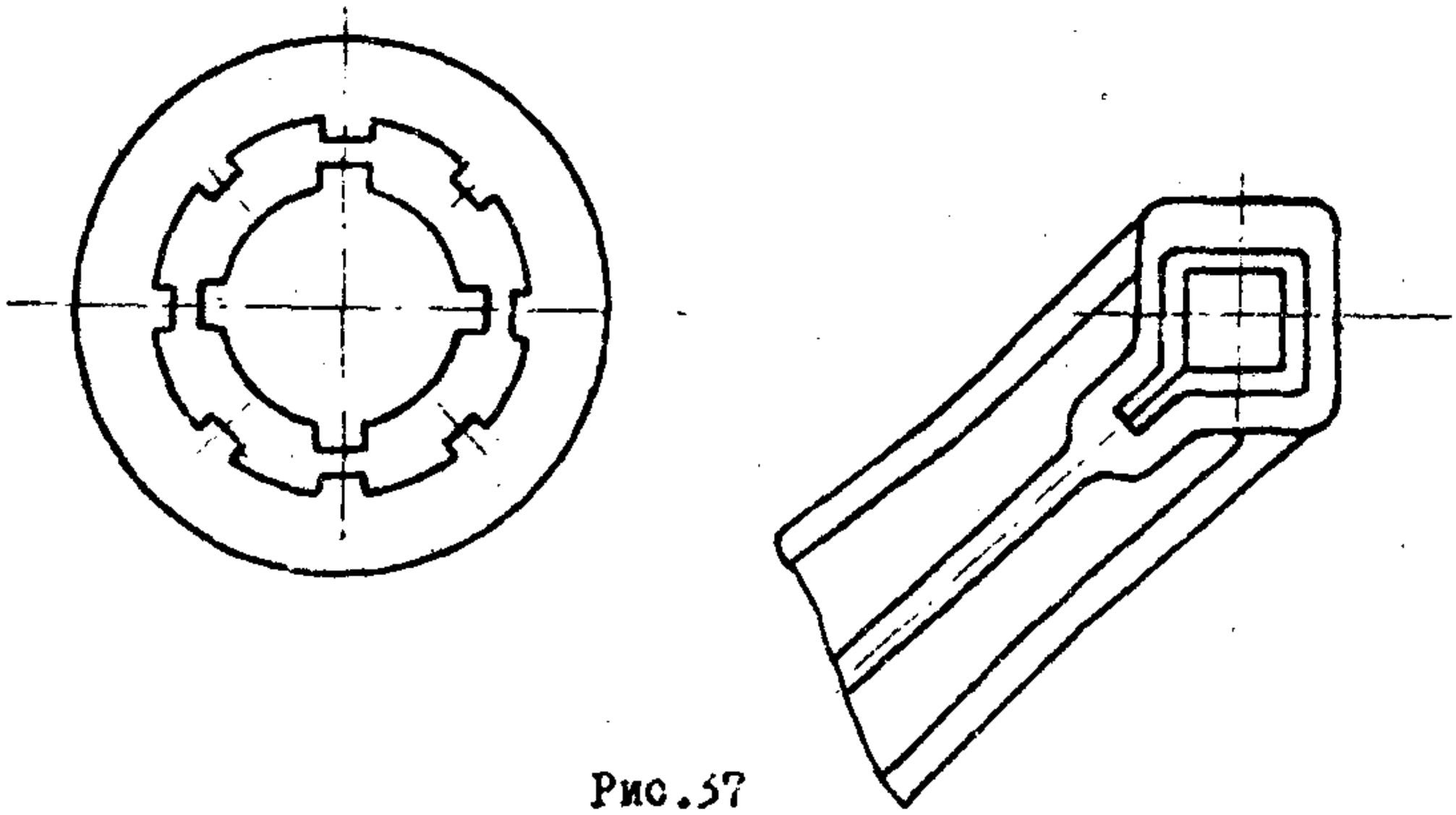


Рис.57

ствовать на металлических поверхностях, а у пластмассовой части изделия сминаемые опорные поверхности будут расположены дальше от оси вращения и число их может быть увеличено из расчета сни-

жать напряжения на них до допустимых значений. В этих расчетах коэффициент φ принимается равным единице, поскольку между арматурой и пластмассой всегда обеспечивается надежный контакт при любом числе опорных поверхностей. С целью удешевления арматуру следует выполнять штампованной из тонких листовых материалов. Закрепление арматуры в осевом направлении обеспечивают кольцевыми пазами, или радиальными отверстиями.

Новые конструктивные решения с учетом плохой работы пластмасс на смятие должны обосновываться с помощью формулы (75). Очевидно, при этом наибольшую роль играет число опорных поверхностей n, увеличивая которое можно всегда снизить $\sigma_{см}$ до приемлемого значения. На рис.36 приведены примеры конструктивных решений, обусловленных снижением контактных напряжений на воспринимающих крутящий момент уступах.

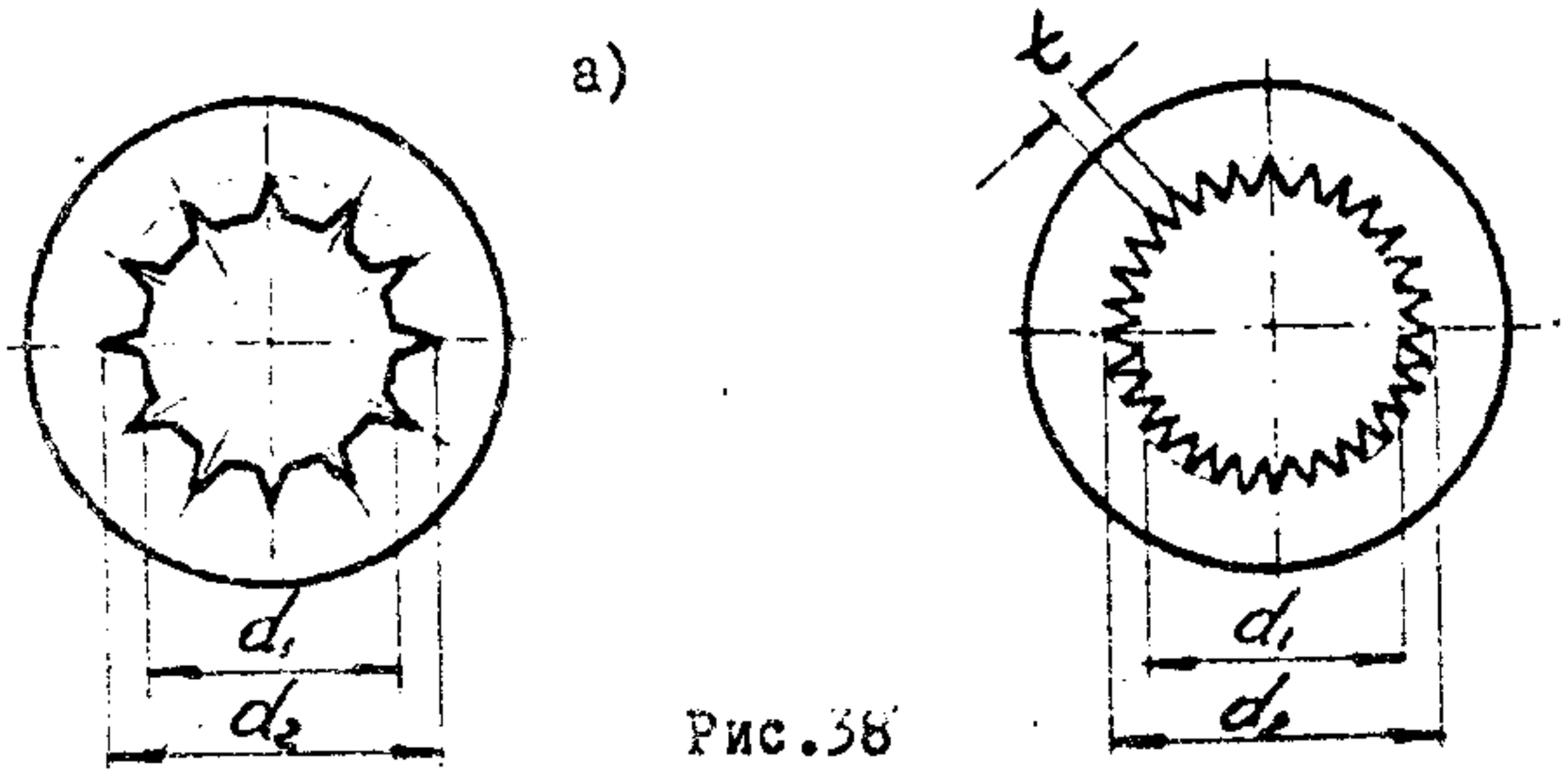


Рис.36

Помимо увеличения числа уступов контактные напряжения можно снижать путем увеличения их высоты, т.е. разности d_2-d_1. Однако увеличение высоты уступов лимитируется нежелательным возрастанием толщины изделия. С точки зрения прочности небезразлична форма уступов; чтобы при повышении n не уменьшалась площадь среза по вершинам уступов, они должны быть остроконечными, как показано на рис.36. Угол при вершине не должен быть слишком малым по условиям технологичности изготовления и прочности уступов на

металлической части конструкции. На основании опыта работы резьбовых соединений следует полагать, что оптимальные значения для этого угла находятся вблизи 60^0.

При заданных размерах уступов наибольшее значение n будет когда впадины между ними становятся заостренными, как показано на рис.38-б. Число n в этом случае рассчитывается по формуле

$$n = \frac{\pi \cdot d_2}{t}$$

где: t - шаг между вершинами уступов.

Конструкцию можно выполнить равнопрочной на смятие уступов и срез по диаметру d_2. Это условие запишется следующим равенством

$$\sigma_{ср} \cdot \pi \cdot d_2 = \sigma_{см} \cdot n \frac{d_2 - d_1}{2}$$

в котором $\sigma_{ср}$ - допустимое напряжение на срез;
$\sigma_{см}$ - допустимое напряжение смятия.

Подставляя в это равенство значение n из предыдущего выражения и сделав соответствующие преобразования, получим для условия равнопрочности следующее выражение

$$t = \frac{d_2 - d_1}{2} \cdot \frac{\sigma_{см}}{\sigma_{ср}} \qquad (76)$$

Рассмотренные конструктивные решения могут оказаться неприемлемыми для разъемных соединений пластмассовых изделий с металлическими из-за трудностей, связанных с точностью сопряжения пазов с уступами. Чем меньше пазы и уступы, тем больше эти трудности. К металлической арматуре, соединяемой навсегда с пластмассой в процессе формования изделия, это не относится, поэтому на ее поверхности могут применяться сколь угодно мелкие уступы и пазы без каких-либо требований к точности их изготовления.

2.5. О расчете некоторых пластмассовых деталей машин и аппаратов.

2.5.1. Подшипники и направляющие.

Применение пластмасс для подшипников и различных направляющих весьма эффективно вследствие малого износа трущихся поверхностей, стойкости пластмасс к коррозирующим средам, возможности работать без смазки и амортизирующей способности пластмассовых опор. Однако для получения эффекта необходимо правильно выбрать материал и разработать конструкцию с учетом всех особенностей его свойств.

Принимаемые решения могут оказаться неудачными, если не учесть характерные для пластмасс свойства, такие как: низкая теплопроводность, большое температурное расширение, малые значения модуля упругости, способность к влагопоглощению, релаксация напряжений и т.п. В справочной литературе можно найти полезную информацию по этим вопросам, включая рекомендации по методам поверочных расчетов.

Основными параметрами, характеризующими пару трения, являются давление между трущимися поверхностями - p и скорость взаимного скольжения - v. По ним выбираются как материалы, так и геометрические размеры опор с помощью приводимых в справочниках табличных данных.

Важнейший фактор в работающем подшипнике, - это тепловыделение, оцениваемое произведением $p \cdot v$. Отвод тепла от трущихся поверхностей затруднен вследствие плохой теплопроводности полимерных материалов, а появляющийся разогрев опасен из-за температурных расширений и снижения механических свойств при нагреве.

ческим колесом.

Зубья, передающие нагрузку, испытывают консольный изгиб, поэтому величина модуля рассчитывается из условия их прочности на изгиб под действием этой нагрузки по общепринятым формулам. Часто зубчатые колеса выходят из строя вследствие износа поверхностей зубьев. На этом основан расчет долговечности передачи с использованием экспериментальных данных по замерам величины износа в зависимости от числа миллионов циклов нагружения зуба при разных нагрузках.

Ориентировочный выбор нагрузочной способности передач можно делать по номограммам, приводимым в справочной литературе для зубчатых колес, изготавливаемых из разных материалов.

2.5.5. Детали уплотнений.

Благодаря высокоэластическим свойствам полимерные материалы нашли широкое применение в качестве уплотнительных деталей: прокладок, манжет, набивок, уплотнительных колец и т.п. Они применяются как в неподвижных соединениях, так и в подвижных.

В неподвижных соединениях для широких плоских прокладок (см.рис.39-а) можно применять сшитые полимерные материалы (резина), или полимеры с тканевым наполнителем, поскольку они сохраняют напряженное состояние сжатия длительное время. Материалы,

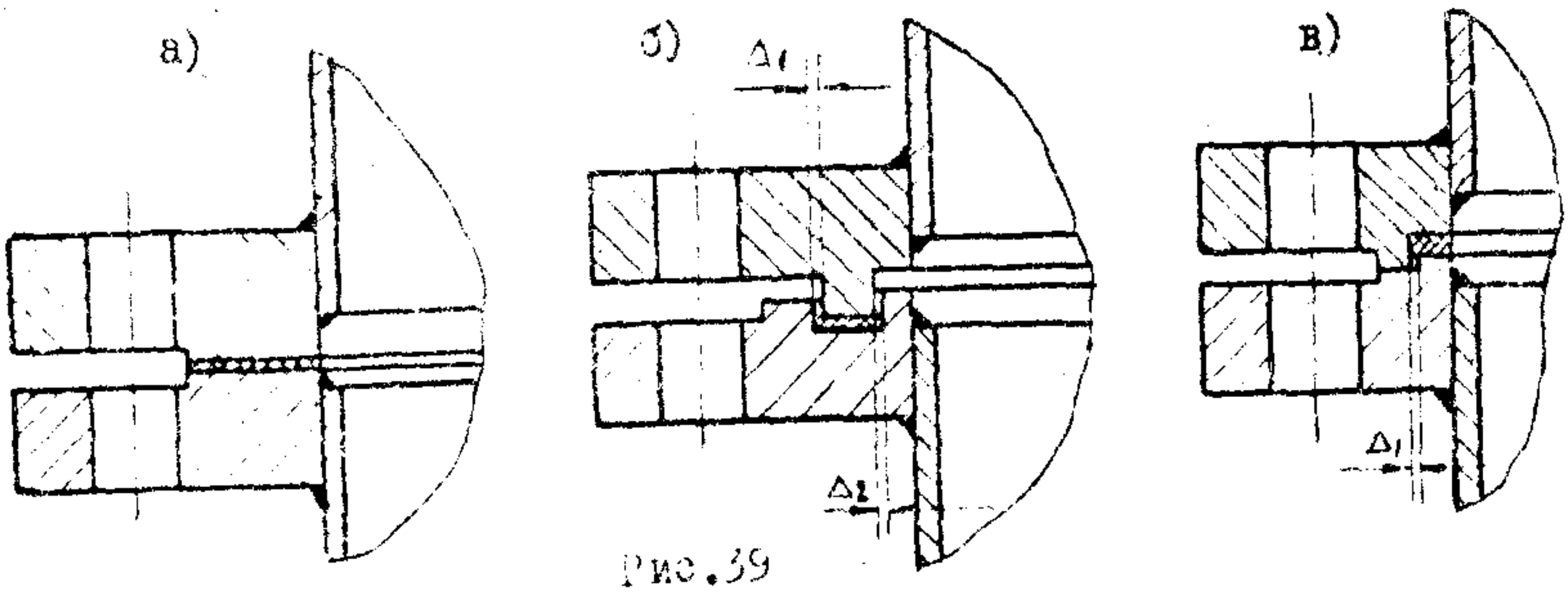


Рис.39

ческим колесом.

Зубья, передающие нагрузку, испытывают консольный изгиб, поэтому величина модуля рассчитывается из условия их прочности на изгиб под действием этой нагрузки по общепринятым формулам. Часто зубчатые колеса выходят из строя вследствие износа поверхностей зубьев. На этом основан расчет долговечности передачи с использованием экспериментальных данных по замерам величины износа в зависимости от числа миллионов циклов нагружения зуба при разных нагрузках.

Ориентировочный выбор нагрузочной способности передач можно делать по номограммам, приводимым в справочной литературе для зубчатых колес, изготавливаемых из разных материалов.

2.5.5. Детали уплотнений.

Благодаря высокоэластическим свойствам полимерные материалы нашли широкое применение в качестве уплотнительных деталей: прокладок, манжет, набивок, уплотнительных колец и т.п. Они применяются как в неподвижных соединениях, так и в подвижных.

В неподвижных соединениях для широких плоских прокладок (см.рис.39-а) можно применять сшитые полимерные материалы (резина), или полимеры с тканевым наполнителем, поскольку они сохраняют напряженное состояние сжатия длительное время. Материалы,

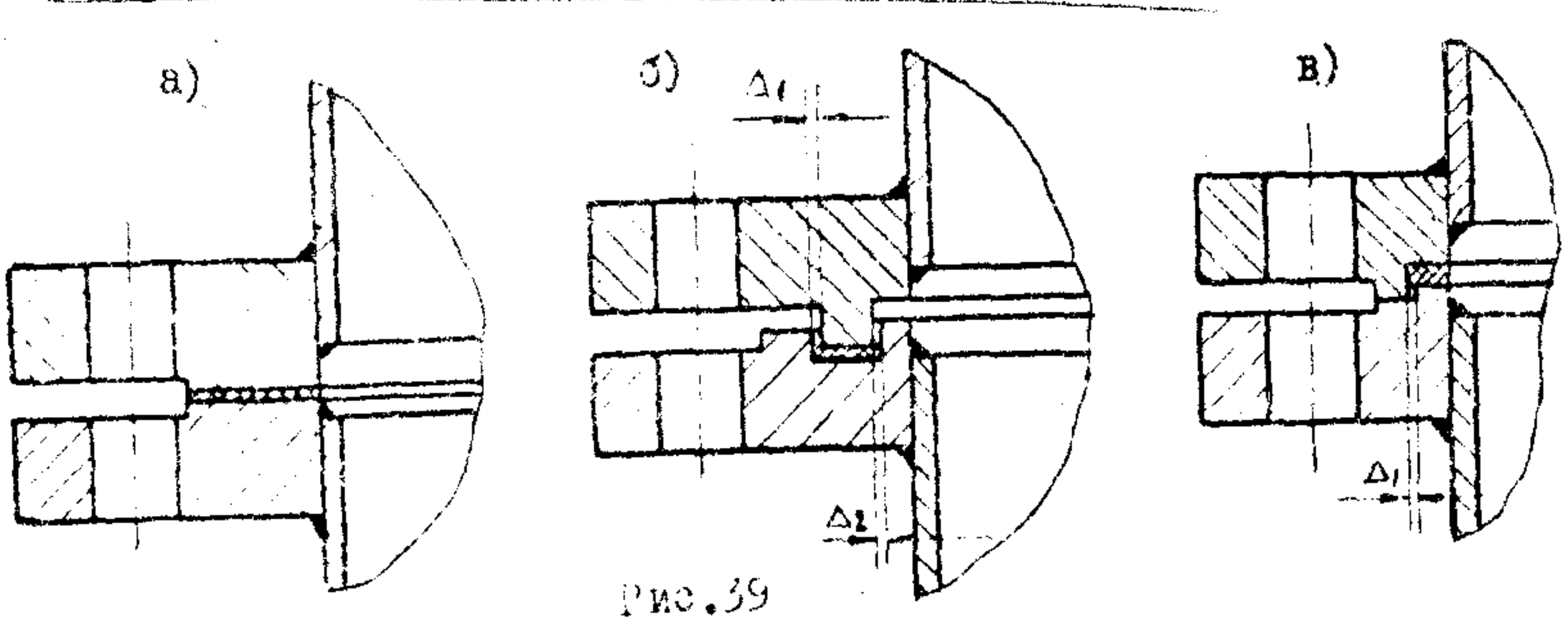


Рис.39

проявляющие ползучесть при сжатии, могут использоваться для прокладок, укладываемых в закрытый паз (рис.39-б), или в полуоткрытый паз (рис.39-в). Прокладки, предназначаемые для герметизации заполненного газом или жидкостью пространства, должны сжиматься стяжными болтами с усилием, значительно превышающим силу давления удерживаемой среды. Если сила затягивания равна или меньше силы давления, то последняя полностью воспринимается болтами и давление на прокладке отсутствует, -происходит разгерметизация уплотнения. Чтобы не допустить этого необходимо, согласно практическим данным, предварительно затянуть прокладку с силой Q, рассчитываемой по формуле

$$Q=(1+a)\cdot P_в \qquad (77)$$

где: $P_в$ - сила внутреннего давления в соединении;

a - коэффициент затяжки, равный 2 ÷ 4 для конструкции на рис.39-а и 3 ÷ 6 для конструкции на рис.39-б.

На рис.39-в показана конструкция уплотнения с самозатягивающейся прокладкой. Здесь требующаяся сила затягивания болтов значительно ниже, чем в предыдущих конструкциях. При сборке такого уплотнения достаточно раздавить прокладку и затянуть так, чтобы при подаче давления не образовался зазор между фланцами, т.е. должно выполняться следующее условие:

$$Q>P_в+P_п \qquad (78)$$

где: $P_п$ - сила, необходимая для раздавливания прокладки, а величина $P_в$ в данном случае намного меньше, поскольку внутреннее давление действует на меньшей площади.

Прокладка в закрытом пазу (рис.39-б) будет работать как самозатягивающаяся, если зазор Δ, мал и материал прокладки не

сможет под действием внутреннего давления продавиться через него. Самозатягивание можно обеспечить и при большом зазоре Δ_1, если, (как в конструкции на рис.39-в), раздавить прокладку и стянуть фланцы между собой вплотную, не допуская при этом попадания материала прокладки в зазор между фланцами. Используя расчетную формулу (78) в этих случаях нужно иметь в виду повышение значения P_n вследствие необходимости продавить материал в зазоры Δ_1 и Δ_2.

В подвижных соединениях к уплотнительным деталям предъявляется больше требований. Наряду с надежностью герметизации приходится учитывать износ трущихся поверхностей и возникающие на них силы трения. Конструкции подвижных уплотнений весьма разнообразны. Уплотняют как при вращении (валы), так и при поступательном движении (штоки). В литературе можно найти много конструктивных решений узлов уплотнения подвижных деталей. Имеется много рекомендаций по выбору конструкции и размеров деталей узлов, представляемых в виде таблиц и формул с эмпирическими коэффициентами. На ряд деталей имеются стандарты. С точки зрения выполняемых расчетов целесообразно из всего многообразия конструкций выделить уплотнения с мягкой набивкой и с уголковым манжетным кольцом, показанные на рис.40. В первом случае сальниковая набивка I

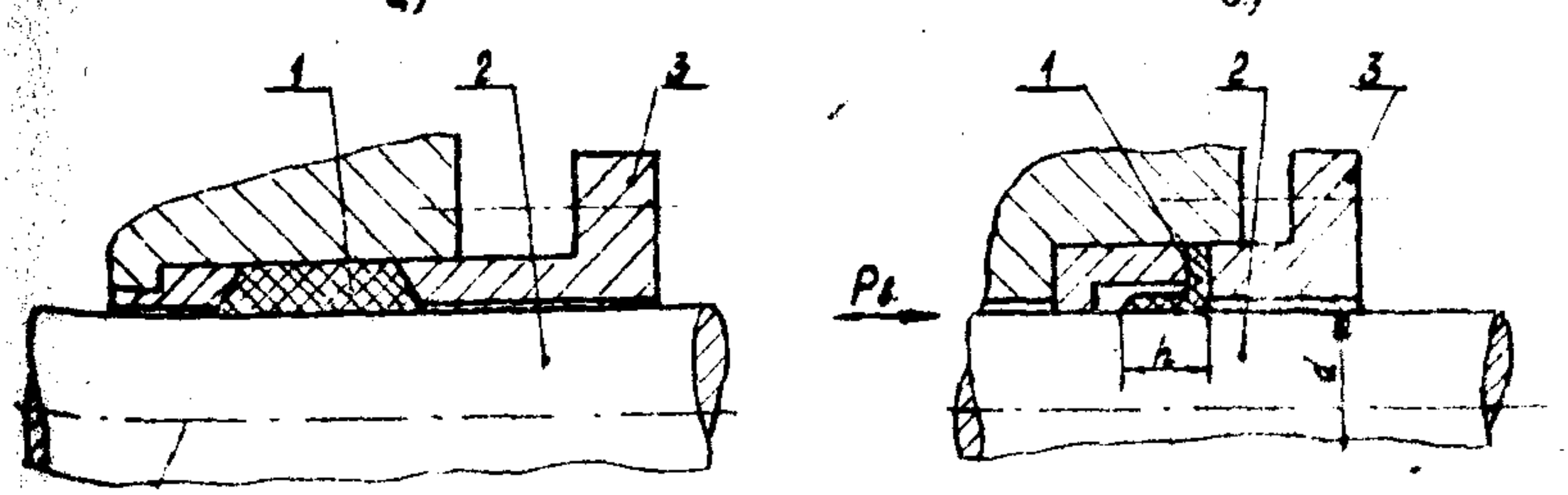


Рис.40

прижимается к движущейся детали 2 с помощью нажимного фланца 3. Сила прижатия не контролируется, поэтому сила трения, износ набивки и качество уплотнения (наличие утечек) в процессе работы узла изменяются. Сразу после затяжки набивки давление на нее и, следовательно, сила трения и износ максимальны, а утечки минимальны. С течением времени напряженное состояние в набивке снижается, сила трения и износ соответственно уменьшаются, а качество уплотнения становится хуже и в конце концов возникают недопустимо большие утечки. Наступает необходимость подтягивания сальника. Вследствие износа теряется часть набивки, поэтому после многократных подтягиваний приходится добавлять набивку, или полностью заменять ее. При таком нестабильном характере работы уплотнения возможности расчета его весьма ограничены.

Уплотнение с уголковым манжетом (см.рис.40-б) длительное время работает в практически не изменяющихся условиях. Край манжеты I прижимается к движущейся детали 2 внутренним давлением $p_в$ с силой, не зависящей от усилия затягивания нажимного фланца 3. Очевидно, сила трения $Q_т$, возникающая между манжетой и уплотняемой поверхностью, будет определяться по формуле

$$Q_т = \pi \cdot d \cdot h \cdot p_в \cdot \mu \qquad (79)$$

где: d и h - диаметр и высота манжеты;

μ - коэффициент трения.

Под действием силы трения $Q_т$ в угловом сечении манжеты развиваются напряжения среза, которые при больших значениях d, $p_в$ и h становятся опасными и манжета может разрушиться. Чтобы уменьшить эту опасность конструкторы стремятся снизить высоту до минимума, а надежность уплотнения повышают путем применения большого числа манжет, накладываемых друг на друга. Формула (79) для набора манжет становится неточной, поскольку начинает прояв-

няться влияние силы затяжки их нажимным фланцем, как в сальниковом уплотнении.

В ряде конструкций уплотнительные кольца дополнительно прижимают к движущейся поверхности с помощью пружин, тогда в формуле (79) появляется второе слагаемое из произведения величины дополнительной силы на коэффициент трения. Для предотвращения разрушения уплотнительной детали ее упрочняют по месту крепления различными способами.

Между трущимися поверхностями всегда имеется какой то зазор, величину которого трудно контролировать. Согласно законам течения жидкостей через этот зазор будет протекать уплотняемая среда в количестве, пропорциональном диаметру уплотняемой поверхности, величине внутреннего давления, кубу величины зазора и обратно пропорциональном вязкости уплотняемой среды, высоте уплотнения. Расчетные формулы для утечек строятся с учетом этих зависимостей и всегда содержат эмпирические коэффициенты, учитывающие конкретные условия в рассчитываемом типе уплотнения.

Прогнозирование износа уплотнительных деталей целиком опирается на экспериментальные данные.

2.6. Примеры расчета.

I^и пример:

Обосноьать выбор материала и толщины стенки для цилиндрической арматуры в изделии из фенопласта с толщиной стенки 5мм (Рис 6).

Рассчитаем напряжения в стенках изделия и арматуры по формулам (26), приняв следующие значения входящих в формулы величин.

для фенопласта: $E_2 = 8.10^4$ кгс/см^2; $\alpha_2 = 5.10^{-5}$; $t_1 = 170^0$C; $t_0 = 20^0$C; $\delta_2 = 0,3$см.

Для стальной арматуры: $E_1 = 2.10^6$ кгс/см^2; $\alpha_1 = 0,85.10^{-5}$; $\delta_1 = 0,2$см и $0,05$см.

Для латунной арматуры: $E_1 = 8.10^5$ кгс/см^2; $\alpha_1 = 1,6.10^{-5}$; $\delta_1 = 0,2$см и $0,05$см.

Полученные значения σ_1 и σ_2 приведены в таблице

Материал арматуры	Толщина арматуры δ_1, мм	Значения напряжений, кгс/см^2	
		σ_1	σ_2
Сталь	2	705	480
	0,5	2400	400
Латунь	2	530	355
	0,5	1530	255

Полученные напряжения не зависят от диаметра изделия, поскольку формулы (26) выведены по безмоментной теории, согласно которой напряжения во всех точках работающего сечения принимаются равными. В этих расчетах допускается ошибка. В обоих сопрягающихся деталях изделия тангенциальные напряжения возрастают в направлении к центру. Отношение напряжений на меньшем радиусе к напряжениям на большем радиусе для пластмассовой стенки определяется формулой (63), а для арматуры - формулой (64).

При $\gamma_0 = 10$мм формула (63) дает

$\frac{\sigma_{t2}}{\sigma_{t1}} = 1{,}345$, а формула (64) -
$\frac{\sigma_{t2}}{\sigma_{t1}} = 1{,}22$ ($\delta_1 = 2$мм) и $\frac{\sigma_{t2}}{\sigma_{t1}} = 1{,}05$ ($\delta_1 = 0{,}5$мм).

Значения σ_1 и σ_2 находятся между σ_{t1} и σ_t, т.е. отклонения их от σ_{t1} в первом приближении равны :

$\frac{1{,}345 - 1}{2} 100 = 17\%$; $\frac{1{,}22 - 1}{2} 100 = 11\%$ и $\frac{1{,}05 - 1}{2} 100 = 2{,}5\%$

Вследствие релаксации истинные напряжения в изделиях всегда ниже расчетных. Чем медленнее охлаждение , тем они ниже и, как показывают экспериментальные измерения , в условиях охлаждения на воздухе снижаются до 50% от расчетных.

Предел прочности фенопластов при растяжении находится в интервале 300 ÷ 400 кгс/см^2, поэтому из приведенных в таблице расчетных данных следует, что стальная арматура вообще не может применяться для них. Латунь и другие сплавы цветных металлов с низким модулем упругости и высоким коэффициентом термического линейного расширения, например сплавы алюминия, могут быть применены в качестве тонкостенной арматуры.

2ой пример:

Определить наибольшую глубину вертикального глухого отверстия диаметром 2мм, которое можно оформить стальной шпилькой в прессуемом из фенопластов изделии.

Воспользуемся формулой (19) и найдем, что будет лимитировать длину прессуемого отверстия: жесткость или прочность формующей шпильки. Примем следующие значения для входящих в формулу величин: модуль упругости стали $E = 2.10^6$ кгс/см^2 ;
допустимый прогиб конца шпильки $f_{max} = 0{,}005$см ;
давление прессование для фенопластов 300 кгс/см^2 подставляем в формулу с коэффициентом 0,5, т.е. принимаем $\Delta P_\varphi = 150$ кгс/см^2;

диаметр формуемого отверстия $d = 0{,}2$см ;

допустимое напряжение изгиба для закаленной стали

$\sigma_u = 10000$ кгс/см^2 .

Расчет показывает, что $\frac{2.10^6.0{,}005.150}{3.14.0{,}2.10000^2} = 0{,}024 < \frac{1}{32}$,

поэтому длина отверстия лимитируется жесткостью знака и для нахождения предельной длины воспользуемся формулой (15) , которая дает $\ell = \sqrt[4]{\frac{2.10^6.0{,}005.0{,}2^3}{8.150}} \approx 0{,}6$см

5-й пример :

Рассчитать предельную длину запрессовываемой в фенопласт медной проволоки диаметром 2мм., располагаемой в направлении формования, приняв одинаковые с предыдущей задачей условия прессования и следующие свойства материала проволоки :

$E = 8.10^5$ кгс/см^2 ; $\sigma_u = 1200$ кгс/см^2 .

По формуле (19) находим, что

$$\frac{8.10^5.0{,}005.150}{3{,}14.0{,}2.1200^2} = 0{,}62 > \frac{1}{32} ,$$

поэтому длина будет лимитироваться прочностью проволоки и для вычисления предельной длины воспользуемся формулой (17) , которая дает

$$\ell = 0{,}2\sqrt{\frac{3{,}14.1200}{16.150}} = 0{,}25 \text{ см.}$$

На бо́льшую глубину удается забить ту же проволоку в предварительно отпрессованное или просверленное отверстие. Необходимый для этого натяг и возникающее при забивании усилие рассчитываются с помощью формул (74) и (75).

4-й пример :

Найти наименьший диаметр бобины D для намотки трубы с

наружным диаметром d и толщиной стенки δ из материала, характеризующегося модулем упругости E и допустимым напряжением при изгибе σ_g .

Обозначим средний диаметр трубы через $d_o = d - \delta$ и средний диаметр оси у намотанной трубы через $D_o = D + \delta$. Последний равен удвоенному радиусу кривизны ρ_o , согласно обозначениям, принятым в уравнениях (53) и (55).

Приняв для тонкостенных труб ($10\delta < d_o$) момент инерции $J_{тр} = \frac{\pi}{8} d_o^3 \delta$ и момент сопротивления $W_{тр} = \frac{\pi}{4} d^2 \delta$, из уравнения (55) и (56) найдем условие, необходимое для предотвращения повреждения трубы при намотке ее на бобину, в виде $\frac{D_o}{d_o} > \frac{E}{\sigma_g}$

Если это условие не выполнить, т.е. принять очень малое значение для диаметра бобины, то в процессе намотки в стенках изделия создадутся напряжения выше допустимых σ_g и появятся повреждения.

Трубы из мягких материалов в процессе намотки могут сплющиваться, не повреждаясь при этом. Круглое сечение становится неустойчивым, когда отношение $\frac{E}{\sigma_g}$ мало и принимается малое значение для D_o .

Потеря устойчивости формы сечения наступает тогда, когда потенциальная энергия упругих сил в стенках изгибаемой по оси трубы превысит работу, затрачиваемую на расплющивание. Энергия наматываемой на бобину трубы вычисляется по формуле (61).

Работу сплющивания можно рассчитать приближенно по той же формуле, если сделать следующие допущения: 1) Работа, затрачиваемая на выпрямление изогнутого изделия равна работе, совершаемой при изгибе прямолинейного изделия с тем же сечением до такой кривизны, которая была у выпрямляемого изделия в исходном состоянии. 2) Дополнительные затраты энергии на перегиб краев у

[illegible] трубы малы по сравнению с затратами на выпрямлен[illegible] ст[illegible] можно пренебречь. 5) Деформирование при сплющивании подчиняется закону Гука.

Заметим, что отклонение от закона Гука сопровождается уменьшением затрат энергии на деформирование. Таким образом, два допущения действуют в противоположных направлениях, т.е. взаимно компенсируют друг друга.

Применяя формулу (61) для участка трубы длиной $l_{тр}$, изгибаемой по оси, напишем следующее выражение для потенциальной энергии сил упругости $U_{тр}$

$$U_{тр} = \frac{E \cdot J_{тр}}{2 \cdot \left(\frac{D_0}{2}\right)^2} \cdot l_{тр}.$$

Работа, затрачиваемая на раздавливание этого участка, представляемого в виде кольца шириной $l_{тр}$ по формуле (61) будет равна $U_к$.

$$U_к = \frac{E \cdot J_к}{2\left(\frac{d_0}{2}\right)^2} \cdot l_к$$

где: $J_к = \frac{l_{тр} \cdot \delta^3}{12}$ – момент инерции сечения кольца;

$l_к = \pi \cdot d_0$ – длина раздавливаемого кольца в тангенциальном направлении.

Устойчивость формы теряется при условии

$$U_{тр} > U_к ,$$

которое приводится к виду

$$\frac{D_0}{d_0} < \frac{d_0}{\delta}\sqrt{\frac{3}{2}}$$

Интересно отметить, что потеря устойчивости формы связана только с геометрическими размерами и не зависит от свойств материала. Однако, наблюдается это явление на мягких материалах и очень тонкостенных изделиях, для которых по условию прочности возможна намотка на бобины малого диаметра.

В качестве численного примера рассмотрим изделие из полиэтилена, для которого можно принять $E = 6.000$ кгс/см^2 и $\sigma_y = 100$ кгс/см^2. Труба с размерами сечения $d = 3$см и $\delta = 0,2$см будет наматываться без повреждения на бобину, диаметр которой по условию прочности должен быть

$$D_0 > d_0 \frac{E}{\sigma_y} = 3 \frac{6000}{100} = 180 \text{ см}$$

Устойчивость формы трубы нарушается при намотке на бобину диаметром

$$D_0 < \frac{d_0^2}{\delta} \sqrt{\frac{3}{2}} = \frac{3^2}{0,2} \sqrt{\frac{3}{2}} = 55 \text{ см}$$

При уменьшении толщины до 0,05мм условие прочности не изменяется, а устойчивость формы смещается до

$$D_0 < \frac{3^2}{0,05} \sqrt{\frac{3}{2}} = 220 \text{ см}$$

В этом случае будет иметь

$$d_0 \frac{E}{\sigma_y} < \frac{d_0^2}{\delta} \sqrt{\frac{3}{2}} \quad \text{или} \quad \frac{E}{\sigma_y} < \frac{d_0}{\delta} \sqrt{\frac{3}{2}}$$

Такое изделие при намотке на бобину малых диаметров ведет себя как рукавная пленка. Повреждения возможны на краях складываемого рукава, если нарушается условие (56).

5[й] пример :

Рассчитать узел соединения полиэтиленовой детали с металлическим валом, имеющим осевые зубья, как показано на рис.56[а]. Передаваемый крутящий момент $M_{кр} = 75$ кгс. Размеры вала, согласно обозначениям на рисунке, $d_1 = 1$см и $d_2 = 1,4$см. Допускаемые напряжения для полиэтилена принять равными при смятии $\sigma_{см} = 30$ кгс/см^2, при срезе $\sigma_{ср} = 40$ кгс/см^2.

Напряжения среза будут действовать на диаметре $d_1 = 1,4$ см. По условию прочности длина ступицы l должна находиться из неравенства

$$\sigma_{ср} \cdot \pi \cdot d_1 \, l > \frac{M_{кр}}{\frac{1}{2} d_1},$$

или

$$l > \frac{2 \cdot M_{кр}}{\pi \cdot \sigma_{ср} \, d_1^2} = \frac{2 \cdot 75}{40 \cdot 1,4^2} = 0.61 \text{ см}$$

Принимаем ℓ = 1см и по формуле (75) рассчитываем число необходимых на валу зубьев при допустимом напряжении смятия

$$n = \frac{8 \cdot M_{кр}}{\sigma_{см} \cdot \psi \cdot \ell \cdot (d_2^2 - d_1^2)} = \frac{8 \cdot 75}{30 \cdot 0{,}75 \cdot 1 \cdot (1{,}4^2 - 1^2)} \approx 26$$

Такое число зубьев не размещается на валу заданного диаметра. Удлинив ступицу вдвое, получим конструктивно приемлемое значение n = 14.

3. КОНСТРУИРОВАНИЕ ФОРМУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА.

Формующий инструмент рассматривается отдельно от машины, на которой он применяется. Это не просто традиция. Таков положение, сложившееся на ранней стадии развития процессов переработки пластмасс в изделия, в дальнейшем, по мере развития этой отрасли промышленности, укрепилось тем, что на изготавливающих пластмассовые изделия заводах появились специальные конструкторские бюро и инструментальные цехи для разработки и изготовления технологической оснастки. Необходимость создания таких подразделений обусловлена многообразием конструкций инструмента и коротким сроком службы его по сравнению с основным оборудованием - машинами.

Инструмент требуется при любом способе формования, но роль его особенно велика при прессовании и литье под давлением. Эти способы в первую очередь, ответственны за выпуск изделий в очень широком ассортименте. В каждом способе к инструменту предъявляются свои особые требования, поэтому и при конструировании его требуется различный подход. Ниже формующий инструмент будет рассматриваться раздельно по способам формования, при этом наибольшее внимание будет уделено прессформам и литьевым формам.

3.1. Пресс-формы.

Под прессованием понимают такой способ формования изделий, при котором точная порция исходного материала подвергается сжатию путем взаимного перемещения формообразующих поверхностей, выполненных на деталях формующего инструмента, называемых оформляющими деталями пресс-формы. Между ними неизбежно имеются зазоры, в которые проникает прессуемый материал. Чтобы ограничить

неконтролируемые потери материала через зазоры, взаимное перемещение формующих деталей останавливают опорными планками, воспринимающими на себя усилие прессования в момент окончания процесса формования. Из-за этого после посадки формы на опорные планки создается неопределенность в отношении величины давления на прессуемый материал. Это не может не отражаться на качестве изделий, которое будет зависеть от изменения его вследствие износа, от колебания прессуемой порции материала и т.д. Из сказанного видно, что в процессе прессования имеется много неясностей, связанных с конструкцией пресс-формы. Принятие обоснованного конструктивного решения предопределяет технологию прессования.

На каждое изделие проектируется своя пресс-форма, при этом многие характерные особенности их конструкций бывают одинаковыми. То общее, что объединяет различные конструкции, может быть использовано для их описания. Среди признаков, по которым классифицируются пресс-формы, главнейшими будут:

1) Способ формования
2) Свойства формуемого материала
3) Число гнезд в форме
4) Характер работы формы
5) Конструкция оформляющих поверхностей
6) Способ извлечения изделий из формы
7) Степень механизации

По каждому из перечисленных признаков пресс-формы делятся на ряд типов, а каждый тип одного признака может сочетаться с различными типами другого. Таким образом, число возможных вариантов конструкций при использовании только семи главных признаков классификации может быть очень большим. Оно еще больше возрастает, если ввести дополнительные признаки, такие как, напри-

мер, способ нагрева, способ крепления, способ изготовления деталей пресс-форм, этажность и т.п. Естественно, что ниже будут даны краткие представления только о наиболее распространенных типах конструкций пресс-форм, подразделяемых в соответствии с перечисленными признаками.

3.1.1. По способу формования.

По этому признаку пресс-формы бывают двух типов: открытого и закрытого. В пресс-формах открытого типа формующие поверхности не образуют замкнутой полости. Прессуемый материал в этом случае имеет возможность вытекать в направлении перпендикулярном действующей силе давления. На рис.41 показаны схемы пресс-форм этого типа. Порция материала загружается в гнездо матрицы I и формуется

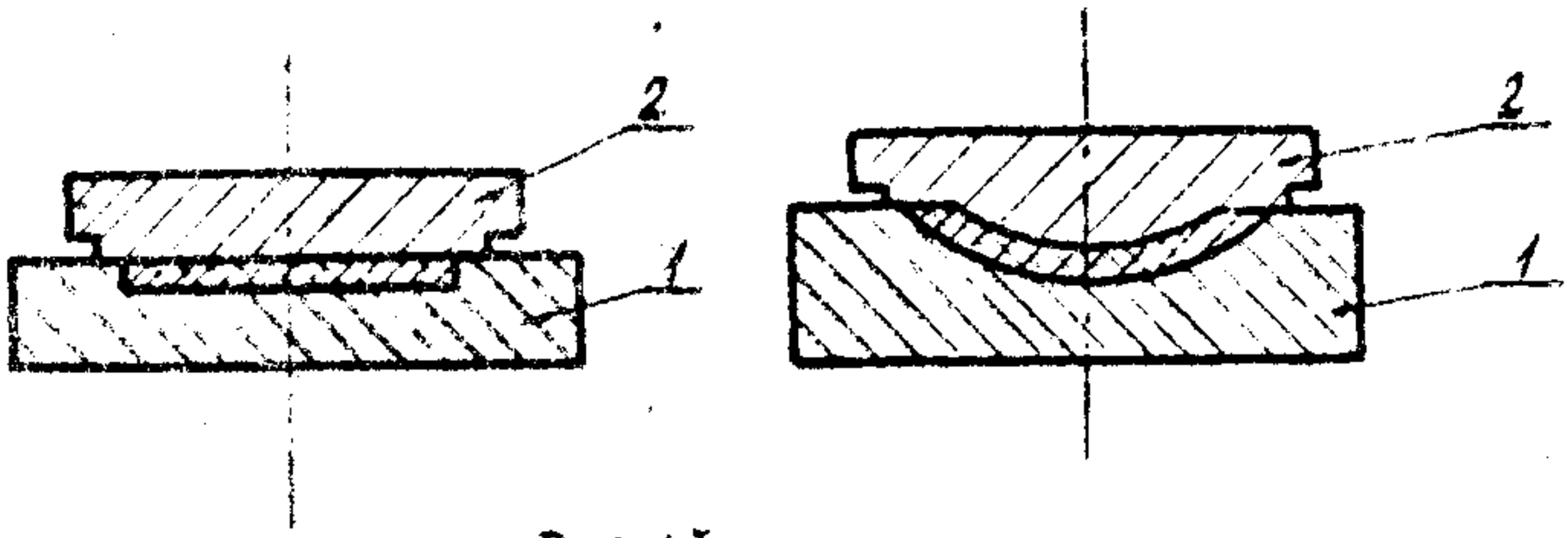


Рис.41

в изделие подвижным пуансоном 2. Очевидно, что в таких формах можно изготавливать изделия простейшей конфигурации из материалов с большим насыпным весом. При этом всегда будут большие потери сырья, поскольку на поверхностях контакта пуансона с матрицей образуется толстый грат (заусенец) из отжимаемого материала. Толщина грата зависит от вязкости материала и величины давления на формующих поверхностях. С целью облегчить удаление грата от изделия стремятся по возможности уменьшить его толщину путем уменьшения площади поверхности отжима, как показано на рис.41. Осуществляют как бы откусывание избытка материала от изделия,

однако, полностью ликвидировать грат не удается, поскольку при очень малой площади отжима начинают подминаться опорные поверхности пуансона и матрицы.

Плиты и листы из пластмасс прессуются на этажных прессах, где функции формующего инструмента выполняют обогреваемые плиты, которые образуют пресс-формы открытого типа, отличающиеся от приведенных на рис.41 тем, что в них формуемое изделие остается открытым по его периметру. Из-за этого вместо удаления грата приходится обрезать край изделия. С этими потерями мирятся, поскольку отсутствие боковых опор у прессующих плит обеспечивает возможность создания нужного давления непосредственно на прессуемый материал, что гарантирует высокое качество изделий при сравнительно низких давлениях прессования. Одни и те же плиты этажного пресса используют для изготовления разных изделий, поэтому они относятся не к инструменту, а являются составной частью пресса.

В пресс-формах закрытого (или поршневого) типа между взаимно перемещающимися формующими поверхностями образуется замкнутая полость, вытекание из которой может происходить только через очень узкий зазор между формующими деталями. На рис.42 представлены схемы двух разновидностей форм этого типа, отличающихся

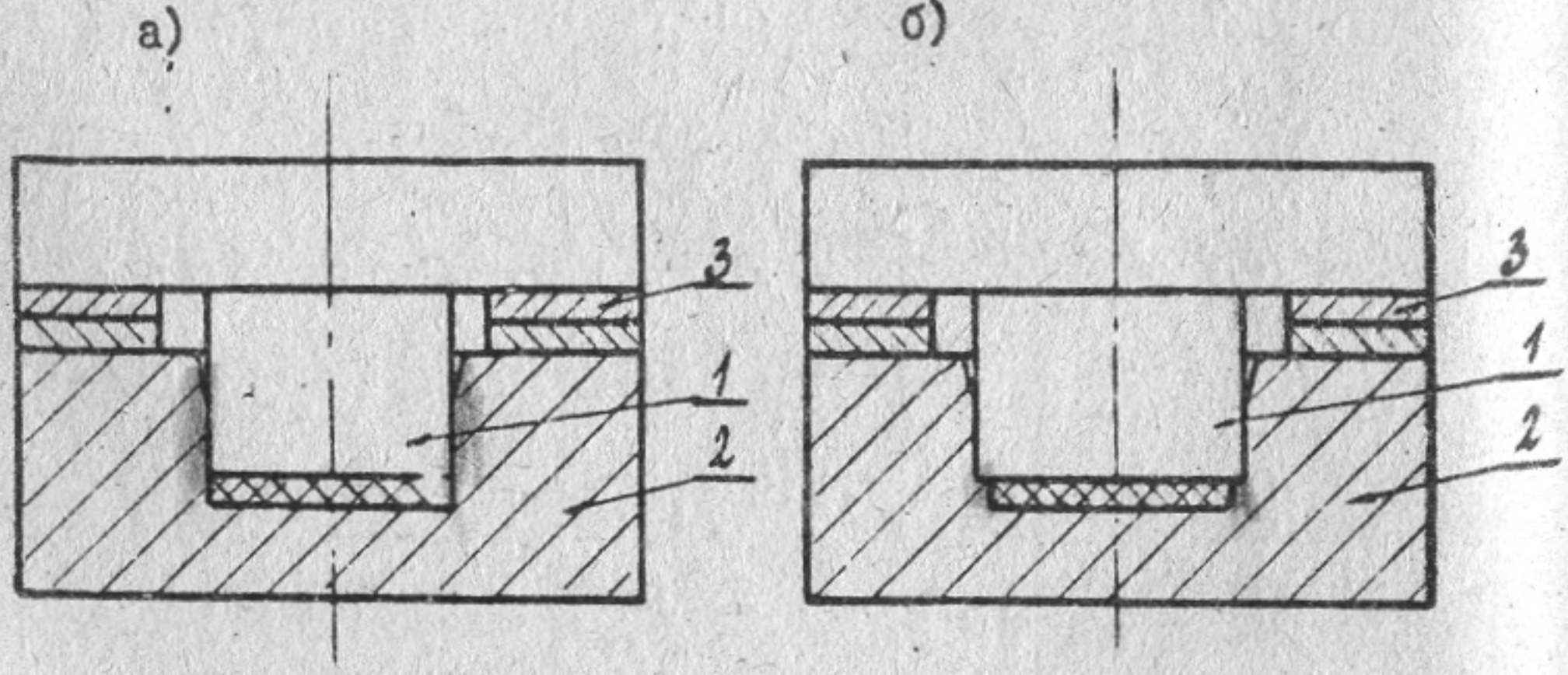


Рис.42

друг от друга тем, как образуется грат у формуемого изделия. Если поперечное сечение пуансона I точно такое же, как соответствующее ему сечение формуемого изделия, то грат образуется в вертикальном зазоре между пуансоном I и матрицей 2 (рис.42-а). Если сечение пуансона больше сечения изделия, то пуансон опирается на край гнезда матрицы и грат вблизи изделия направлен горизонтально (рис.42-б). В связи с этим сопоставляемые конструкции иногда называют пресс-формами с вертикальным и горизонтальным гратом. Пресс-формы с горизонтальным гратом называют также пресс-формами с отжимным гратом (или кантом).

Выбор той или иной конструкции обычно связывают с удобством обработки грата. Кроме этого, каждая из них имеет свои преимущества и недостатки, которые также учитываются при выборе конструкции.

Пресс-формы с вертикальным гратом требуют меньшее усилие прессования и у них меньше потери материала на грат. К недостаткам относится то, что при одной и той же высоте они имеют меньше объем полости для загрузки материала и в многогнездных формах приходится загружать раздельно каждое гнездо. Очевидно, в пресс-формах с горизонтальным гратом наблюдается противоположная картина в отношении отмеченных достоинств и недостатков.

В пресс-формах с вертикальным гратом размер по высоте изделия фиксируется опорными планками 5, воспринимающими усилие пресса в момент окончания процесса формования. При этом давление на материал в стадии формования зависит от величины зазора между пуансоном и матрицей, который с течением времени возрастает вследствие износа, что приводит к снижению качества изделий.

В пресс-формах с горизонтальным гратом одновременно с посадкой на опорные планки происходит отжим грата. Вследствие этого

возрастание зазора между пуансоном и матрицей меньше отражается на величине давления в материале и качество изделий снижается медленнее при одном и том же износе деталей формы.

3.1.2. По свойствам формуемого материала.

Технологические свойства прессуемого материала учитываются в конструкции пресс-форм, главным образом, при выполнении технологических расчетов. По результатам расчета назначаются основные размеры деталей формы, выбираются материалы для них. Так для рыхлых материалов (с малым насыпным весом) требуется большая загрузочная полость; для материалов с низкой текучестью требуется более высокое давление прессования и, следовательно, согласно расчету у проектируемой формы принимается меньше площадь прессования и т.д. Тип пресс-формы при этом обычно не изменяется.

Наиболее существенно на конструкцию формующего инструмента влияют те свойства, из-за которых пластмассы делят на реактопласты и термопласты. Реактопласты в процессе формования переходят в неплавкое состояние, поэтому отформованные из них изделия могут извлекаться из формы без охлаждения. Термопласты сохраняют плавкое состояние в процессе формования, поэтому изделия можно извлекать из формы только после их охлаждения, что сильно удлиняет цикл прессования. Из-за этого изделия из термопластов не прессуют, а отливают в холодных формах. И только очень толстые изделия (толщина более 20 мм) приходится прессовать, поскольку при изготовлении их на универсальных литьевых машинах они получаются с большими усадочными дефектами.

Здесь рассматривались и будут рассматриваться пресс-формы для реактопластов не имеющие охлаждения. Пресс-формы с охлаждением для толстостенных изделий из термопластов не рассматривались

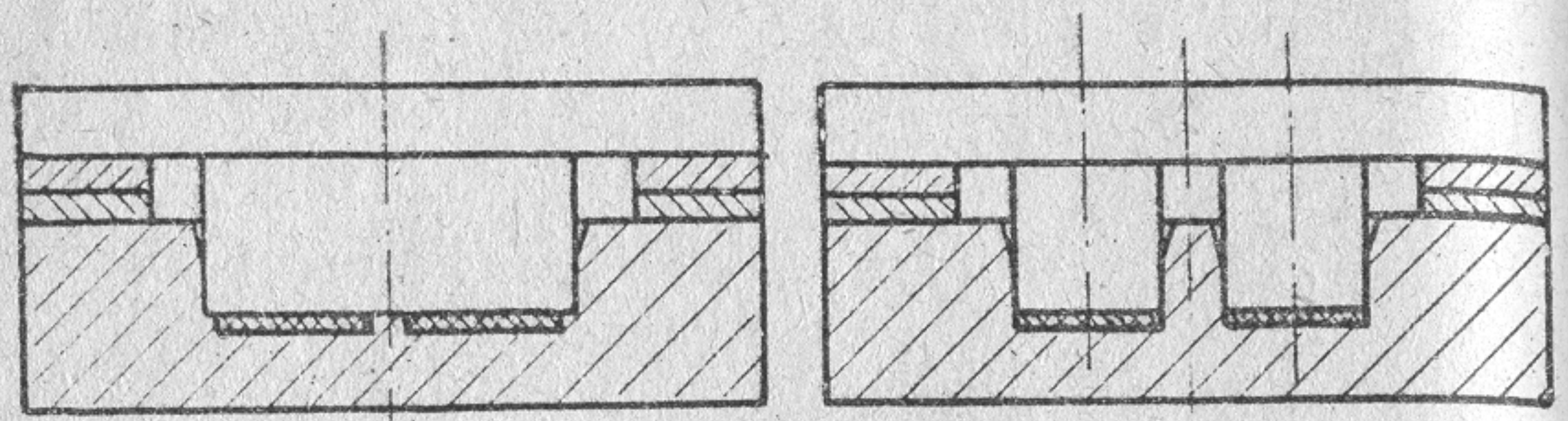
ся,поскольку они применяются редко и перспектива их развития весьма сомнительна. Конструктивно такие формы отличаются тем, что для нагрева вместо электроэнергии применяется пар, пропускаемый по каналам, в которые на стадии охлаждения вместо пара подается вода. Толстостенные изделия из термопластов целесообразно изготавливать методом литья под низким давлением (до 300кгс/см^2) в холодные формы, предусматривая для этого быстрый впрыск материала и подпитку формы расплавом на протяжении всего периода охлаждения изделия через обогреваемые литники.

3.1.3. По числу гнезд в форме.

По числу формуемых одновременно изделий пресс-формы делятся на одногнездные и многогнездные. Крупногабаритные изделия с большой площадью прессования изготавливают в одногнездных формах, а в отношении мелких изделий возникает вопрос о том, что выгоднее: прессовать их в малогнездных формах на небольших прессах, или в многогнездных формах на больших прессах. Очевидно, что для изделий, изготавливаемых небольшими сериями, невыгодно применять дорогостоящие многогнездные формы , которые не будут использованы до полного износа. Не вызывает также сомнений то, что для изделий, изготавливаемых очень большими сериями, выгодно применять многогнездные формы особенно тогда, когда каждый пресс обслуживается одним рабочим. Экономистами найдена количественная зависимость между оптимальной гнездностью и соотношением затрат на инструмент и эксплуатацию пресса, которая будет использована ниже, в разделе, посвященном расчетам.

Известны два типа многогнездных пресс-форм: 1) с общей загрузочной камерой и 2) с индивидуальной загрузкой каждого гнезда (см.рис.43). Общую загрузочную камеру делают тогда, когда

конфигурация прессуемых изделий позволяет расположить гнезда вплотную друг к другу, с малыми промежутками между ними, т.е. с малой площадью отжимного грата. Пресс-форма получается компакт - ной, более дешевой в изготовлении; она удобнее в эксплуатации,



Пресс-форма с общей загрузочной камерой

Пресс-форма с индивидуальной загрузочной камерой

Рис.43

т.к не требуется индивидуальная загрузка каждого гнезда.

К недостаткам ее следует отнести повышенные потери материала и необходимость применения большего усилия прессования.

Пресс-формы с раздельной загрузкой гнезд обладают противоположными качествами. Кроме того они обеспечивают возможность изготовления более точных изделий. Независимая загрузка каждого гнезда позволяет учитывать при работе различия в степени их износа, а при выходе из строя одного, или нескольких гнезд, можно продолжать работу не расходуя материал на неисправные гнезда.

3.I.4. По характеру работы.

По характеру работы пресс-формы делят на съемные и стационарные. Наиболее совершенными, безусловно, являются стационарные формы, закрепляемые неподвижно на прессе. Они наиболее распространены. Тем не менее иногда экономически целесообразно приме - нить более простую и дешевую съемную форму, снимаемую с пресса каждый раз после окончания прессования. Такие упрощенные конструк-

ции применяют для изготовления небольших партий изделий, или первых опытных образцов вновь разрабатываемых изделий.

На рис.44 показана схема съемной пресс-формы в рабочем состоянии (слева) и схема разъема ее с помощью двух скоб (справа).

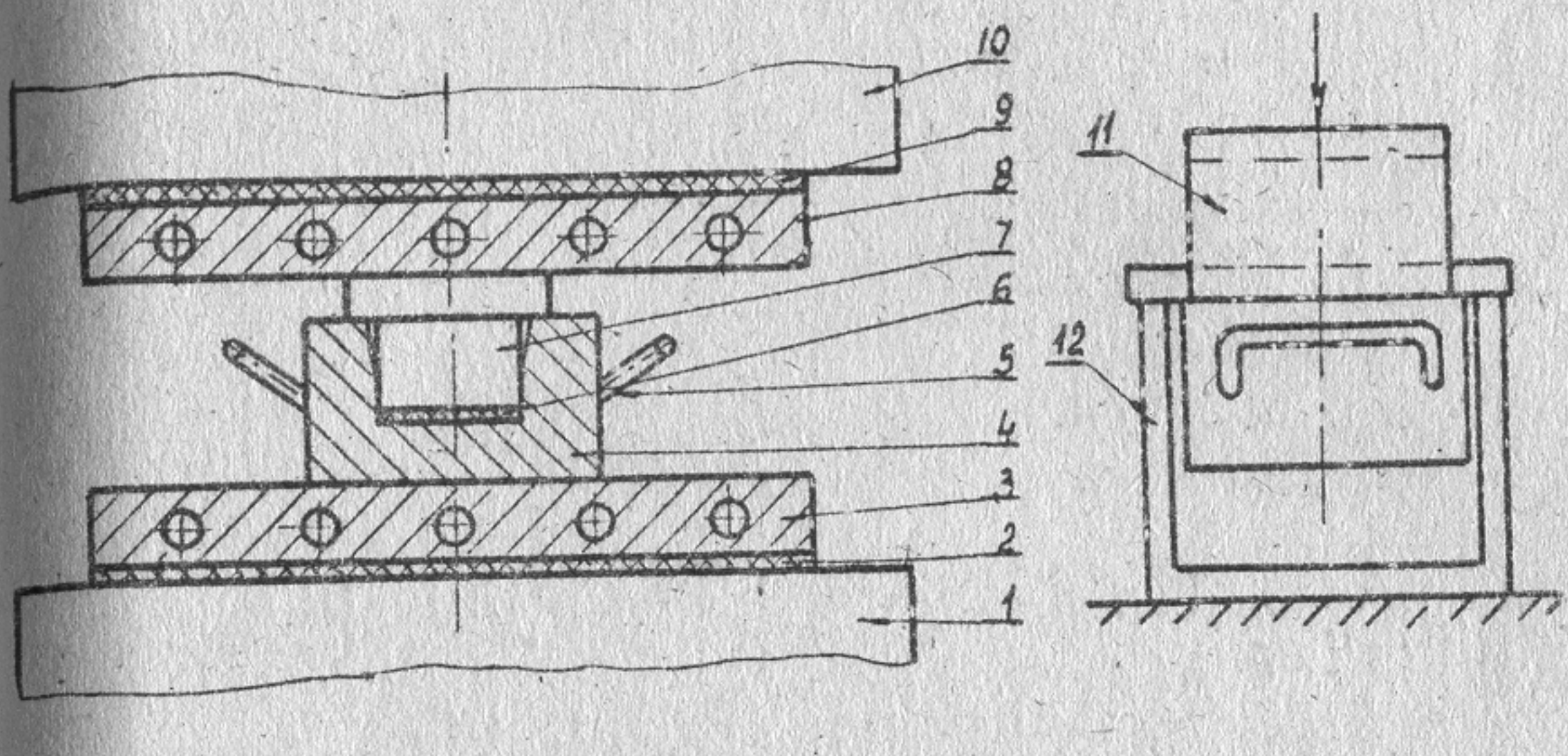


Рис.44

I-стол пресса; 2-теплоизоляция; 3-нижняя греющая плита; 4-матрица;5-ручка; 6-изделие; 7-пуансон; 8-верхняя греющая плита; 9-теплоизоляция; I0-подвижная плита пресса; II-верхняя скоба; I2-нижняя скоба.

Пресс-форма, загруженная прессматериалом вне пресса, ставится с помощью ручек на нижнюю греющую плиту, закрепленную на столе пресса. Усилие прессования передается через верхнюю греющую плиту, закрепленную на подвижной плите пресса. По окончании процесса отверждения подвижная плита поднимается и форма вручную снимается с пресса для извлечения из нее готового изделия. Разъем формы осуществляют по-разному. Чаще всего для этого применяют скобы, как показано на рис.44 справа. На нижнюю скобу опирают удлиненные края пуансона, а верхнюю скобу ставят под углом в 90° по отношению к нижней на свободные края матрицы. Нажатием на верхнюю скобу стаскивают матрицу с пуансона. Иногда это достигается путем постукиваний по верхней скобе. Если для разъема требу-

ется большое усилие , то пользуются тем же прессом.

На рис.45 представлена типовая конструкция стационарной пресс-формы на изделие коробка прямоугольного сечения.

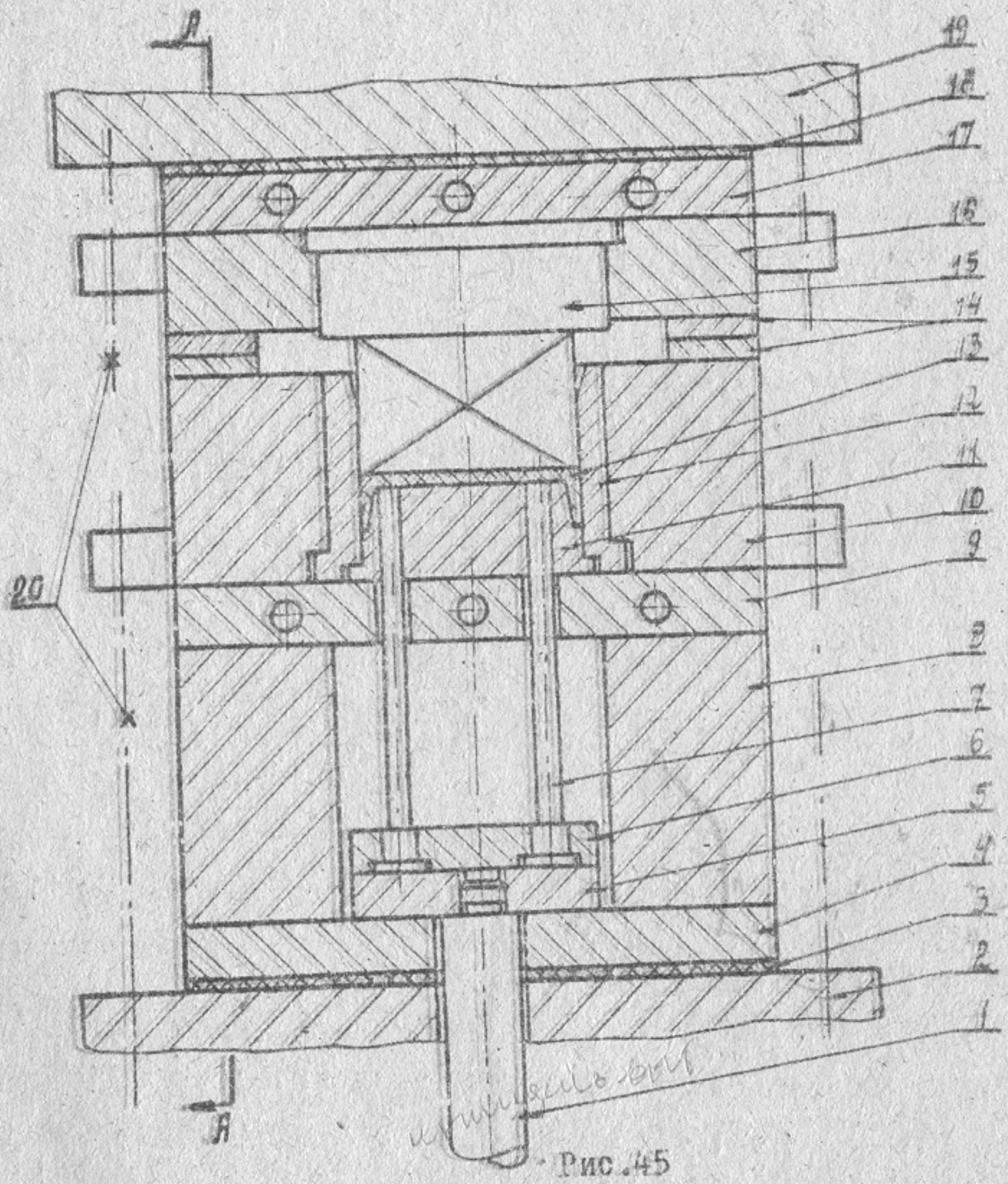


Рис.45

1-шпиндель выталкивателя; 2-стол пресса; 3-теплоизоляция; 4-пли
та опорная; 5-фланец выталкивателя нижний; 6-фланец выталкивате
ля верхний; 7-шпилька выталкивающая; 8-брус опорный; 9-греющая
плита нижняя; 10-обойма матриц; 11-дно матрицы; 12-матрица; 13
-изделие; 14-планки опорные; 15-пуансон; 16-обойма пуансонов;
17-греющая плита верхняя; 18-теплоизоляция подвижной плиты пре
сса; 19-подвижная плита пресса; 20-крепежные болты.

В разрезе показано одно гнездо; другие гнезда располагают
по оси, перпендикулярной плоскости чертежа. При таком располож
нии гнезд нижняя греющая плита 9 испытывает наименьший изгиба

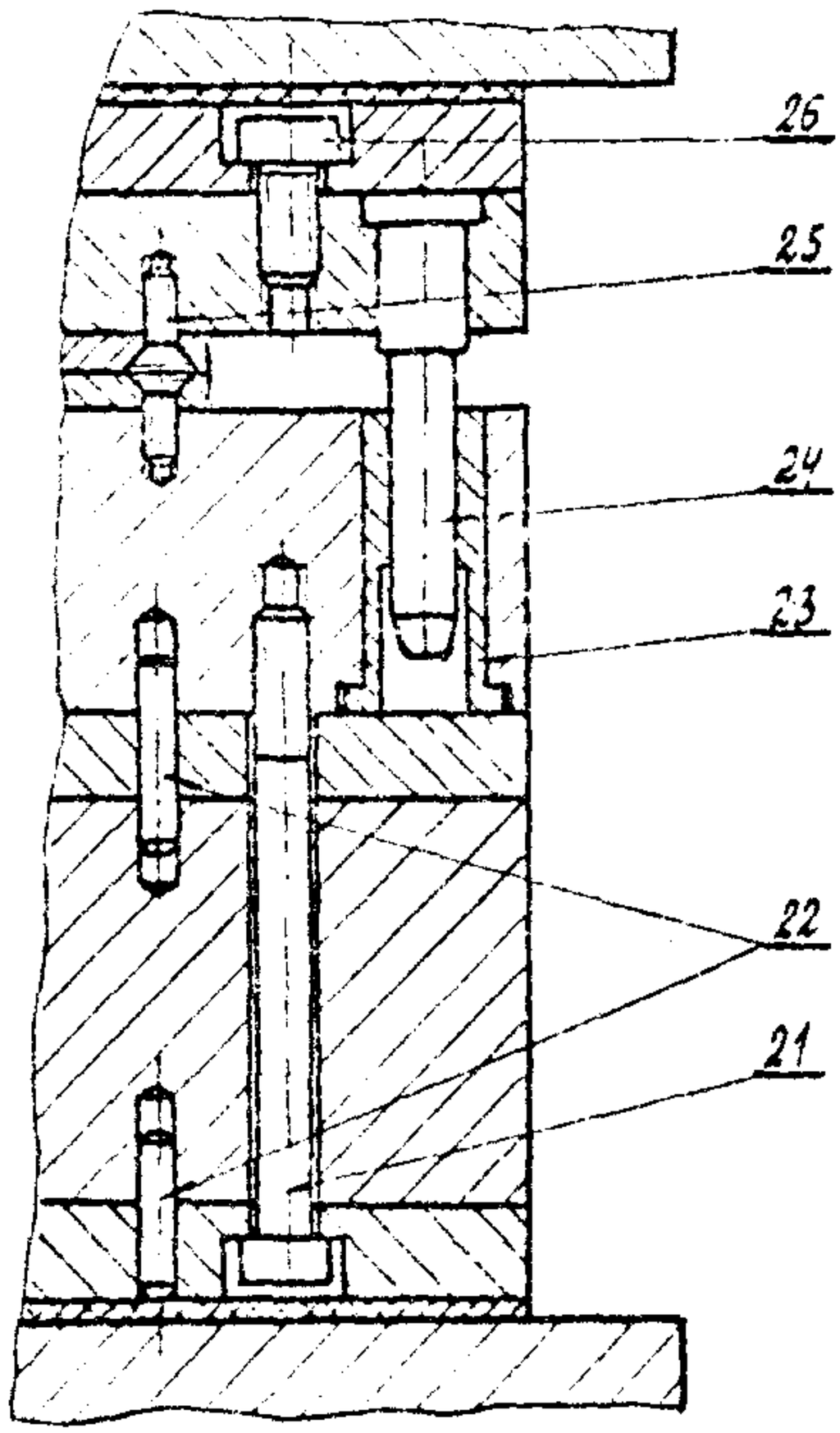


Рис.46 (разреа по А-А на рис.45)

21-винт для крепления матриц; 22-установочные штифты; 23-центрующая втулка; 24-центрующая колонка; 25-винт опорной планки; 26-винт для крепления пуансонов.

кий момент от усилия прессования.

Пресс-форма состоит из трех частей: нижней неподвижной, верхней подвижной и выталкивателя. Все детали нижней части свертываются между собой винтами 21 (см.рис.46), а верхней - винтами 26. Точное сопряжение деталей обеспечивается с помощью установочных штифтов 22. Аналогично соединяются и детали выталкивателя, для направления которых иногда предусматривают направляющие колонки, устанавливаемые между опорной плитой 4 и нижней греющей плитой 9. Эти же колонки могут использоваться как дополнительные опоры ниж-

ней греющей плиты, предотвращающие ее прогиб.

В процессе смыкания верхней части с нижней центрующие колонки 24 до входа пуансонов в матрицы обеспечивают точное направление их, предотвращая возможность каких-либо задиров.

Благодаря принятому расположению изделий, они при разъеме пресс-формы остаются в матрицах, из которых затем выталкиваются шпильками. Величина хода выталкивателя обеспечивает съем изделий с помощью вилок.

Стационарные пресс-формы предназначаются для изготовления больших партий изделий, поэтому все изнашивающиеся детали (пуансон, матрица, центрующие колонки и втулки, выталкивающие шпильки, опорные планки) делают сменными из сталей с термообработкой.

5.1.5. По конструкции оформляющих поверхностей.

Наибольшее разнообразие конструктивных решений связано с деталями, образующими оформляющие поверхности формы. Основными типами конструкций по этому признаку будут:

1) Пресс-формы с одним разъемом
2) Пресс-формы с двумя и более разъемами
3) Пресс-формы со съемными и подвижными оформляющими деталями.
4) Пресс-формы для резьбовых изделий
5) Кассетные формы.
6) Пресс-формы для изделий с арматурой

Большинство пресс-форм делаются одноразъемными. Однако, не всегда это удается. Оси оформляемых отверстий должны располагаться перпендикулярно плоскости разъема, поэтому наличие у изделий отверстий, или углублений с непараллельными осями вынуждает делать у пресс-формы дополнительные разъемы, или специальные офор-

мляющие детали (знаки), извлекаемые из изделия перед разъемом формы. Широкое распространение получили формы с разъемными матрицами, работающими по принципу, иллюстрируемому на рис.47. Круглые полуматрицы 4 в сборе со стержнем 6 и вкладышем 7 сажают в конусное гнэдо обоймы 2 и производят прессование пуансоном 5, как в обычной форме. Благодаря боковым конусным поверхностям полуматрицы надежно смыкаются под действием усилия прессования.

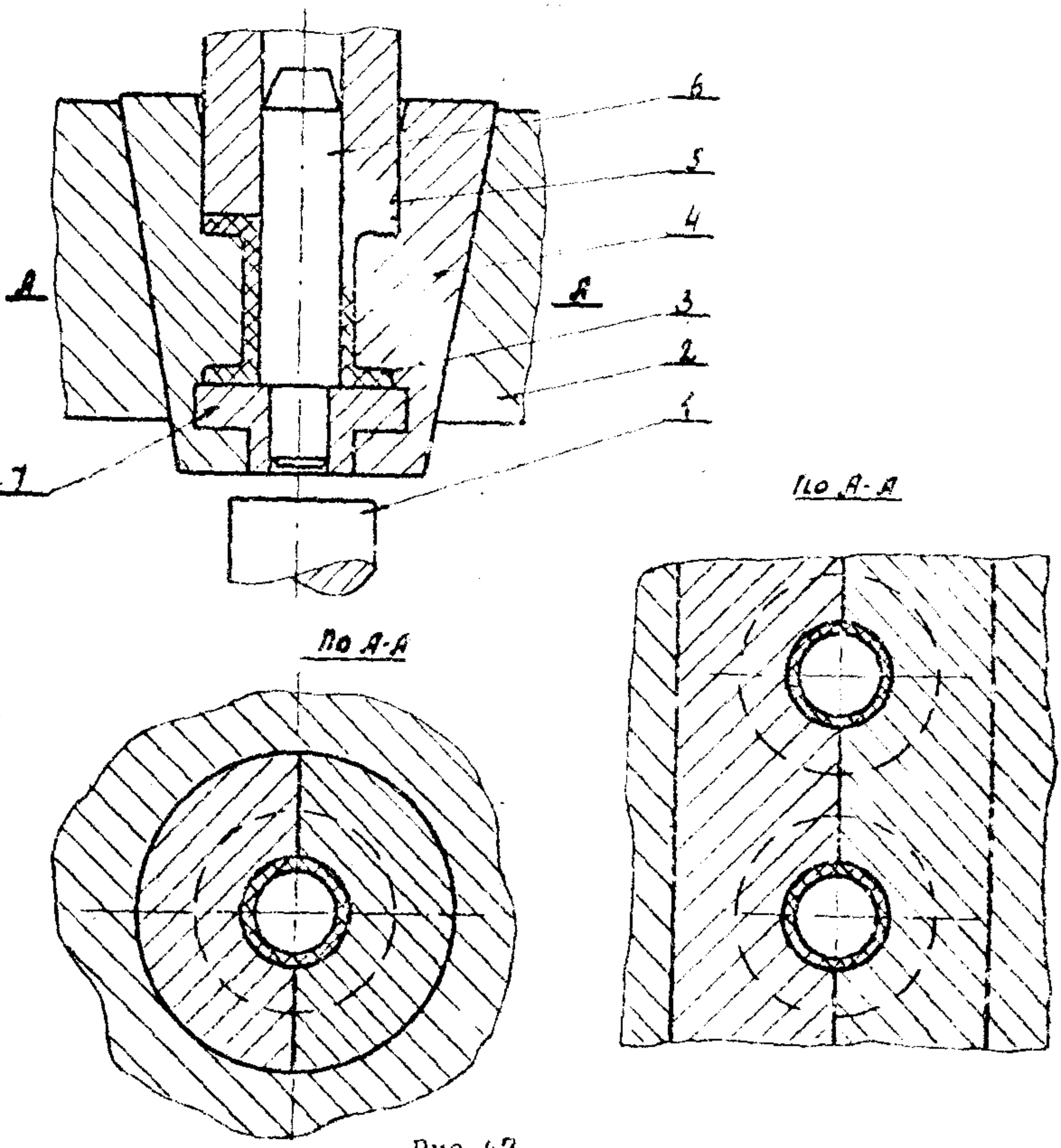


Рис.47

I-выталкиватель; 2-обойма матриц; 3- изделие; 4-полуматрица; 5-пуансон; 6-стержень; 7-вкладыш.

Готовое изделие выталкивают вместе с полуматрицами и вне формы его отделяют от оформляющих деталей. В этом случае полуматрицы выполнены раздельно для каждого гнезда, но они могут быть общими для всех гнезд, как показано на рис.47 справа. В последнем случае облегчается механизация разъема полуматриц без удаления их из формы, например, с помощью шарнирных механизмов, удерживающих полуматрицы вблизи обоймы.

Боковые отверстия, впадины и уступы иногда оформляют с помощью съемного вкладыша, помещаемого в паз матрицы, из которого он выталкивается вместе с изготовленным изделием, как показано на рис.48. От изделия вкладыш отделяется вне формы, а чтобы не простаивал пресс, следующий цикл начинают с другим вкладышем. Чтобы

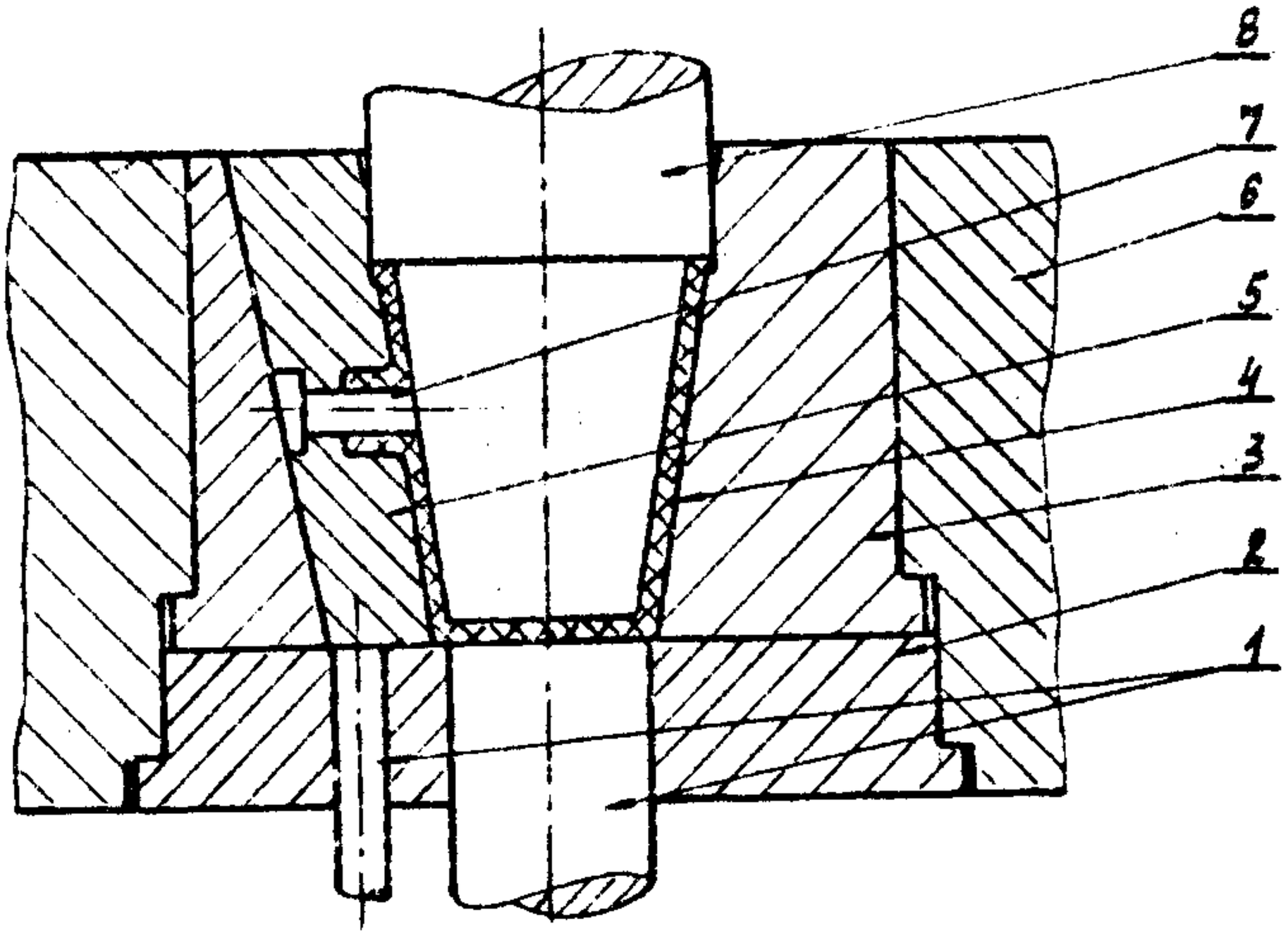


Рис.48

1-выталкиватель; 2-дно матрицы; 3-матрица; 4-изделие; 5-вкладыш; 6-обойма матриц; 7-шпилька; 8-пуансон.

можно было изготовить в матрице паз для вкладыша, у нее делают отдельное дно.

Формование боковых отверстий производят также с помощью

подвижных шпилек, автоматически извлекаемых из изделия перед его выталкиванием. Движение шпилек осуществляют обычно обратным ходом пресса.

Наибольшие трудности возникают при разработке конструкций пресс-форм для изделий с резьбой. Чтобы отделить оформляющую резьбу деталь от изготовленного изделия, его надо вращать. Если оформляющая резьбу деталь одна и неотделима от формы, то вывертывание изделий производят на прессе вручную, или с помощью специальных устройств, автоматически подаваемых к разомкнутой форме. При таком способе теряется рабочее время пресса. Выгоднее делать это за пределами формы, что наиболее часто и реализуется на практике. Резьбу оформляют съемными резьбовыми знаками, запрессовываемыми в изделие, вместе с которым они затем извлекаются из формы. Пример такого решения представлен на рис.49. Резьбовые знаки 2 укла-

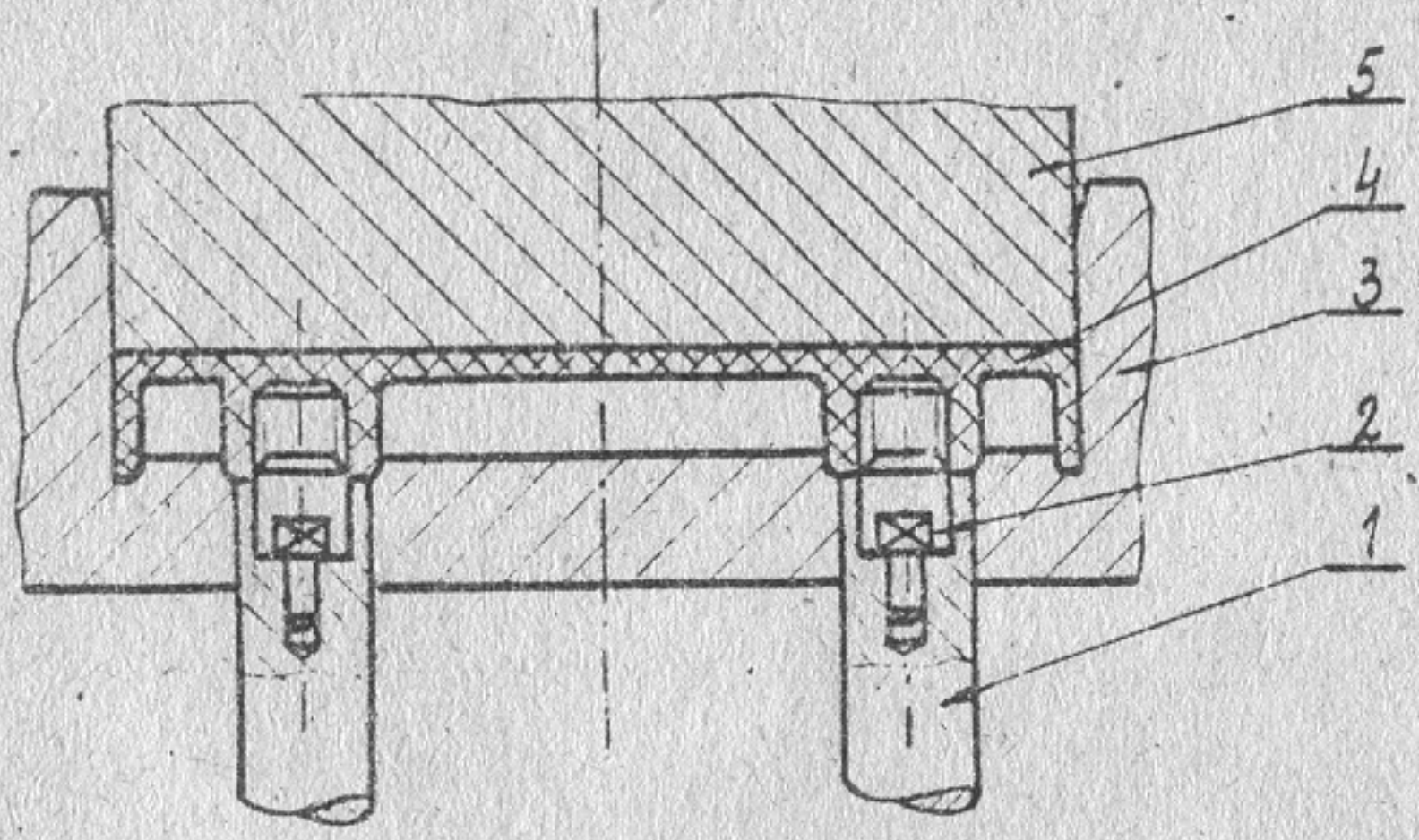


Рис.49

I-выталкиватель; 2-резьбовой знак; 3-матрица; 4-изделие; 5-пуансон.

дывают в гнезда на верхних концах выталкивателей I и производят прессование. Отформованное изделие снимается с выталкивателей вместе со знаками и передается к приспособлению для вывинчивания знаков, а следующий цикл прессования производят с другими знаками.

широко применяются так называемые кассетные пресс-формы, в которых резьбовые изделия удаляются вместе с матрицами, собранными в одной кассете. Схема конструкции такой формы дана на рис.50.

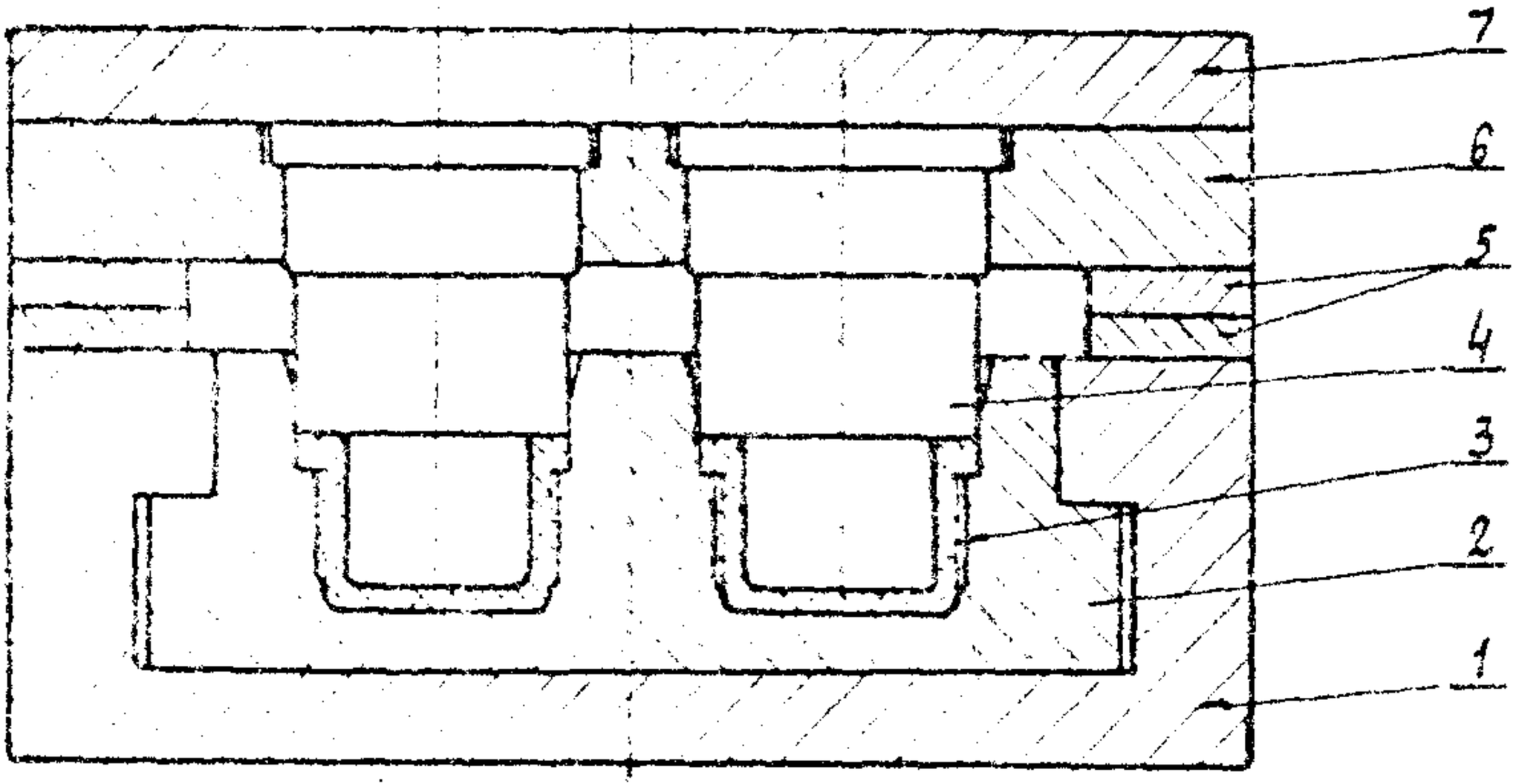


Рис.50

1-обойма кассеты; 2-кассета с матрицами; 3-изделие; 4-пуансон; 5-опорные планки; 6-обойма пуансонов; 7-плита.

Все гнезда расположены в одной кассете 2, которая после разъема формы выдвигается из обоймы 1 и передается на вывинчивающее приспособление, а следующий цикл начинается с другой кассетой. Работу формы легко автоматизировать без потери рабочего времени пресса путем применения двух спаренных кассет. Когда в одной кассете происходит прессование, из другой вывинчиваются изделия на приспособлении, расположенном рядом с пресс-формой.

Приведенными примерами не исчерпывается все многообразие конструкций пресс-форм, предназначенных для формования резьбовых изделий. Наиболее совершенными, по-видимому, являются разработанные в последнее время конструкции, в которых вывертывание изделий, или знаков, производят непосредственно в форме во время ее разъема. Для этого электродвигатель с соответствующим механизмом монтируются в пресс-форме, т.е. они являются составной частью ее

конструкции.

Пресс-формы для изделий с арматурой могут ничем не отличаться от обычных конструкций, если не исключать ручные операции по укладке арматуры в раскрытую форму. Эти операции, как правило, не требуют больших затрат времени, поэтому там, где не преследуется цель полной автоматизации, их выполняют вручную перед загрузкой прессматериала.

Гнезда для арматуры должны предусматриваться в соответствии с требованиями, изложенными в разделе, посвященном конструированию изделий с арматурой. Здесь отметим, что сложная, легко повреждаемая арматура не должна применяться при прессовании. В таких случаях нужно пользоваться литьем под давлением.

Вопросы механизации укладки арматуры в форму решаются путем создания нужных для этого механизмов, что выходит за рамки рассматриваемых здесь вопросов.

Создаваемые механизмы должны ориентировать арматуру в нужном направлении, посылать ее в посадочные гнезда и закреплять в гнездах. Последняя операция становится неизбежной при размещении арматуры в верхней части формы, где для удержания ее от выпадания нужны защелки и различные зажимные устройства.

3.1.6. По способу извлечения изделий из формы.

Различают три способа извлечения изделий из пресс-формы: I - без выталкивания; 2 - с нижним выталкиванием; 3 - с верхним выталкиванием.

Без выталкивателей извлекают изделия простейшей формы, не имеющие углублений и уступов (плоские, цилиндрические, чашеобразные и т.п.). После раскрытия формы изделие интенсивно обдувают воздухом, в результате чего оно охлаждается и, усаживаясь, отхо-

дит от оформляющей поверхности. Воздух попадает в образующийся зазор и выдувает изделие. Так как сжатый воздух применяется для очистки пресс-форм от обломков грата и всегда подводится к прессам, то этот способ извлечения изделий реализуется без каких либо дополнительных затрат.

Нижнее выталкивание производят на прессах, оснащенных выталкивающим гидроцилиндром. Типовая конструкция нижнего выталкивателя показана на рис.45. Шпиндель выталкивателя I соединяется жестко с поршнем выталкивающего цилиндра и срабатывает при его подъеме, независимо от движения подвижной плиты пресса. На прессах, не имеющих выталкивающего цилиндра, нижнее выталкивание осуществляют с помощью расположенной под столом пресса траверзы, поднимаемой тягами, соединяющими ее с подвижной плитой пресса. Траверза,в свою очередь, поднимает шпиндель выталкивателя и осуществляет таким образом выталкивание одновременно с разъемом пресс-формы.

Сталкивая изделия с верхней части пресс-формы на подведенный под них наклонный лоток, осуществляют одновременно подачу готовых изделий под действием собственного веса от пресса до транспортировочной тары. Такое решение весьма эффективно с точки зрения автоматизации процесса прессования. Оно может быть реализовано по схеме, представленой на рис.5I. Оформляющие детали выполняются так, чтобы при разъеме формы изделие уносилось на пуансоне 3. Когда произойдет разъем на высоту h тяги 8 задержат траверзу 7 и она начнет перемещаться по пазу продолжающей подниматься обоймы пуансона, сжимая пружины 6, а кольцевой сталкиватклъ 4 начнет сталкивать изделие с пуансона. Принимающий лоток в это время должен находиться под пуансоном. Подающий его механизм может одновременно осуществлять и загрузку новой порции прессматериала в освободившееся гнездо. После удаления изделия лоток отводится в

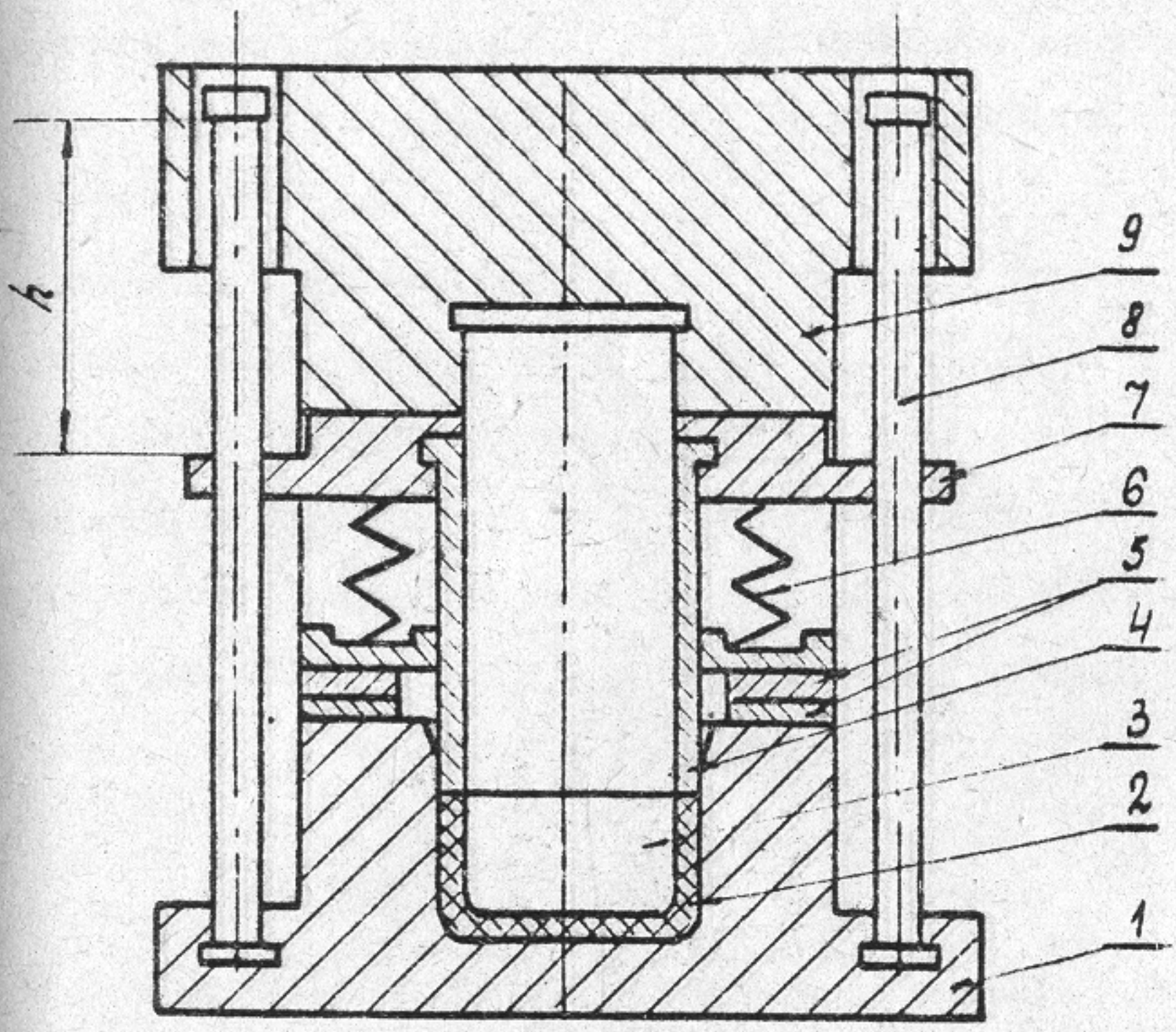


Рис.5I

I-матрица с обоймой; 2-изделие; 3-пуансон; 4-кольцевой сталкиватель; 5-опорные планки; 6-пружины возврата сталкивателя; 7-траверза сталкивателя; 8-тяга; 9-обойма пуансона.

исходное положение и начинается следующий цикл прессования.

В начальный момент смыкания формы пружины 6 по мере освобождения тягами 8 траверзы 7 , возвращают ее с кольцевым сталкивателем 4 в исходное положение по отношению к пуансону 3 и дальше они опускаются как одно целое, осуществляя последующее прессование.

Вместо кольцевого сталкивателя могут применяться сталкивающие шпильки, закрепляемые в траверзе по схеме, изображенной на рис.52, где пуансон показан как одно целое с нижней частью обоймы.

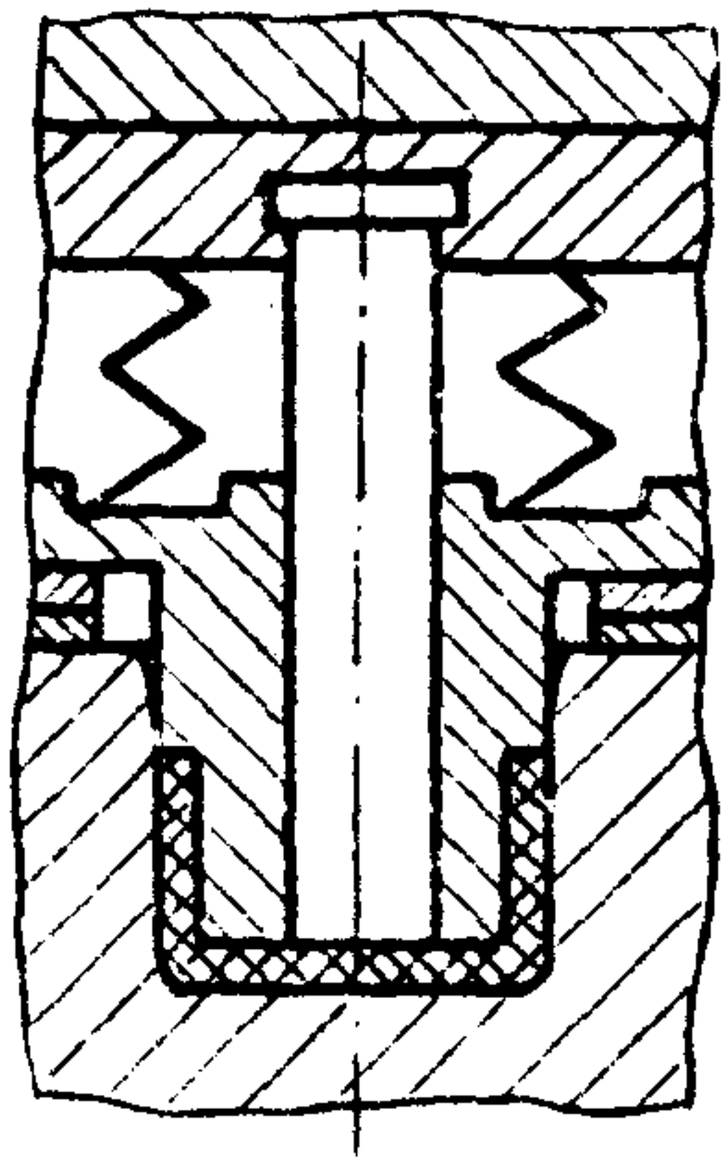


Рис.52

3.I.7. По степени механизации.

По этому признаку пресс-формы делят на ручные, полуавтоматические и автоматические.

К ручным относят съемные пресс-формы и такие конструкции из стационарных, в которых вручную выполняются: извлечение формующих знаков и вкладышей, вывинчивание изделий и резьбовых знаков, укладка арматуры, выравнивание прессматериала в загрузочной камере и другие трудоемкие операции.

В полуавтоматических пресс-формах нет трудоемких ручных операций. Такие операции, как съем вытолкнутых изделий, обдувка формы воздухом с целью удаления грата и загрузка прессматериала (без укладки и разравнивания) нельзя отнести к трудоемким. Они выполняются вручную не столько из-за трудностей, связанных с их механизацией, сколько из-за необходимости визуального контроля за процессом прессования. Контролируется, главным образом, внеш-

вид готовых изделий и в соответствии с ним вносятся корректи- в технологию прессования. Такой визуальный контроль вынуждены проводить вследствие нестабильности технологических свойств пресс-материалов.

Полностью автоматизированные пресс-формы работают на прессах автоматах, оснащенных загрузочными и выгрузочными устройствами. эти устройства не могут быть универсальными, поэтому ассортимент изделий, изготавливаемых с их применением, весьма ограничен. Для изделий, требующих дополнительные разъемы в форме, имеющих арматуру, или резьбу, требуются оригинальные решения по загрузке и выгрузке.

3.2. Литьевые формы.

В литературе инструмент, применяемый как при прессовании, так и при литье под давлением, очень часто именуется одинаково, т.е. называется пресс-формой, от слова прессование.

Сами процессы прессования и литья под высоким давлением существенно различны и не дают оснований применять один термин к используемому в этих процессах инструменту. При литье, в отличие от прессования, изделие формуется в сомкнутой форме, т.е. формующие поверхности неподвижны и усилие, необходимое для формования, создается гидростатически посредством системы узких каналов-литни-ков.Несмотря на такое принципиальное различие сопоставляемых процессов формования, применяемый в этих процессах инструмент имеет много общего. В обоих случаях оформляющие поверхности образуют замкнутую полость, которая должна размыкаться при извлечении изделий. Усилия, развиваемые на оформляющих поверхностях, одного порядка, поэтому условия работы инструмента с точки зрения по прочности сравнительно близкие. Большинство изделий могут

формоваться и в пресс-формах и в литьевых формах. Выбор материала для проектируемого изделия часто делают с учетом эффективности применения того, или другого инстумента. Для реактопластов, перерабатываемых обоими способами, наоборот, возникает вопрос о выборе инструмента по заданному материалу.

Учитывая высказанные соображения относительно общности пресс-форм и литьевых форм, с целью их сопоставления и исключения повторных описаний, будем рассматривать литьевые формы по тем же семи признакам.

По первому, пятому и шестому признакам наблюдаются наибольшие различия в конструкциях литьевых форм и пресс-форм, поэтому ниже будут даны соответствующие описания без опасения повторений.

По остальным четырем признакам нет необходимости давать для литьевых форм независимые описания. Ссылаясь на предыдущие описания по этим признакам дадим краткие сопоставления инструментов, применяемых при прессовании и литье под высоким давлением.

Зависимость конструкции от технологических свойств перерабатываемого материала (второй признак) в литьевых формах также учитывается при выполнении технологических расчетов, в первую очередь, при расчете литниковых систем. Наибольшие различия в конструкции также связаны с тепловыми режимами формования. Так для термопластов применяют охлаждаемые формы, а для реактоплпстов - - нагреваемые. Комбинации нагрева с охлаждением в литьевых формах не применяются. Каналы для трубчатых электронагревателей, или для охлаждающей воды, выполняют как в отдельных деталях формы - - плитах, так и в самых оформляющих деталях и их обоймах. Поскольку литье реактопластов пока не получило широкого распространения, обогреваемые литьевые формы ниже рассматриваться не будут.

По выбору гнездности (третий признак) все высказанное ранее

остается в силе. Расположение гнезд в литьевых формах анализируется одновременно с выбором литниковой системы и конструкций охлаждающих каналов.

По характеру работы (четвертый признак) сохраняется деление на съемные и стационарные формы. Съемные формы применяются очень редко и не будут рассматриваться здесь. На стационарные литьевые формы имеются стандарты (ГОСТ 22062 ÷ ГОСТ 22082-76), в которых даны форма и размеры заготовок для деталей литьевых форм. Конструктор должен выбрать для проектируемой формы подходящие размеры заготовок так, чтобы в растачиваемые у них гнезда разместились оформляющие детали. Стандартизованны центрующие и крепежные детали. Введение стандартов преследует цель снизить стоимость форм путем централизации изготовления отдельных деталей и основных заготовок. Возможности использования стандартов будут рассматриваться ниже на конкретных примерах.

По степени механизации литьевые формы также делятся на три типа: ручные, полуавтоматические и автоматические. В отличие от пресс-форм в полуавтоматических литьевых формах отсутствует ручная операция загрузки формуемого материала. Это облегчает введение полной автоматизации. Вертикальное расположение плоскости разъема способствует автоматическому удалению отлитых изделий под действием собственного веса.

3.2.I. Особенности конструкций, определяемые способом литья.

Литье под давлением осуществляют на универсальных литьевых машинах, на специализированных литьевых машинах, на гидравлических прессах (пресс-литье), на экструдерах (интрузия) и на разных ручных приспособлениях. Самое широкое распространение для термо-

пластов получили универсальные литьевые машины, а для реактопластов пресс-литье, т.е. литье на гидравлических прессах, поэтому ниже будут рассматриваться формы, применяемые на этих машинах. Начинающая развиваться специализация литьевых машин проводится в направлении сужения ассортимента изготавливаемых на одной машине изделий, что приводит к снижению роли формующего инструмента. Отдельные элементы формы становятся как бы частью самой машины. Из-за отсутствия специализированных машин для изготовления толстостенных изделий иногда применяют экструдеры. Расплав из экструдера подается непосредственно в охлаждаемую форму, конструкция которой обычно бывает очень простой, поскольку давление литья невелико (до 100÷ 200кг/см^2), а длительность цикла очень большая (от десятков минут до нескольких часов). Значение конструкций применяемых в этих случаях форм невелико, поэтому они здесь не рассматриваются.

Характер процесса литья одного и того же изделия на одной и той же машине сильно зависит от конструкции применяемой литниковой системы. Это находит отражение в названиях литьевых форм. Называют формы холодноканальными и горячеканальными. Бывают формы с точечным впуском, с щелевым впуском, с тунельным впуском с центральным литником и т.д. Оставляя за конструкторами право именовать формы по типу применяемых литников, ограничимся описанием их конструкций и оценкой достоинств и недостатков.

3.2.1.1. Типовая конструкция литьевой формы.

На рис.53 представлен чертеж типовой конструкции литьевой формы, выполненный в соответствии с ГОСТ-ами на детали и заготовки деталей литьевых форм, указанными в подписи к рисунку. Отсутствуют ГОСТ^N только на оформляющие детали: пуансоны, мат-

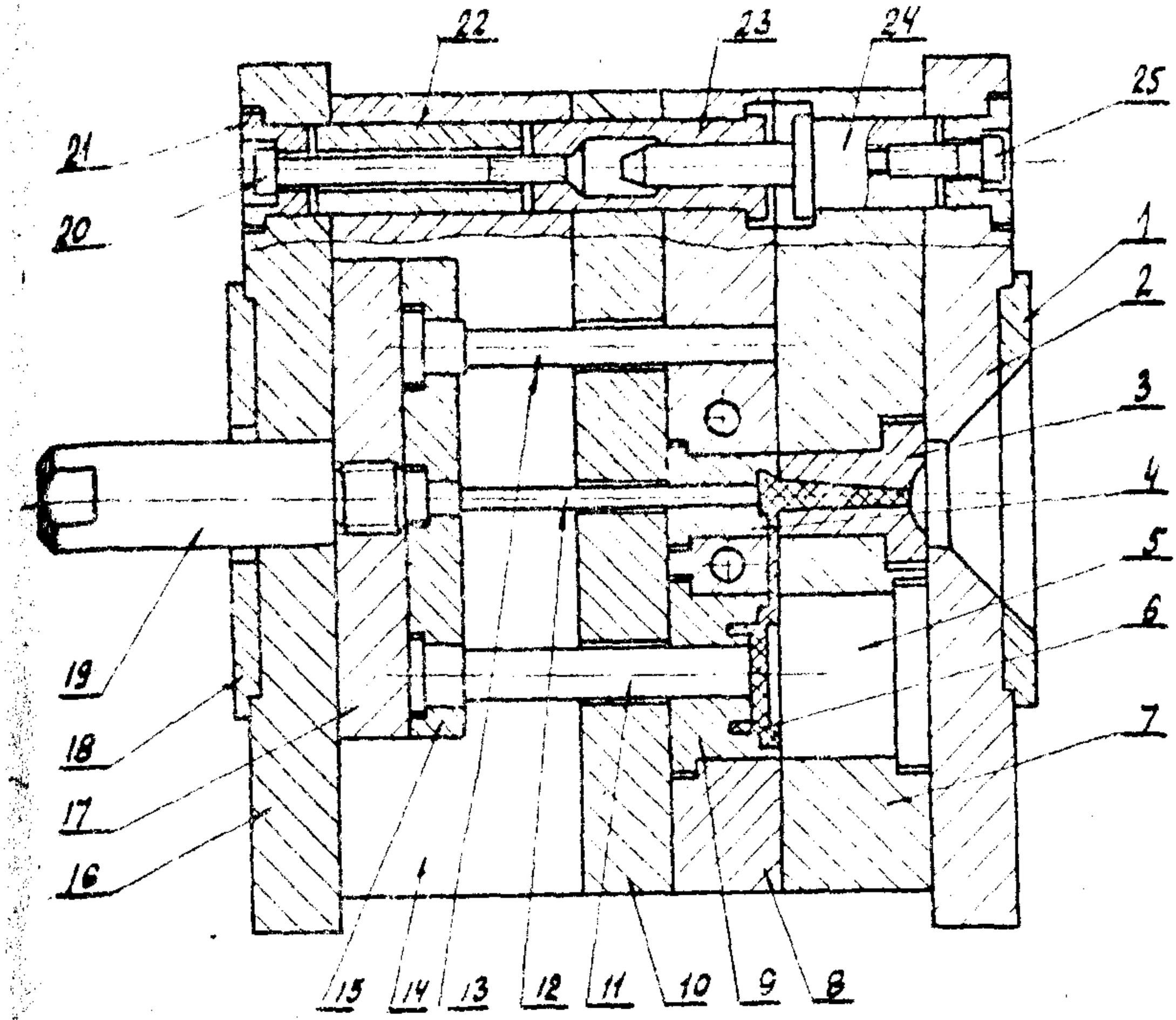


Рис.53

1-установочный фланец передний (заготовка-ГОСТ 22081-76); 2-плита крепления передняя (заготовка-ГОСТ 22066-76); 3-втулка литниковая-ГОСТ 22077-76; 4- втулка центральная-ГОСТ 22078-76; 5-пуансон; 6-изделие; 7-неподвижная обойма (заготовка ГОСТ 22065-76); 8-подвижная обойма (заготовка-ГОСТ 22065-76); 9-матрица; 10-промежуточная плита (заготовка-ГОСТ 22065-76);11-выталкиватель изделия; 12-шпилька возврата; 14-стойка-ГОСТ 22071-76; 15-плита выталкивателей (заготовка-ГОСТ 22066-76): 16-плита крепления задняя (заготовка-ГОСТ 22066-76); 17-плита опорная (заготовка- ГОСТ 22070-76); 18-установочный фланец задний (заготовка-ГОСТ 22081-76); 19-хвостовик-ГОСТ 22079-76; 20-винт задний-ГОСТ 11738-72; 21-шайба-ГОСТ 22076-76; 22-втулка-ГОСТ 22075-76; 23-втулка направляющая-ГОСТ 20075-76; 24-колонка направляющая-ГОСТ 22072-76; 25-винт передний-ГОСТ 11750-72.

ки и выталкиватели, разрабатываемые индивидуально для каждого изделия.

Литьевая форма состоит из трех частей: I) неподвижной части (правая); 2) подвижной части (левая); 3) узла выталкивания. Все

детали правой части свертываются винтами 25, а точное сопряжение их между собой обеспечивают правые концы колонок 24. Детали левой части свертываются винтами 20 и центруются между собой втулками 22 и 23. Согласно ГОСТ 22062-76 у каждой формы предусматриваются четыре гнезда с соединительными деталями, располагаемыми по углам.

На чертеже форма изображена в сомкнутом состоянии после заполнения ее расплавом. Тепло от изделий и литников отводят водой, протекающей по системе каналов, просверленных в подвижной обойме 8 .

При разъеме формы изделие удерживается в подвижной части. Вместе с изделием отводятся и литники. Чтобы извлечь литник из литниковой втулки 3, на его левом конце, оформляемом в центральной втулке 4, делают утолщение. Когда подвижная часть формы отойдет от неподвижной части на величину, достаточную для удаления изделий, хвостовик 19 задерживается упором на литьевой машине и выталкиватели остановятся. Изделия с центральным литником выталкиваются из своих гнезд и выпадают из формы. При смыкании формы выталкиватели возвращаются в исходное положение с помощью шпильки возврата 13, а точное совмещение смыкающихся частей формы обеспечивают направляющие втулки 23 и колонки 24.

Чтобы воспользоваться стандартами, сначала устанавливают число гнезд, выбирают схему литников и располагают гнезда с учетом максимального использования площади обойм 7 и 8. Затем по ГОСТ 22062+ ГОСТ 22064-76 находят нужные для проектируемой формы размеры стандартных деталей и заготовок. Пользуясь стандартной заготовкой, конструктор разрабатывает рабочий чертеж соответствующей детали формы, а стандартные детали применяются без изменений. ГОСТ 22062-76 используется для форм, имеющих плиту выталкивателей,

как показано на рис.53. Если для извлечения изделий из формы применяется съемная плита (см.ниже), то используют ГОСТ 22063-76. Совместное применение плиты выталкивателей и съемной плиты предусмотрено по ГОСТ 22064-76.

3.2.1.2. Формы для пресс-литья.

Литье на прессе отличается от литья на универсальной литьевой машине тем, что разогревается и плавится порция перерабатываемого материала нужная только для одной отливки. Таким образом, время воздействия температуры на материал сводится к минимуму и для реактопластов, например, предотвращается опасность преждевременного затвердевания материала, а затвердевшие остатки от загружавшейся порции удаляются из формы вместе с изделием. Этим объясняется широкое распространение пресс-литья задолго до того, как научились отливать изделия из реактопластов на литьевых машинах.

Различают два типа форм пресс-литья: формы с нижним давлением литья и формы с верхним давлением литья. Первый тип форм проще по конструкции и имеет преимущества в эксплуатации. На рис.54 показана схема формы пресс-литья с нижним давлением. Матрица 2

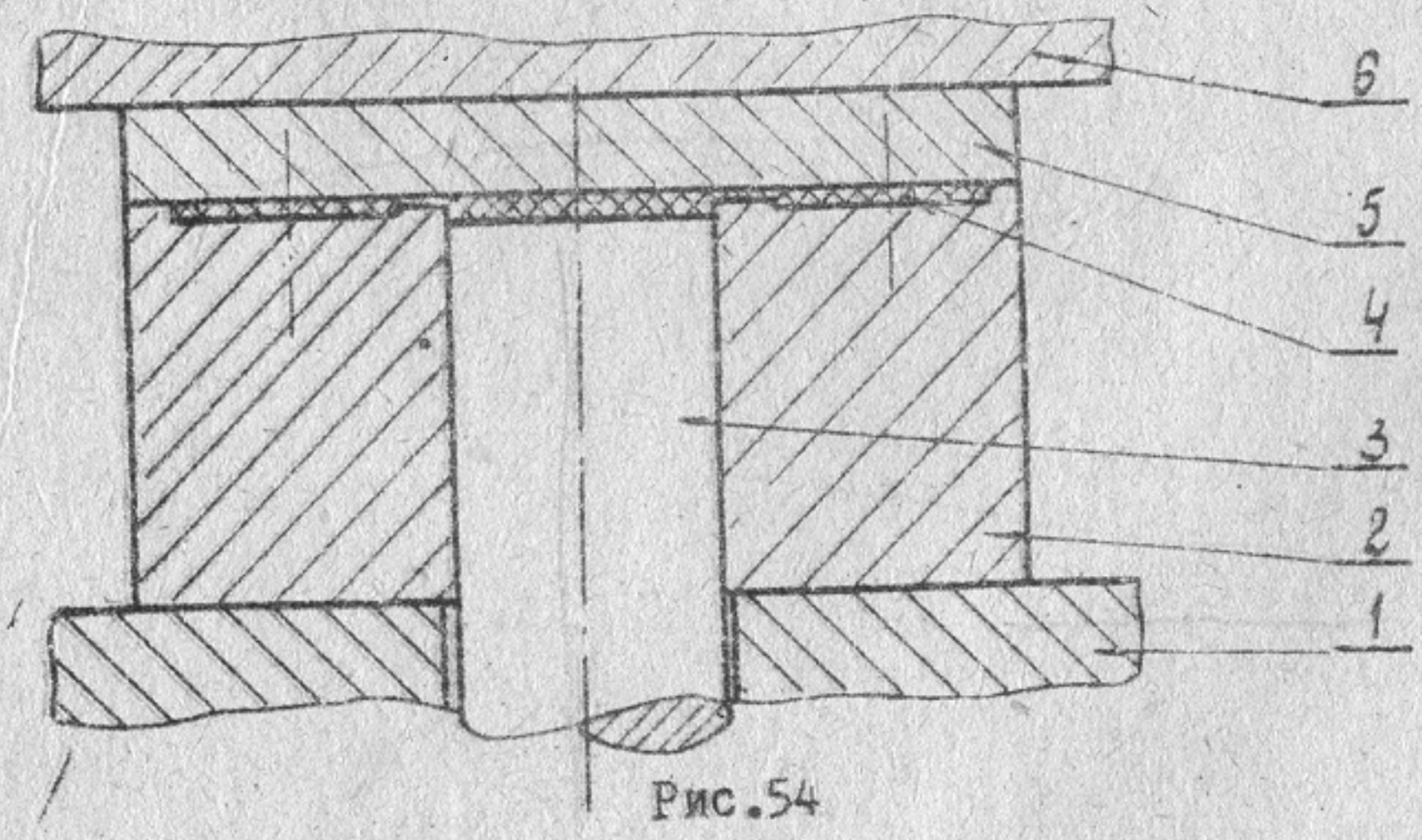


Рис.54

I-стол пресса; 2-матрица; 3-поршень; 4-изделие; 5-пуансон; 6- подвижная плита пресса.

устанавливается на столе пресса I. В центре ее имеется цилиндрическое гнездо с поршнем 3, жестко связанным с поршнем нижнего гидроцилиндра пресса. Пуансон 5 крепится к подвижной плите пресса, работающей от верхнего гидроцилиндра пресса. При опускании поршня 3 над ним образуется полость , в которую загружается порция материала для одной отливки, закрывается пуансоном и плавится с помощью электронагревателей в пуансоне и матрице (на схеме не показаны). Расплавленная масса продавливается поршнем 3 через литниковые каналы в формующие полости, где происходит процесс отверждения и после этого форму раскрывают и извлекают из нее готовые изделия и остатки отвержденного материала.

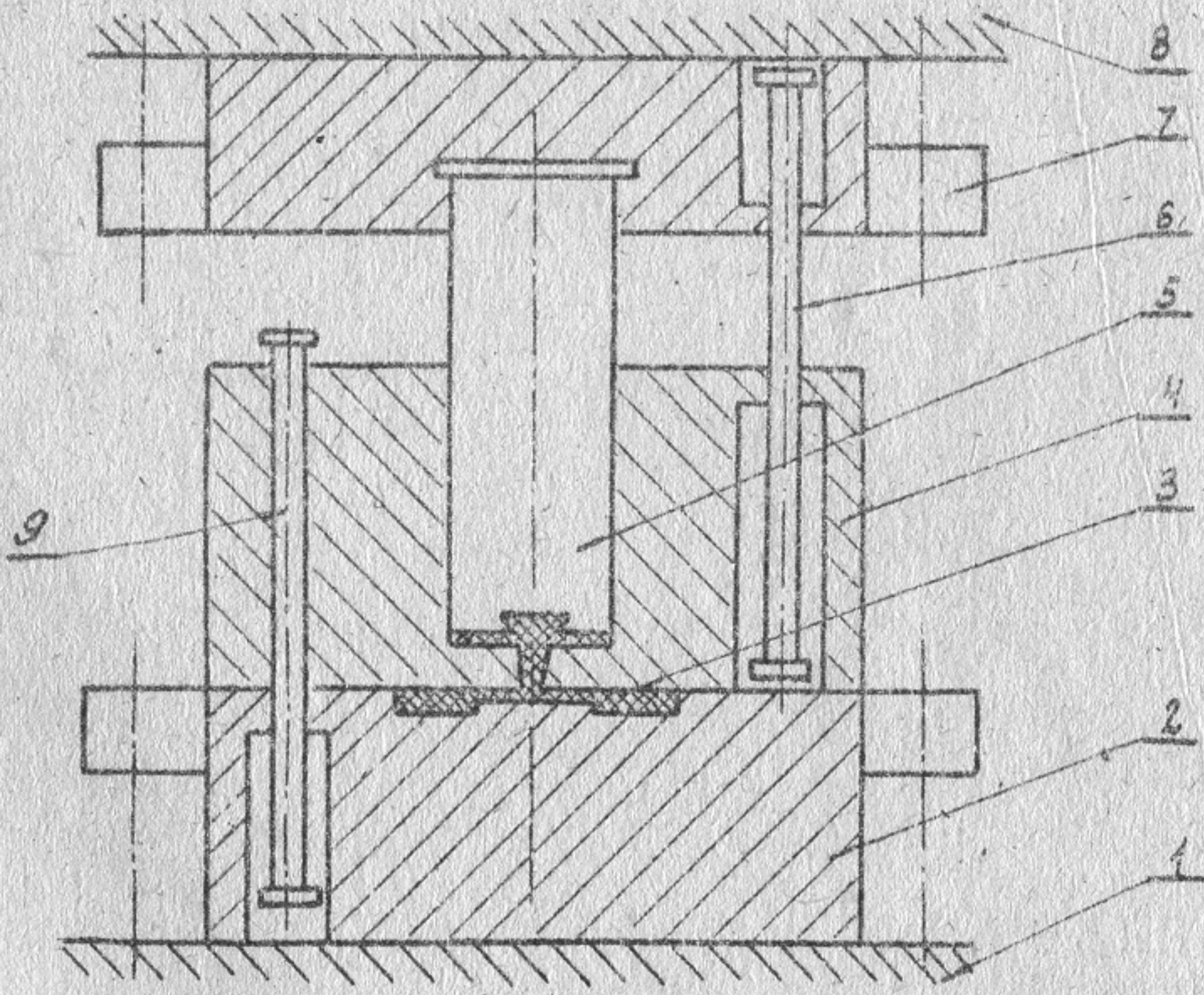


Рис.55

I-стол пресса; 2-матрица; 3-изделие; 4-плавающий пуансон-цилиндр; 5-поршень; 6-тяга верхняя; 7-плита верхняя; 8-плита подвижная пресса; 9-тяга нижняя.

Для реализации пресс-литья с нижним давлением требуется пресс с гидроцилиндром, расположенным снизу и создающим достаточное для впрыска усилие. Гидроцилиндры, предназначаемые только для выталкивания изделий, не рассчитаны на такие большие усилия, поэтому не могут использоваться для пресс-литья. Существуют специальные прессы для этих целей.

В формах пресс-литья с верхним давлением смыкание и впрыск производятся одним усилием, поэтому они могут устанавливаться на любых прессах. Принципиальная схема такой формы дана на рис.55. Усилие, создаваемое подвижной плитой пресса 8, передается поршнем 5 на продавливаемый материал и одновременно удерживает форму от разъема под действием давления литья. Если площадь поперечного сечения поршня меньше площади литья, то возникает опасность разжатия формы при малейшем избытке загружаемой порции. При большой разности этих площадей форма может разжиматься и при отсутствии избытка в загружаемой порции. Это является основным недостатком таких форм.

На схеме показано положение деталей в стадии отверждения, при этом для упрощения схемы тяги 6 и 9 условно расположены с противоположных сторон. На самом деле они располагаются попарно в различных плоскостях. Поднимая подвижную плиту пресса с закрепленной на ней верхней плитой 7 производят разъем формы и извлечение поршня 5 из пуансона-цилиндра. Последовательность этих операций произвольная и зависит от развивающихся при этом усилий. Если сила трения между поршнем и цилиндром меньше силы, удерживающей плавающие детали, то сначала поршень извлекается из цилиндра до тех пор, пока верхние тяги 6 не начнут поднимать последний и разнимут форму, а нижние тяги 9 в этом случае бездействуют. Если для перемещения поршня в цилиндре требуется сила больше, чем

сила, удерживающая плавающие детали, то последние будут подниматься вместе с поршнем на высоту, при которой нижние тяги 9 задержат пуансон-цилиндр и начнут снимать его с поршня. После окончательного извлечения поршня из цилиндра верхние тяги 6 удержат пуансон-цилиндр в подвешенном состоянии на некотором расстоянии от матрицы 2, достаточном для извлечения изделий из формы, а расстояние между нижним концом поршня и верхней плоскостью пуансона-цилиндра должно быть достаточным для снятия остатков отвердевшего материала и загрузки следующей порции. Конструкция должна предусматривать смягчение ударов на случай падения пуансона-цилиндра. Удерживание остатков на поршне обеспечивается с помощью паза, перпендикулярного его оси и имеющего сечение в виде "ласточкина хвоста". Иногда с этой целью нижний конец поршня делают в виде куска с винтовой нарезкой, из которой вывертываются остатки отвердевшего материала.

При опускании подвижной плиты пресса соблюдается строгая последовательность движения. Сначала садится пуансон-цилиндр на матрицу и загружается формуемый материал. Затем сажают и цилиндр, предварительно спрессовывают загруженную порцию, нагревают ее до нужной температуры и производят впрыск.

Приведенные схемы дают общее представление о формах для прессования различное конструктивное оформление которых можно найти в справочной литературе. Очевидно, что вышеприведенные принципы на литьевые формы в этих конструкциях могут использоваться только частично.

2.1.4. Холодноканальные литниковые системы

Литниковые системы образуются каналами, через которые расплав подается от сопла литьевой машины в формующие полости. Застывающий в каналах материал используется из них сразу

менно с извлечением изделий из формующих полостей и называется литниками. На рис.56 изображены литники вместе с отлитыми изделиями.

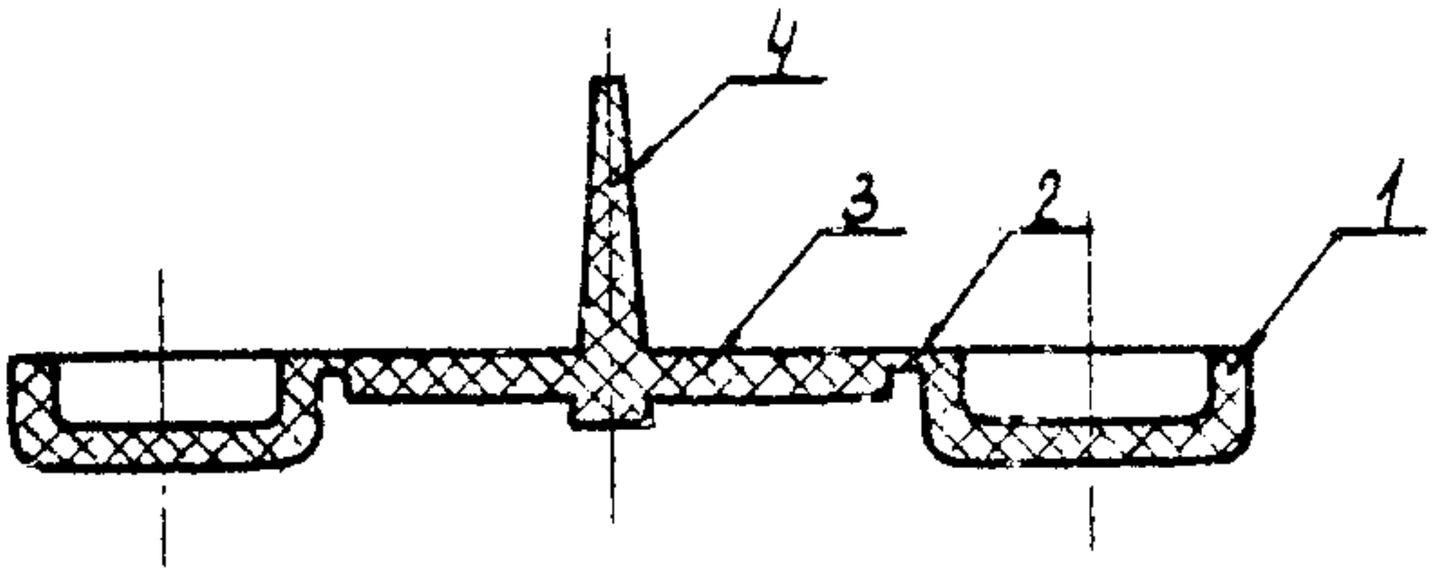


Рис.56

1-изделие; 2-впускной литник; 3-разводящий литник; 4-центральный литник.

Для облегчения отделения литников от изделий предусматривается участок с малым сечением - впускной литник. Кроме того, сужение литникового канала у входа в формующую полость благоприятствует процессу литья. Повышается гомогенность расплава и вследствие больших потерь энергии на впуске происходит дополнительный местный разогрев его. Тепловыделение локализовано на очень коротком канале с малой площадью поверхности теплоотдачи, поэтому повышение температуры расплава Δt может рассчитываться по закону сохранения энергии из условия, что вся механическая энергия, оцениваемая перепадом давления на впуске $\Delta p_{вп}$, переходит в тепло, сохраняющееся в расплаве.

$$\Delta p_{вп} = \Delta t \cdot c \cdot \rho; \quad \Delta t = \frac{\Delta p_{вп}}{c \cdot \rho} \qquad (80)$$

где: C и ρ - теплоемкость и плотность расплава, соответственно.

Расчеты показывают, что каждые 100кгс/см^2 дают повышение температуры расплава на 6÷7^{0}С. Этот эффект успешно используется конструкторами путем применения так называемых точечных впусков в литьевых формах на тонкостенные изделия, облегчающих заполнение формующей полости и повышающих качество изделий.

Применяемые в многогнездных формах системы литниковых кана-

лов весьма разнообразны. Выбор той, или иной литниковой системы, зависит от числа гнезд и их расположения. Если гнезда расположены по окружности, то применяют радиальные и радиально разветвленные литниковые системы, примеры которых показаны на рис.57.

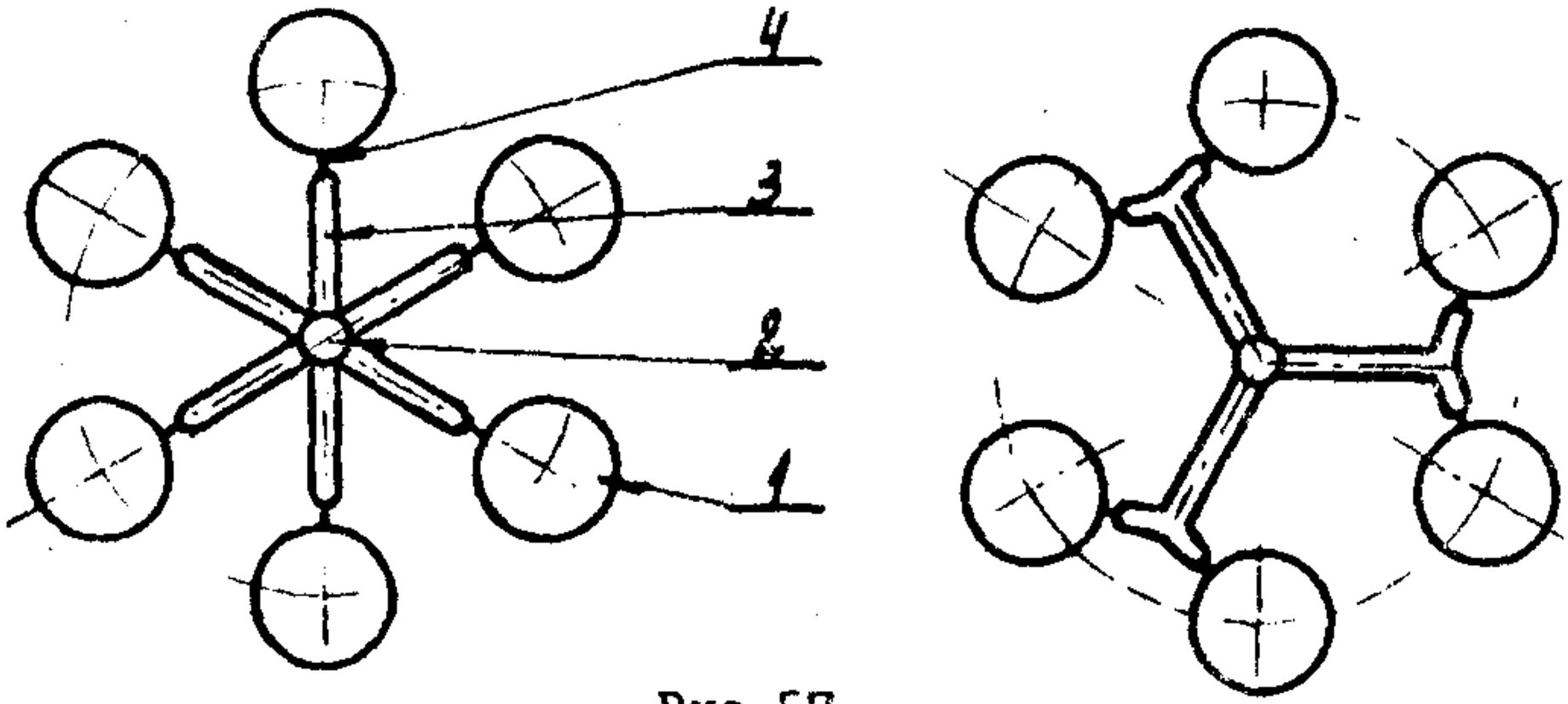


Рис.57

1-формующее гнездо; 2-канал центрального литника; 3-разводящий литниковый канал; 4-впускной канал.

Применение разветвлений на разводящих каналах уменьшает расход материала на литники, когда число гнезд больше трех.

Прямолинейное расположение гнезд обуславливает применение ёлочных литниковых систем, подразделяемых на неуравновешенные и уравновешенные. При уравновешенных литниковых системах, как

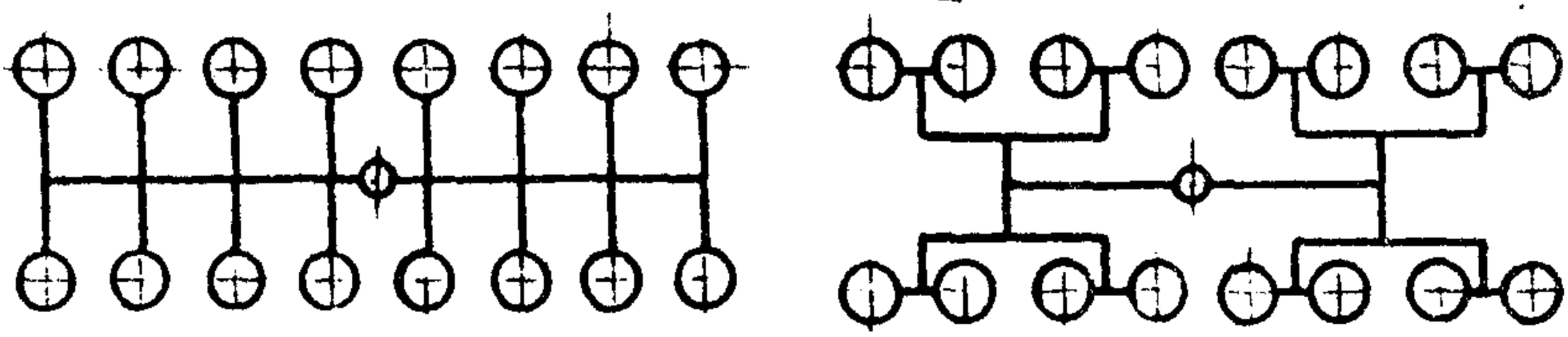


Рис.58

показано на рис.58 справа, длина разводящих каналов (изображены одной линией) для всех шестнадцати гнезд одинаково, поэтому при одинаковом поперечном сечении каналов они заполняются одновременно. При неуравновешенных литниковых системах (на рис.58 слева)

происходит последовательное заполнение гнезд. В первом случае условия формования во всех гнездах одинаковы, но требуется более высокое давление литья, расходуется больше метериала на литники и длительность заполнения гнезд больше по сравнению со вторым случаем. В форме с неуравновешенными литниками одновременное заполнение ближних четырех гнезд при одной и той же объемной скорости впрыска произойдет в четыре раза быстрее по сравнению с одновременным заполнением всех шестнадцати гнезд, а повышенное давление требуется кратковременно в момент заполнения четырех последних гнезд. На практике чаще применяют неуравновешенные литниковые системы, т.к. различия в качестве изделий для разных гнезд проявляются не всегда, а преимущества их представляются более наглядными.

Конструкция литника отражается на качестве изделий. Подавая расплав непосредственно от центрального литникового канала к формующей полости (рис.58' слева) создают благоприятные условия для подпитки в период охлаждения изделия, за счет усложнения операции отделения толстого литника. Для тонкостенных изделий, не нуждающихся в хорошей подпитке, применяют тонкие центральные впуски (рис.58' справа), для реализации которых необходимо в литьевой

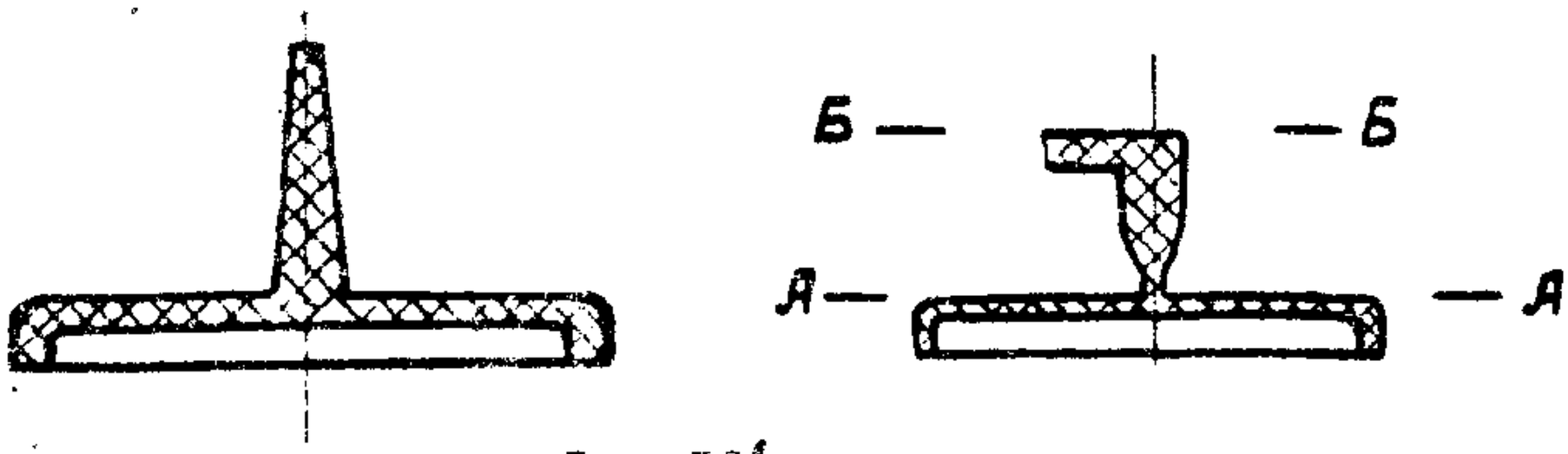


Рис.58'

форме иметь два разъема по параллельным плоскостям А-А и Б-Б.

Обычный боковой впуск (рис.59) широко применяется для низких изделий. Для высоких цилиндрических изделий при таком впуске

с противоположной стороны образуется стык расплава, по месту

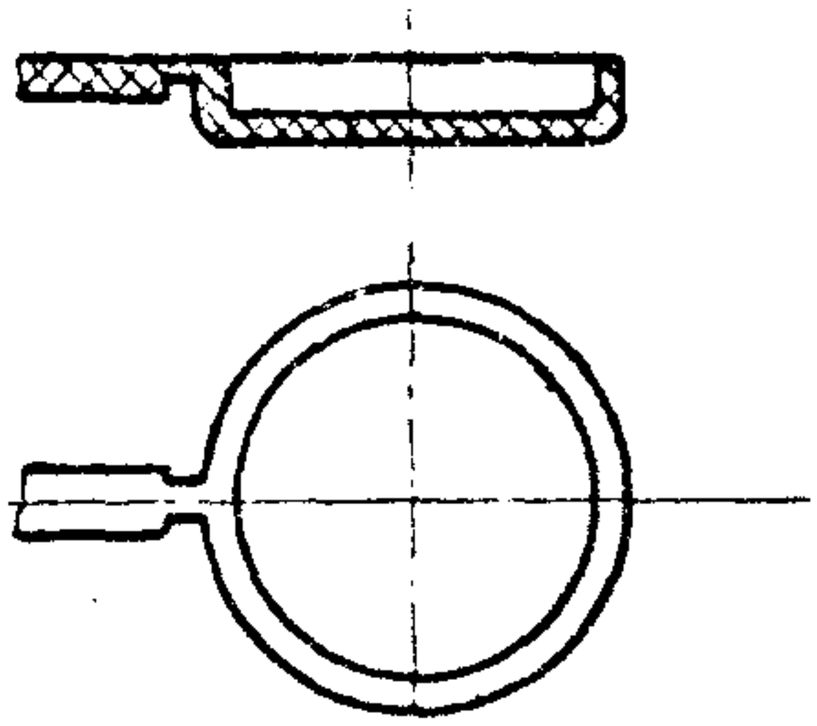


Рис.59

которого изделие имеет пониженную прочность. Чтобы избежать это применяют литники с кольцевым и диафрагмовым впуском (рис.60).

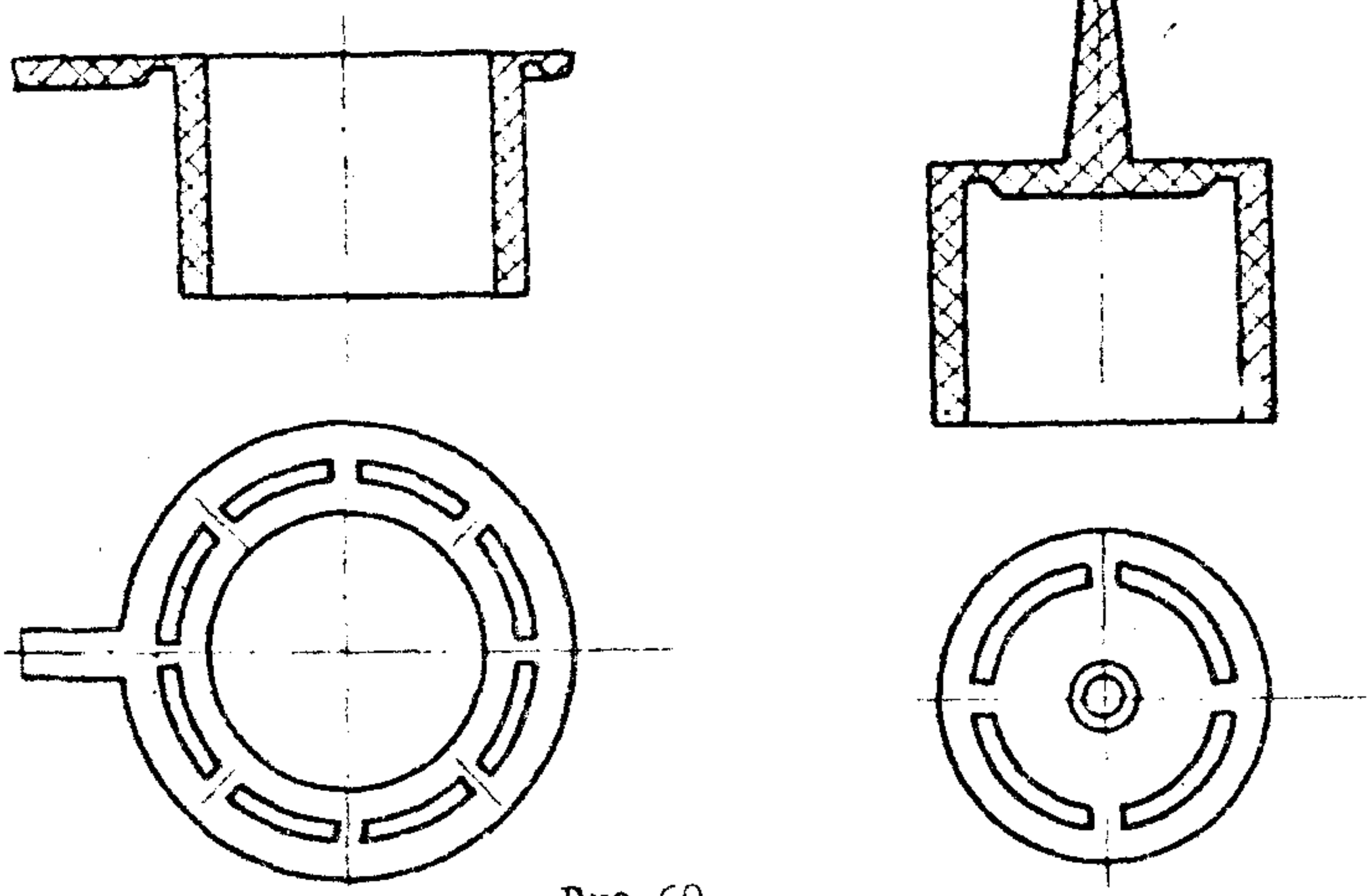


Рис.60

При кольцевом впуске боковой разводящий канал сообщается с кольцевым каналом, от которого идут впуски в оформляющую полость, как показано на рисунке, или сплошная по всей окружности щель. При диафрагмовом впуске кольцевой литниковый канал сообщается с перпендикулярно расположенной полостью, от которой изнутри к

формующей полости идут впуски или сплошная кольцевая щель. В обсих случаях расплав заполняет цилиндрическую полость одновременно со всех сторон. Исключаются опасные стыки у изделия и деталь, оформляющая внутреннюю поверхность изделия, испытывает равномерное давление со всех сторон, т.е. исключается возможность радиального смещения ее под действием давления расплава.

Для плоских тонкостенных изделий применяют литники с щелевыми впусками, два варианта которых показаны на рис.61.

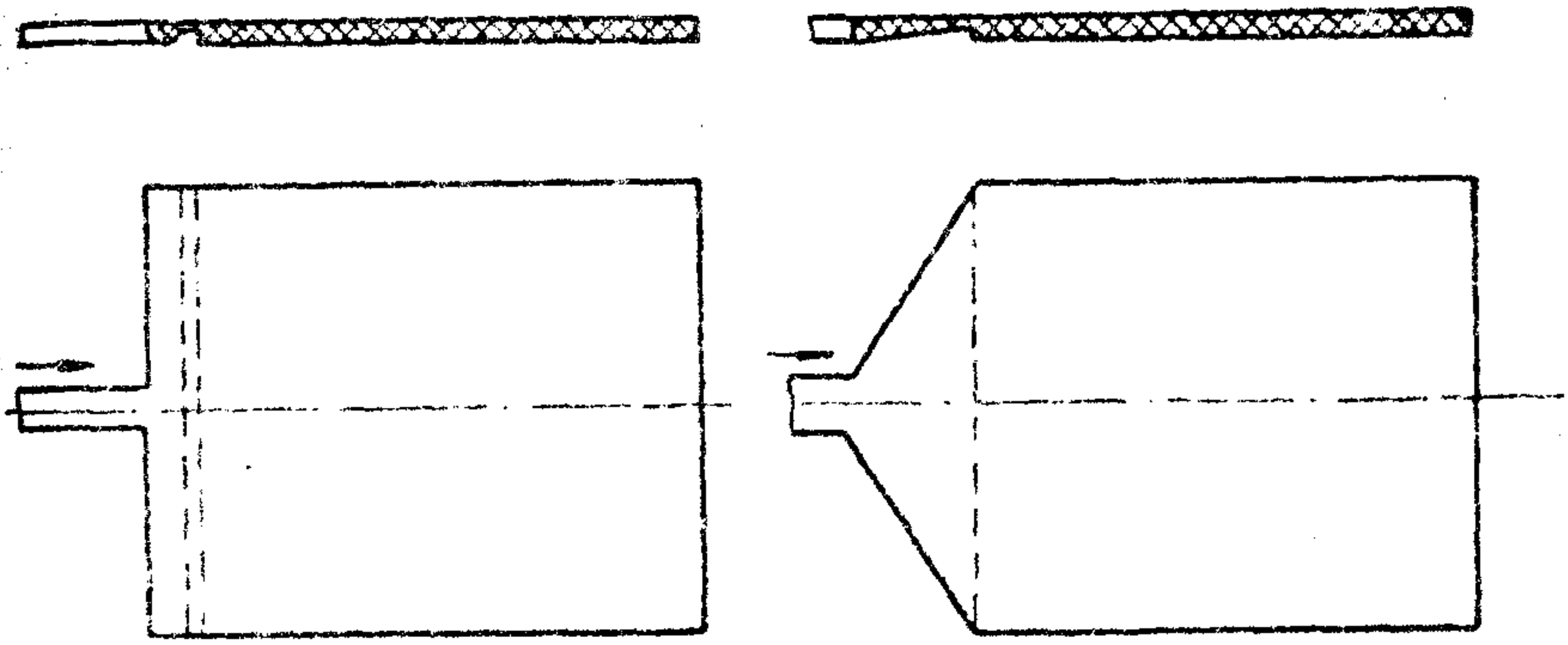


Рис.61

В левом варианте расплав из разводящего канала поступает в фронтально расположенный канал, сообщающийся с формующей полостью щелевым впуском по всему фронту. Вместо сплошной щели иногда делают многочисленные впуски. В правом варианте щелевой впуск постепенно расширяется от разводящего канала к формующей полости. Фронтальное течение расплава по полости формы приводит к более однородной структуре материала, уменьшаются внутренние напряжения и коробление изделия..

Большой эффект достигается применением литников, отделяющихся автоматически от изделий во время раскрытия формы. Получили ра-

пространение два типа самоотделяющихся литников: отрывные и отрезные (туннельные). Примеры отрывных литников показаны на рис.62. В начальный момент движения подвижной части формы разъем происходит по плоскости А, что обеспечивается пружинами 3, прижимающими плиту 5 к неподвижной части формы. При этом впускные литники 7 отрываются от изделий 2. После разъема формы по плоскости А на

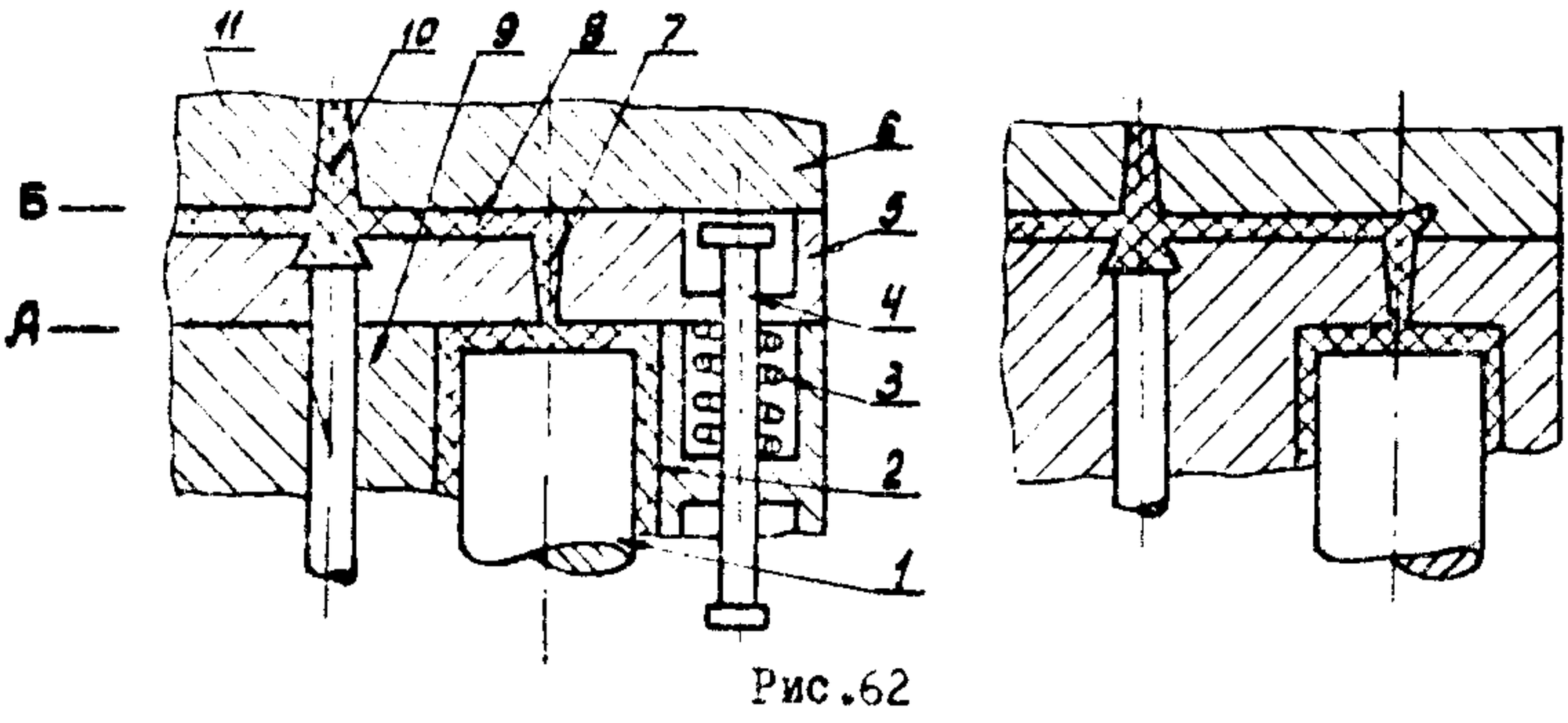


Рис.62

1-пуансон; 2-изделие; 3-пружина; 4-тяга; 5-прижимная плита; 6-неподвижная часть формы; 7-впускной литник; 8-разводящий литник; 9-матрица; 10-центральный литник; 11-центральный выталкиватель.

величину, достаточную для удаления изделий, срабатывают тяги 4 и начинается разъем в плоскости Б, через который осуществляется удаление литников. Таким образом изделия удаляются из формы по одну сторону плиты 5, а литники по другую. Тот же эффект отделения литников достигается путем применения конструкции, показанной на рис.62 справа. Здесь впускные литники отрываются от изделий, независимо от последовательности разъема формы, с помощью концов разводящих каналов, оформляющихся в специальных углублениях, из которых они извлекаются при разъеме по плоскости Б одновременно с извлечением центрального литника из литниковой втулки путем отгиба разводящих литников.

Литники с отрезающимися впусками, показанные на рис.63, обла-

дают существенным преимуществом перед отрывными литниками. Применение их не вызывает необходимости второго разъема. Конструкция формы упрощается, а работа ее становится более надежной, что

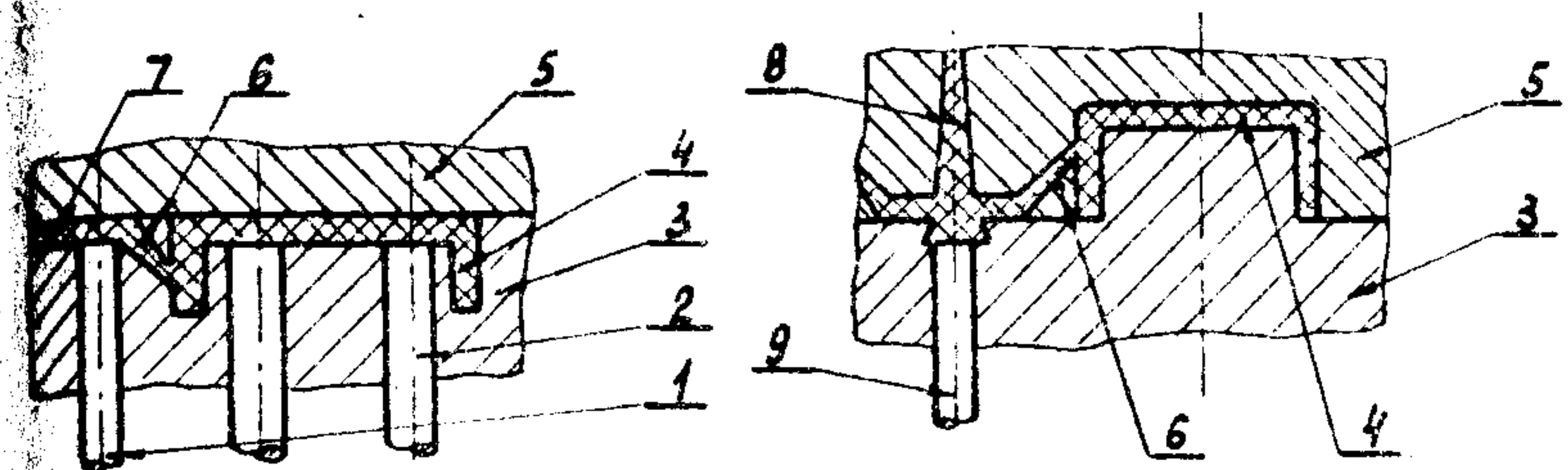


Рис.63

1-выталкиватель разводящего литника; 2-выталкиватель изделия; 3-подвижная часть формы; 4-изделие; 5-неподвижная часть формы; 6-впускной литник; 7-разводящий литник; 9-центральный выталкиватель.

очень важно при полной автоматизации процесса литья. В этих конструкциях от разводящих каналов делаются наклонные конусные отверстия в оформляющие полости ("туннели"), через которые производится впрыск расплава. При извлечении изделия и впускного литника из своих гнезд они отрезаются друг от друга острым краем перемычки, образованной между впускным каналом и формующей полостью. Если впуск делается в подвижной части формы (на рис.63 слева), то отделение литников от изделий происходит при их выталкивании. Если впуск сделан в неподвижной части (на рис.63 справа), то литники отрезаются от изделий в начальный момент разъема формы.

Необходимо отметить, что с применением отделяющихся литников возрастает роль расчета в процессе конструирования литьевых форм. Чтобы оторвать,или отрезать, литник по месту впуска нужно заранее, на стадии проектирования, количественно оценить необходимые для этого усилия и обеспечить их в работающей форме. В край-

нем случае нужно предусматривать заранее способ экспериментальной отработки процесса отделения литников от изделий с наименьшими затратами средств и времени.

Одним из важнейших вопросов, решаемых при разработке литниковой системы, является выбор мест впусков у изделия. Место впуска выбирается с учетом следующих факторов:

I) Вблизи впуска, на стадии подпитки, происходит продавливание отверждающегося материала под высоким давлением, сопровождающееся разрушением его твердых слоев. Возникает дефектная зона с пониженной прочностью, поэтому впуски не должны располагаться на нагруженных участках изделия.

2) Наличие у изделий отверстий, оформляемых знаками, или применение нескольких впусков, неизбежно приводит к образованию стыков с пониженной прочностью. Впуски должны распологаться так, чтобы вредное влияние ослабленных мест на прочность изделия в эксплуатации было минимальным.

3) В процессе заполнения формующей полости расплавом из нее вытесняется воздух через имеющиеся в форме неплотности, поэтому места расположения зазоров между оформляющими деталями должны заполняться в последнюю очередь. Невыполнение этого условия приводит к образованию воздушных мешков, от быстрого сжатия которых во время впрыска воздух сильно разогревается и происходит подгорание материала, наблюдаемое на изделиях в виде темных пятен. Для выхода воздуха обычно достаточно зазоров на выталкивателях, пуансонах, оформляющих знаках и неплотностей на плоскостях смыкания. Теоретический расчет, выполненный с учетом критической скорости истечения воздуха, дает следующую формулу для вычисления минимальной площади поперечного сечения щели, обеспечивающей удаление воздуха за время впрыска

$$f_{min} = \frac{Q_o}{315 \cdot \tau_в} \qquad (8I)$$

где: f_{min} - площадь поперечного сечения щели, мм^2;

Q_o - объем отливки, см^3;

$\tau_в$ - время впрыска, сек.

Специальные каналы для выхода воздуха делают сравнительно редко и располагают их в плоскости разъема, чтобы можно было удалить из них затекающий материал. Потребность в них может возникнуть при очень тщательной припасовке посадочных поверхностей на смыкаемых частях формы.

4) В формах на плоские тонкостенные изделия с большой площадью отливки единственный впуск не располагают по центру изделия. Практика показывает, что отливаемые через центральный литник тонкостенные крупногабаритные изделия приобретают форму,

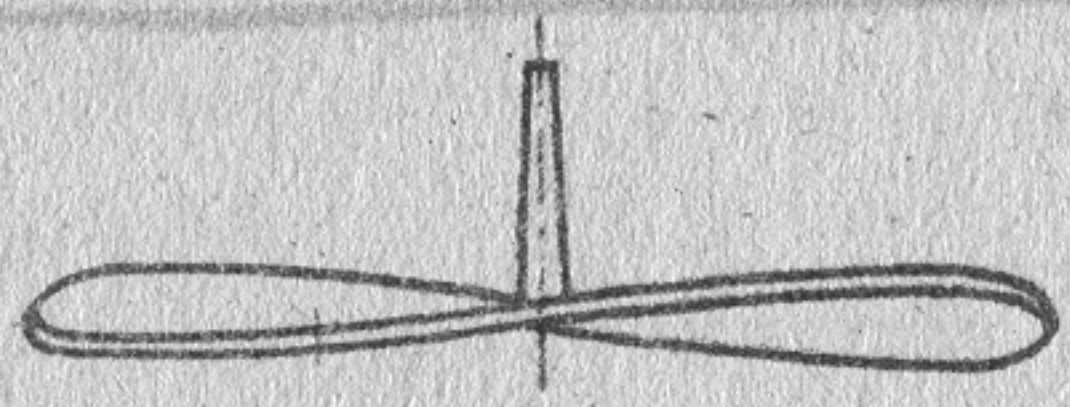


Рис.64

называемую "восьмёркой", как показано на рис.64 для случая тонкостенного диска большого диаметра. Возникновение "восьмёрки" объясняется тем, что по периметру диска создаются сжимающие тангенциальные напряжения под действием растягивающих радиальных напряжений в его центре. Стягиваемое к центру кольцо по периметру диска теряет устойчивость подобно ободу велосипедного колеса при натягивании его спиц. Развертка периметра диска на плоскость представляется в виде двух волн. У дисков очень больших диаметров следует ожидать появление большого числа волн. Такое напряженное состояние в диске возникает вследствие неравномерного охлаждения его в форме. Фронт расплава, заполняющего полость

формы, перемещаясь от центра к периферии, охлаждается дольше, чем свежие порции вновь поступающего расплава. В результате обод охлаждается и затвердевает с опережением по сравнению с центром. К моменту охлаждения обода до комнатной температуры середина диска все еще продолжает охлаждаться и с этого момента дальнейшая температурная усадка материала вблизи центра диска приводит к растяжению в центре и сжатию на периферии. Применение формулы Эйлера для обода диска дает следующее приближенное условие потери диском устойчивости

$$\Delta t \cdot \alpha \geq \frac{1}{3}\left(\frac{\delta}{R}\right)^2 \qquad (82)$$

в котором: Δt - разность температур расплава в центре и на периферии в момент окончания стадии заполнения;

α - коэффициент линейного температурного расширения материала диска;

δ и R - толщина и радиус диска, соответственно.

5) От расположения впуска зависят условия формования изделия. Это можно проследить на примере изделия-цилиндр с переменной толщиной, показанного на рис.65. При впуске расплава в точке I

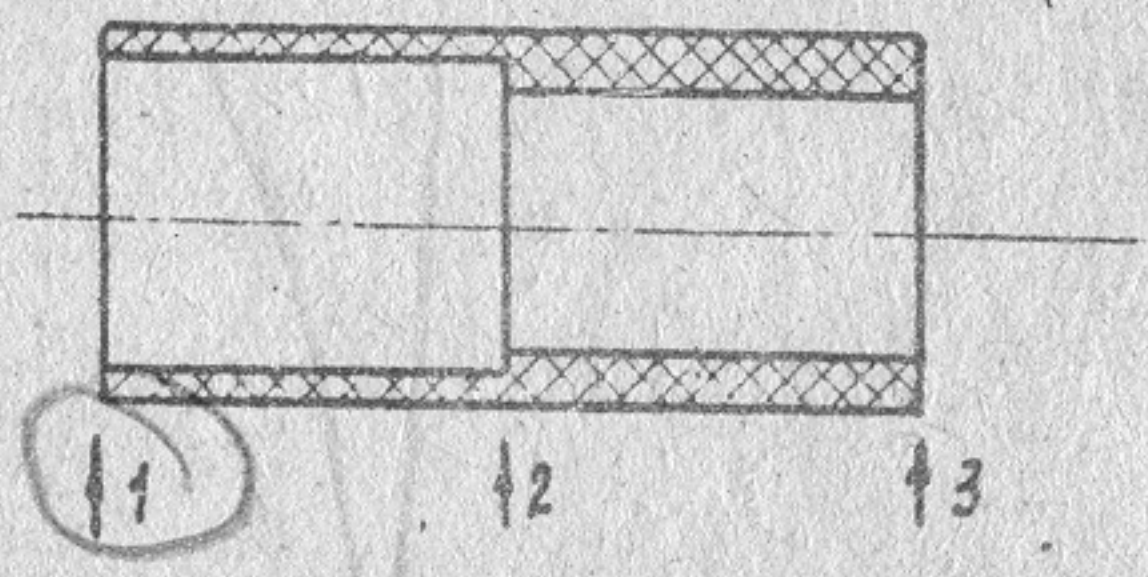


Рис.65

требуется повышенное давление литья с начального момента впрыска, чтобы продавить его через участок I - 2, создающий большее сопротивление течению, чем участок 2 -3. На толстостенном участке изделия будут образовываться усадочные дефекты (утяжины, пузыри)

из-за плохих условий для подпитки на стадии охлаждения. При впуске в точке 2 обеспечивается хорошая подпитка толстостенного участка, однако, последовательность заполнения полости расплавом становится очень неблагоприятной. Сначала при небольшом давлении заполняется участок 2 - 3, а на участке 2 - I, вследствие большого сопротивления его, расплав в этот период не течет, а охлаждается, так что по окончании заполнения участка 2-3 текучесть по фронту тонкостенного участка снизится и для формования его потребуется повышенное давление и может появиться недолив, т.е. участок 2-I не заполнится до конца. Впуск в точке 3 обеспечит наилучшую последовательность заполнения и хорошую подпитку на стадии охлаждения.

3.2.I.4. Горячеканальные литьевые формы.

Горячеканальные литьевые формы называют безлитниковыми в том смысле, что у изготавливаемых в них изделиях отсутствуют литники, которые нужно отрезать от изделий и утилизировать, т.е. пускать во вторичную переработку. Этот эффект от применения безлитникового литья очевиден, но он незначителен по сравнению с другими эффектами, которые не всегда проявляются и поэтому не сразу можно увидеть.

Так, например, при литье тонкостенных изделий с большими габаритными размерами эффект от отсутствия литников несравненно меньше того эффекта, который связан с повышением производительности оборудования. Чтобы продавить высоковязкий расплав в формующую полость для тонкостенного изделия приходится увеличивать сечение литниковых каналов с целью уменьшения потери давления в них. Как правило, в таких случаях толщина литников получается намного больше толщины отливаемого изделия и длительность цикла

литья определяется временем охлаждения литника до такой температуры, при которой его можно извлекать из формы без нарушения нормальной работы ее. При отсутствии извлекаемых из формы литников цикл литья лимитируется только временем охлаждения самого изделия и поэтому он резко сокращается.

Высказываются мнения о нецелесообразности применения безлитниковых форм для толстостенных изделий. По-видимому, такие высказывания являются следствием недостаточной изученности безлитникового литья и малого опыта по конструированию литьевых форм нового типа. Главные затруднения при литье толстостенных изделий связаны с компенсацией усадки в стадии охлаждения. Не вызывает сомнений, что из обогреваемого канала подать расплав в охлаждаемую форму легче, чем из охлаждаемого, т.е. подлитка решается проще в горячеканальной форме. Боязнь "заморозить" канал при длительном контакте его с охлаждаемой формой возникает на основе опыта работы на коротких циклах. Для длительных циклов, безусловно, нужно находить новые конструктивные решения, в которых исключалось бы преждевременное застывание впусков.

На рис.66 показана схема простейшей конструкции горячеканальной литьевой формы. Расплав из сопла машины, прилегающего к гнезду 7, продавливается в каналы 8, расположенные в обогреваемом блоке 6. Из каналов 8 через сопла 5, изготовленные из материала с высокой теплопроводностью (бериллиевая бронза), расплав подается в оформляющую полость, охлаждаемую с помощью каналов 3. В многогнездной форме к каждому гнезду подводится свое сопло, а в одногнездной форме на крупногабаритное тонкостенное изделие применяется столько сопел, сколько требуется по условиям заполнения формующей полости.

По окончании впрыска изделия охлаждаются и температура на

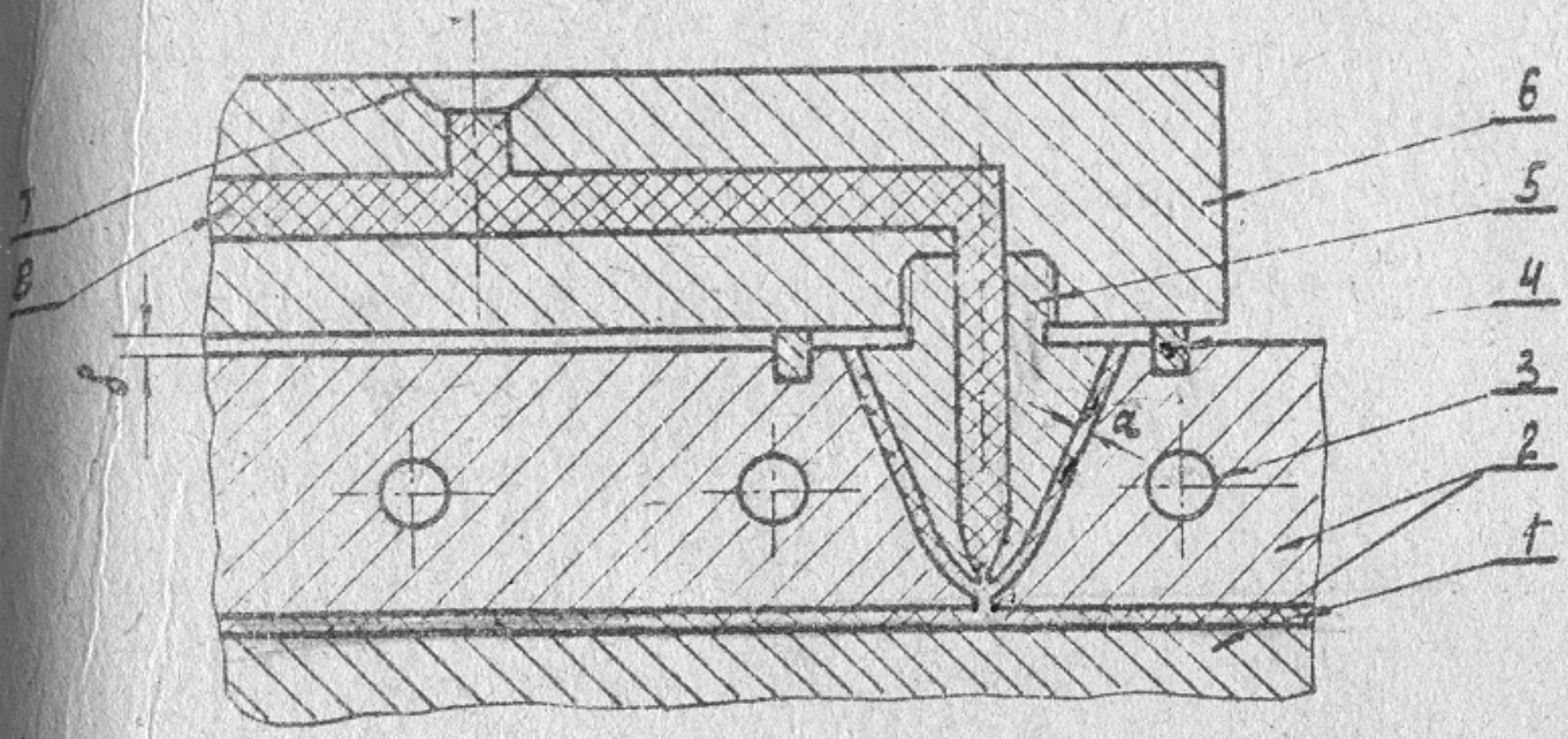


Рис.66

1-изделие; 2-оформляющие детали; 3-охлаждающий канал; 4-уплотнительное кольцо; 5-сопло; 6-горячеканальный блок; 7-гнездо для сопла литьевой машины; 8-обогреваемые каналы.

нижних концах сопел понижается так, что к моменту извлечения изделий расплав не вытекает из открывающихся отверстий под действием сил тяжести. Однако, образующиеся пробки не должны помешать последующему впрыску при действии высокого давления. Это достигается путем тщательного подбора температурных режимов горячеканального блока, сопел и оформляющих деталей. Задача облегчается, если сопла делать длиннее и устанавливать на них специальные регулируемые электронагреватели.

Горячеканальный блок устанавливается с теплоизолирующим воздушным слоем δ равным 3÷5 мм., а опорные детали изготавливаются из материалов с низкой теплопроводностью (асбоцемент и т.п.). Сопла входят в свои гнезда с некоторым зазором a, который в процессе литья заполняется остывающим расплавом, служащим в качестве теплоизоляции. Этот зазор необходим также для компенсации разности температурных изменений расстояний между осями сопел и расстояний между осями их гнезд.

В одногнездных формах функции впрыскивающего сопла выполняет

непосредственно сопло литьевой машины и конструкция упрощается.

Более совершенными следует признать сопла с запирающимися впусками, в которых закрытие впуска производят иглой, расположенной по оси сопла, с помощью действующей на иглу пружины. Открывается впуск путем перемещения иглы и сжатия пружины под действием давления расплава. Имеется много конструкций, работающих по это-

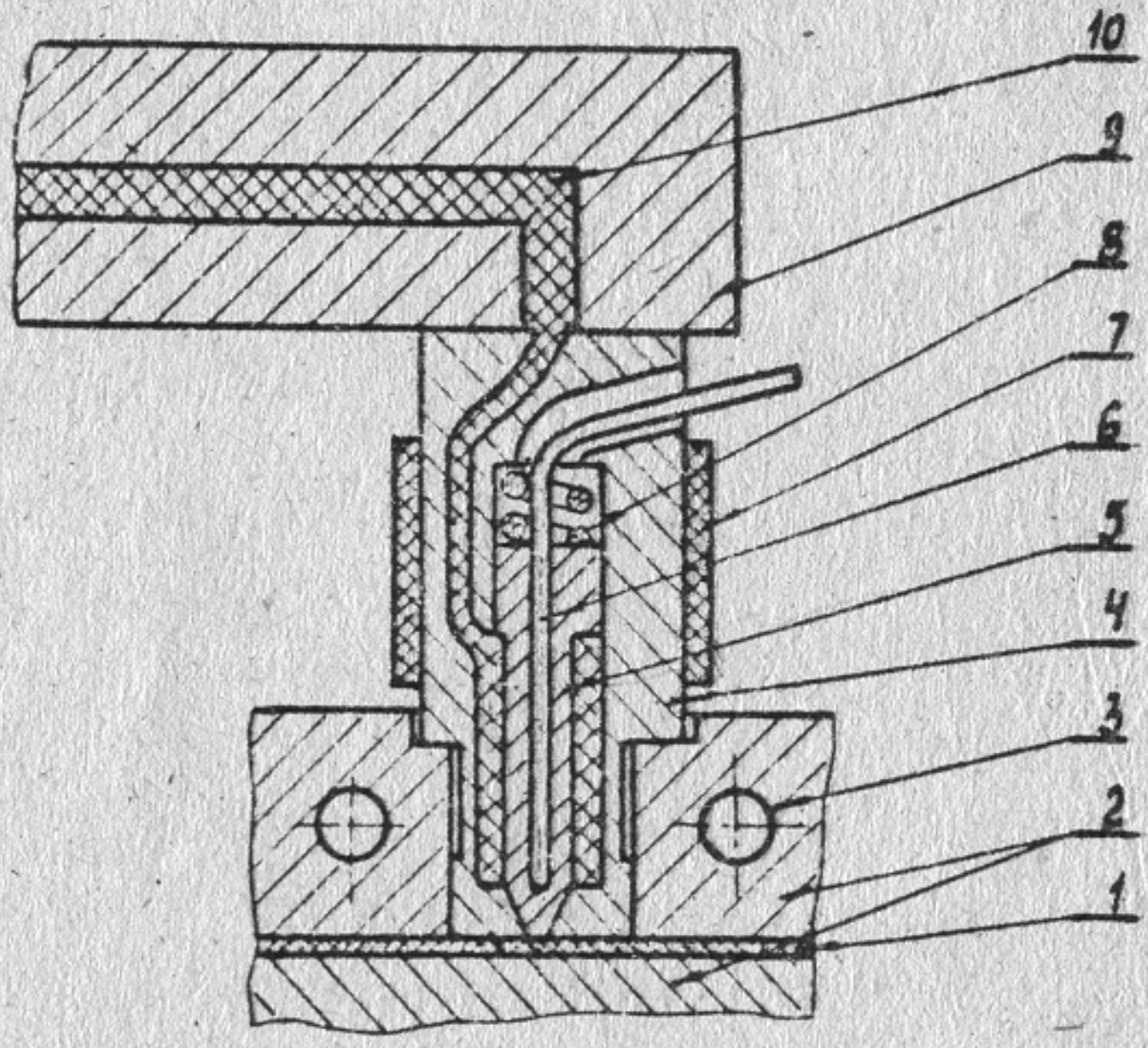


Рис.67

I-изделие; 2-оформляющие детали; 3-охлаждающий канал; 4-корпус сопла; 5-поршень-игла; 6-внутренний электронагреватель; 7-внешний электронагреватель; 8-пружина; 9-горячеканальный блок; I0-обогреваемые каналы.

му принципу. На рис.67 представлена схема конструкции сопел, выпускаемых некоторыми зарубедными фирмами. Достоинство их - компактность, достигнутая в результате расположения пружины 8 внутри корпуса сопла 4. При отсутствии давления в расплаве выход из сопла закрывается иглой 5, опускающейся под действием пружины 8. В момент впрыска давление расплава, действуя на поршень 5 снизу и сжимая пружину 8, поднимает его, открывая впуск в формующую

полость. По окончании впрыска и подпитки давление расплава падает и выход из сопла закрывается. Сопла этой конструкции не требуют точной центровки выходных отверстий в горячеканальном блоке с посадочными гнездами в оформляющих деталях и температурные расширения не отражаются на их работе. Монтаж их прост, они ставятся в гнезда и прижимаются к ним горячеканальным блоком. Наличие двух регулируемых нагревателей обеспечивает возможность настройки на любой режим работы с разными материалами.

Безлитниковое литье, бесспорно, имеет большое будущее. Работы в этом направлении находятся в начальной стадии. Имеющиеся конструкции пока несовершенны, а сам процесс безлитникового литья не изучен и о потенциальных возможностях его можно только предполагать. Пока трудно представить, чтобы в многогнездных литьевых формах на мелкие изделия можно обойтись без охлаждаемых литников.

3.2.2. Многоразъемные литьевые формы.

Два параллельных разъема требуются для раздельного удаления из формы изделий и литников(см.рис.62).Достигается это различны-

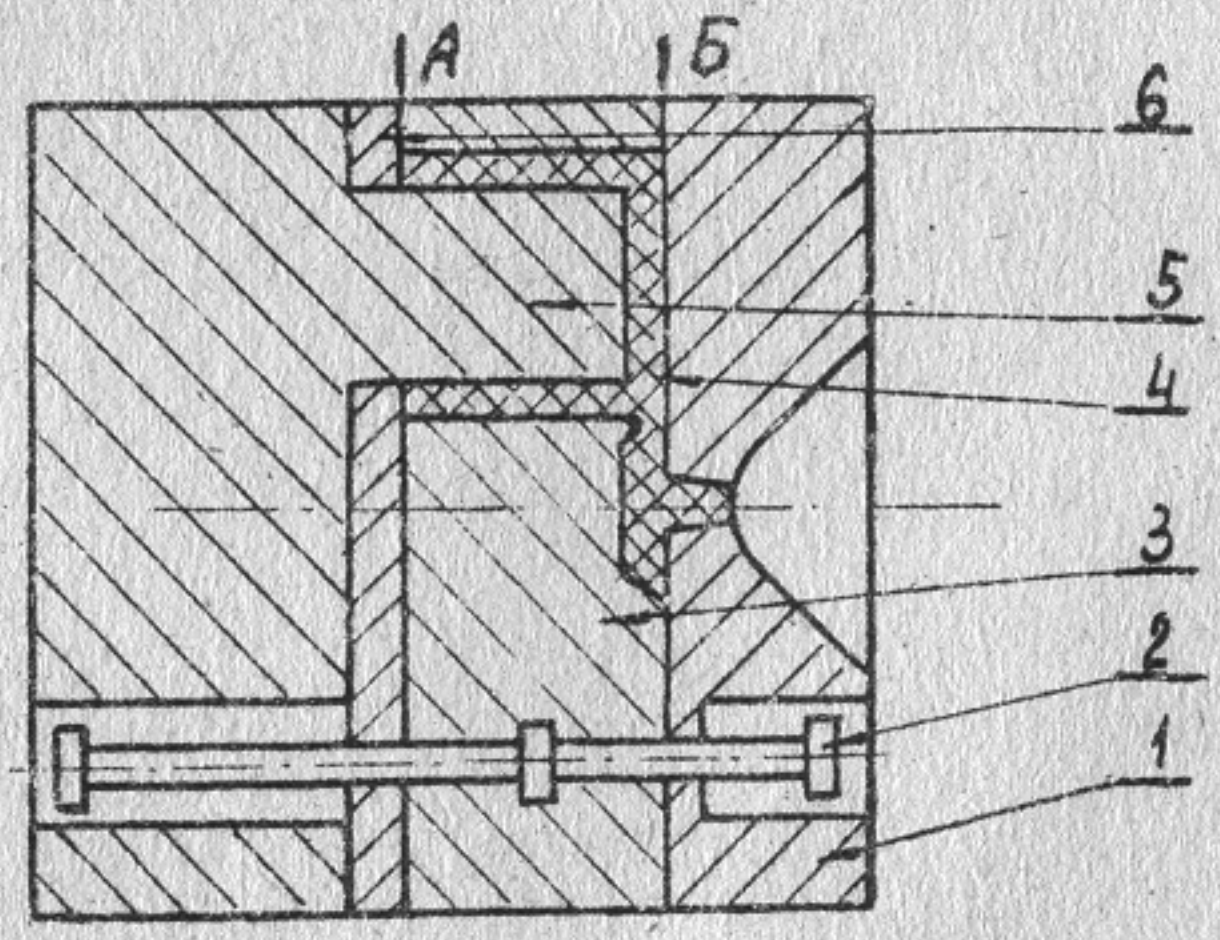


Рис.68

I-неподвижная часть формы; 2-тяга; 3-плавающая плита с матрицами;4-изделие; 5-подвижная часть формы с пуансонами; 6-плита съема изделий.

ми способами.На рис.68 показана принципиальная схема двухразъемной формы с плавающей плитой.Если суммарная сила, удерживающая изделия в матрицах, больше силы, удерживающей центральный литник, то вначале форма разнимается по плоскости Б на величину, необходимую для удаления литников. Затем, когда правые утолщения тяг 2 задержат плавающую плиту 3, отрезаются впуски и начинается разъем по плоскости А на величину, необходимую для извлечения изделий из матриц, располагаемых в плавающей плите. Изделия удерживаются на пуансонах усилием, создающимся вследствие их усадки при охлаждении. С пуансонов, устанавливаемых в подвижной части формы 5, изделия снимаются плитой съема 6, задерживаемой левыми утолщениями на тягах 2. Сталкивание литников на схеме не показано.

Последовательность разъемов может быть другая при ином соотношении действующих на плавающую плиту сил. Так, например, для случая, изображенного на рис.62 справа, в момент отрыва впускных литников возможна задержка матриц у неподвижной части формы и сначала будут извлечены изделия из них, а разъем по плоскости Б произойдет перед съемом изделий с пуансонов. Когда левые концы тяг увлекут за собой плавающую плиту, поскольку для перемещения ее требуется меньшее усилие по сравнению с усилием съема.

По схеме на рис.62 слева прижимная плита 5 с матрицей 9 после срабатывания пружин 3 будут удерживаться стержнем 4 вместе и рассматриваться как единая плавающая деталь. В этом случае нет большой разъем в плоскости А нужен только для отрыва впускных литников, а для удаления изделий ниже должен быть еще один разъем, если съем изделий производится плитой. Если же изделия выталкивать кольцевыми выталкивателями (см.ниже), то нижний (третий) разъем не потребуется. Нужно будет только увеличить длину стержней 4 на величину, обеспечивающую удаление изделий.

На рис.69 показана принципиальная схема двухразъемной формы центральным стержнем.

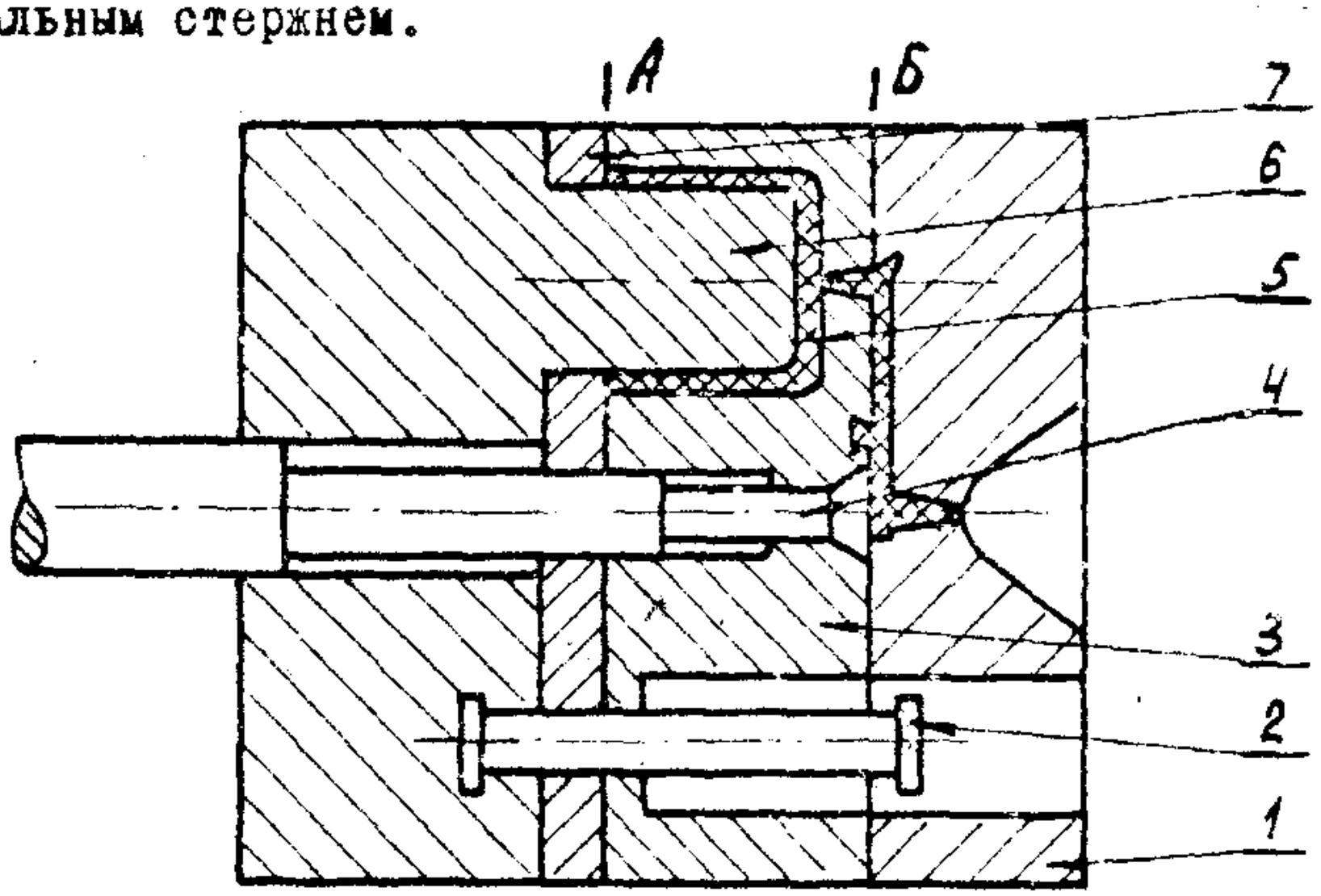


Рис.69

1-неподвижная часть формы; 2-тяга; 3-матрица; 4-центральный стержень; 5-изделие; 6-подвижная часть формы; 7-плита съема изделий.

В зависимости от соотношения сил, действующих при разъеме, раскрытие формы может начаться по одной из указанных плоскостей А, или Б. Независимо от последовательности раскрытия по окончании движения подвижной части центральный стержень 4, выполняющий функции выталкивателя, и тяга 2 установят матрицу в нужном положении, а плита съема 7 и правый конец выталкивателя извлекут изделия и литники из своих гнезд и они по действием силы тяжести выпадут из формы.

Широко распространены конструкции форм с двумя взаимно перпендикулярными плоскостями разъема для изготовления сложных по форме изделий, имеющих боковые отверстия, наружные резьбы, боковые впадины, выступы и т.п.В основу разрабатываемых конструкций берется принципиальная схема, иллюстрируемая рисунком 70. Формующие полости выполняются в полуматрицах 2 и 5 смыкающихся по

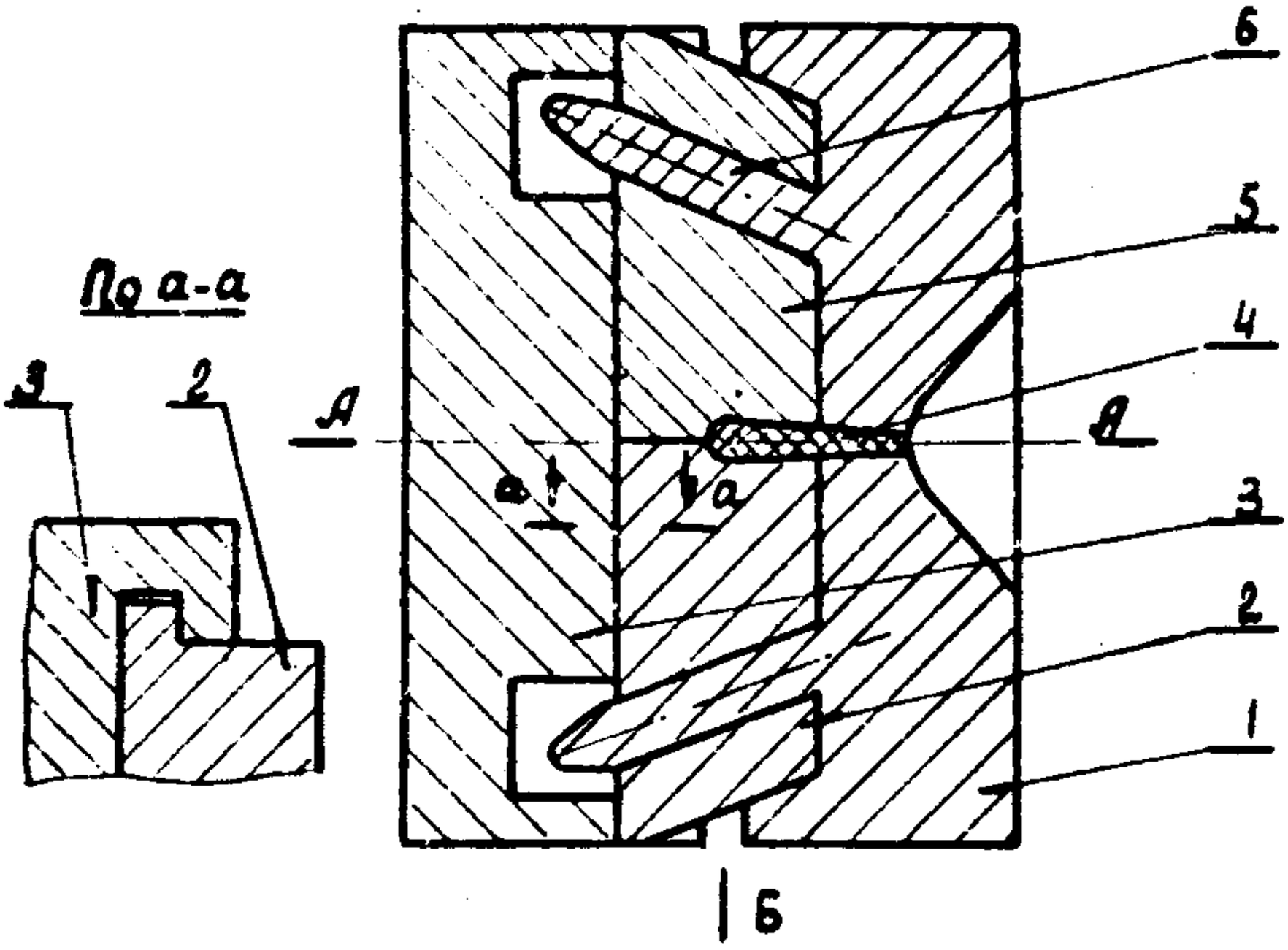


Рис.70

I-неподвижная часть формы; 2-нижняя полуматрица; 3-подвижная часть формы; 4-центральный литник; 5-верхняя полуматрица; 6-направляющие колонки.

плоскости А-А, перпендикулярной основной плоскости разъема Б-Б. Разъем и смыкание полуматриц в плоскости А-А осуществляется с помощью наклонных направляющих колонок 6, жестко закрепленных в неподвижной части формы I, и боковых пазов в подвижной части формы, показанных по а-а. Последние удерживают полуматрицы на подвижной части, давая возможность перемещаться им под действием направляющих колонок.

Расплав подается от сопла машины в канал центрального литника 4, от которого в плоскости А-А расходятся разводящие литниковые каналы к оформляющим гнездам.

Как и в других формах в обеих частях ее могут располагаться оформляющие и выталкивающие детали.

В процессе заполнения формующих полостей расплавом полуматрицы разжимаются с силой, достигающей при высоком давлении

литья больших значений, поэтому для предотвращения разжима матрицы и поломки направляющих колонок полуматрицы в момент смыкания снимаются наклонными плоскостями, выполняющими функции конусной обоймы.

Иногда для оформления одного бокового отверстия, одного выступа или углубления нет необходимости делать разъемной всю матрицу, поэтому ее выполняют как в формах с одним разъемом, а на нужном участке размещается вставок, выдвигаемый автоматически с помощью направляющих деталей при разъеме формы, действующих по тому же принципу.

3.2.3. Выталкивающие устройства литьевых форм.

Наиболее распространенные типы конструкций выталкивающих устройств с выталкивающими шпильками и съемными плитами приводились на рисунках 53; 68 и 69. Применение их предусмотрено в стандартах. ГОСТ 22062-76 регламентирует литьевые формы с плитой, предназначенной для крепления выталкивающих деталей, и движущейся между двумя стойками, высотой определяемой величиной хода выталкивателей (рис.53). ГОСТ 22063-76 разработан для литьевых форм с плитой съема , действующей посредством тяг (рис.68), или центрального стержня (рис.69). Стойки в таких формах не требуются. По ГОСТ 22064-76 делаются литьевые формы, имеющие одновременно и плиту съема и плиту выталкивателей со стойками по бокам.

Чтобы вытолкнуть изделие по всему контуру, не прибегая к съемной плите и двум разъемам, применяют так называемый кольцевой выталкиватель, действие которого поясняет рис.71. Внутренняя поверхность изделия 3 оформляется стержнем 4, закрепленным в подвижной части формы 2. После разъема формы на нужную для выпадания изделий величину опорная плита 7 с плитой 6 и выта-

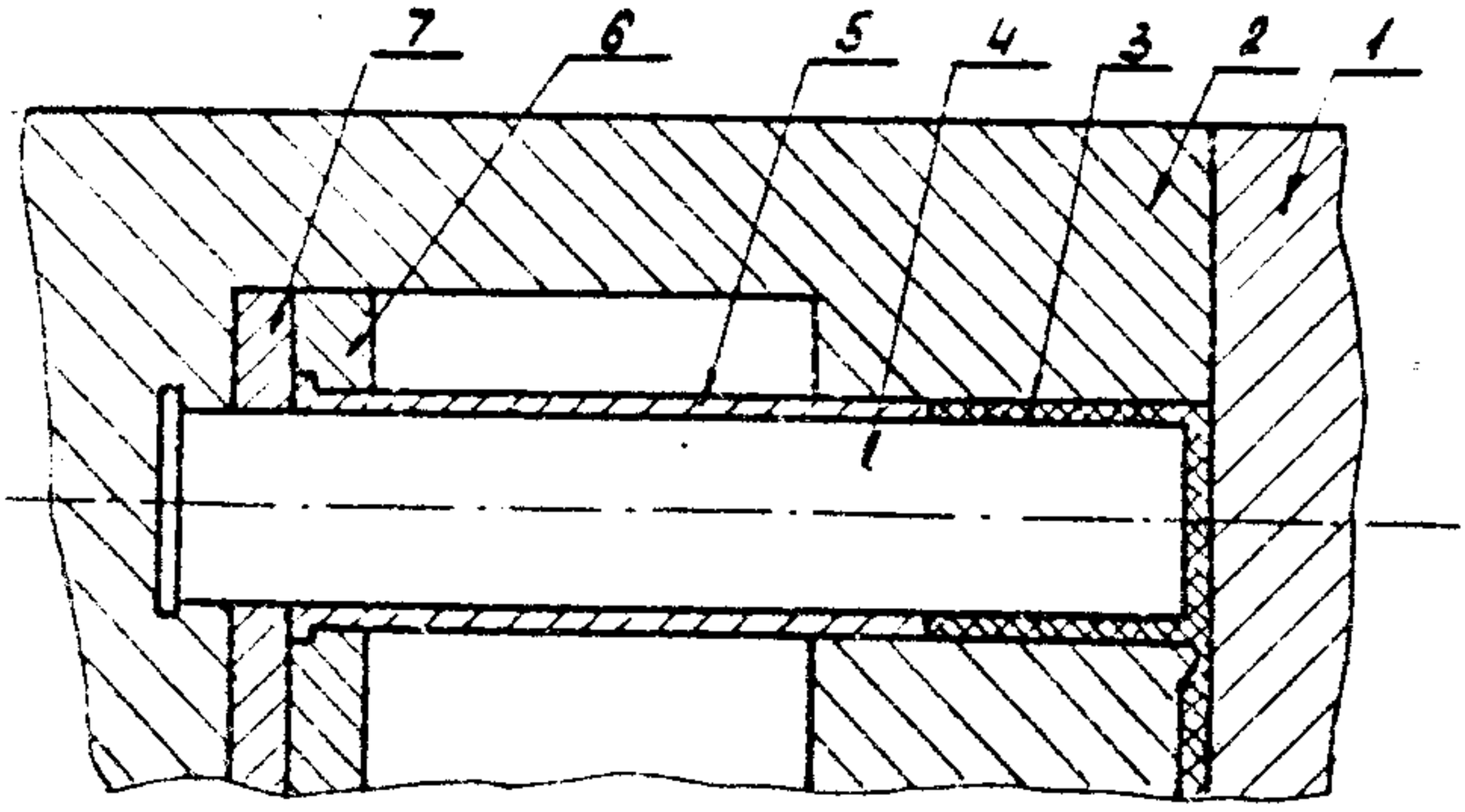


Рис.71

I-неподвижная часть формы; 2-подвижная часть формы; 3-изделие; 4-стержень оформляющий; 5-кольцевой выталкиватель; 6-плита выталкивателей; 7-опорная плита.

кивателем 5 задерживаются упором на литьевой машине и изделие одновременно снимается со стержня 4 и выталкивается из гнезда матрицы. Расчеты показывают, а практика подтверждает, что выталкивание таким способом тонкостенных длинных изделий малого диаметра приводит к их разрушению.

Для таких изделий приходится применять двухступенчатые выталкиватели, принцип действия которых показан на рис.72. Выталкиватели первой ступени 5 и 6 под действием пружины II в начале разъема формы удерживают изделие и центральный литник у неподвижной части I. После того,как изделия окажутся вне матриц, плиты первой ступени 9 и I0 доходят до упора и начинают двигаться вместе с подвижной частью, унося с собой изделия и литники. По достижении нужного разъема упор на машине задерживает хвостовик и останавливает плиты второй ступени I2 и I3, начинается съем изделий с выталкивателей первой ступени и выталкивание утолщенного конца центрального литника. При смыкании формы все

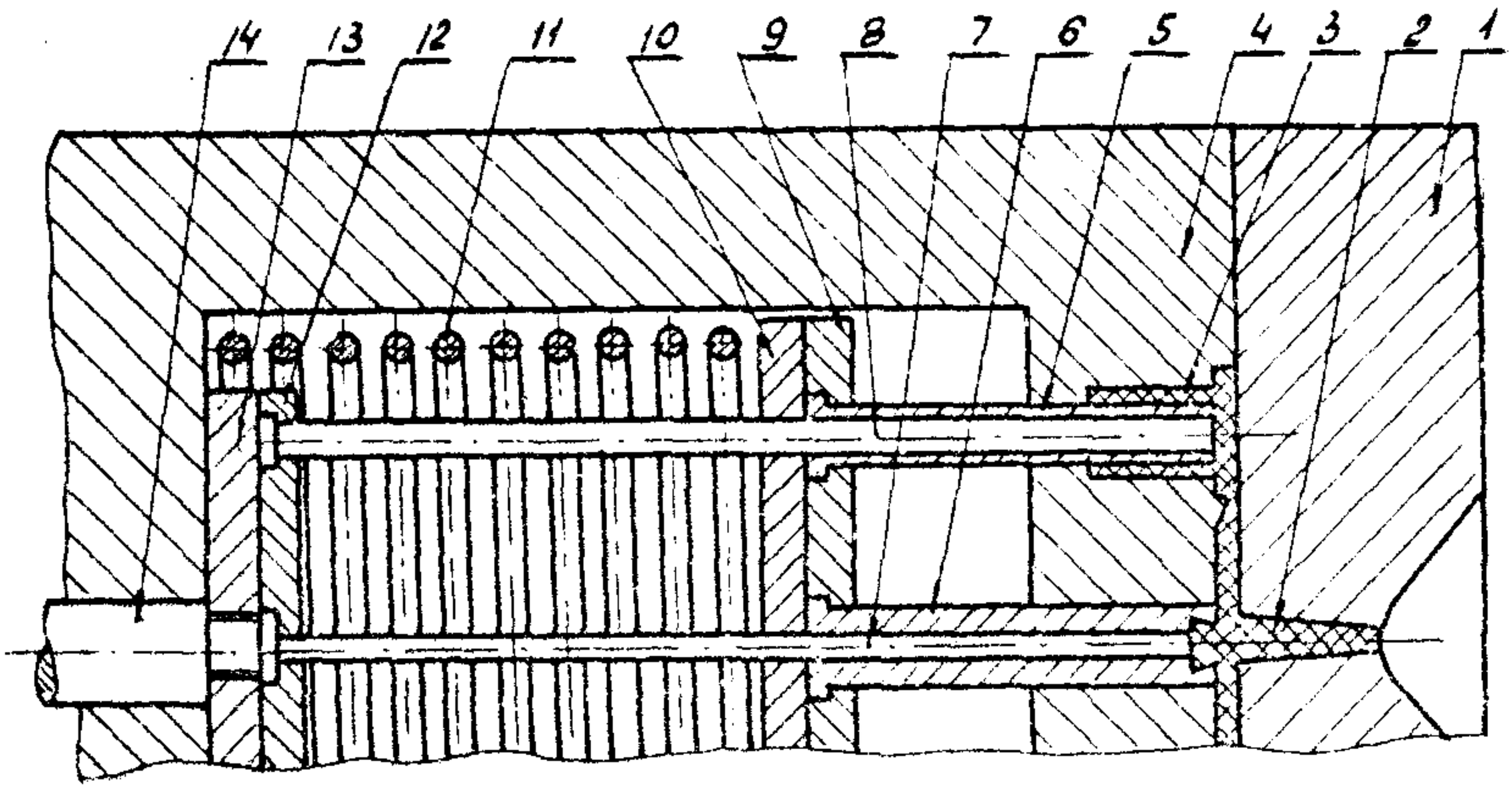


Рис.72

I-неподвижная часть формы; 2-центральный литник; 3-изделие; 4-подвижная часть формы; 5 и 6-выталкиватели первой ступени; 7 и 8-выталкиватели второй ступени; 9 и I0-плиты первой ступени; II-пружина; I2 и I3-плиты второй ступени; I4-хвостовик.

детали выталкивателей ставятся в исходное положение с помощью посадочных колонок, не показанных на схеме.

Для съема с оформляющих деталей изделий из эластичных материалов иногда используют сжатый воздух, подавая его во внутреннюю полость снимаемого изделия.

3.3. Формы для изготовления изделий из заготовок.

До сих пор рассматривались формы для изготовления изделий из бесформенной массы. В них формуемый материал подвергается всестороннему механическому воздействию. При этом возникают большие усилия на деталях формы и их приходится делать массивными из прочных материалов. Так в пресс-формах давление принимают от 200 до 600 кгс/см^2, а при литье оно достигает 1500кгс/см^2 и более.

Формование из заготовок не требует больших усилий, поскольку

формуемый материал уже уплотнен и нужная форма изделию придается путем изгиба и растяжения разогретой , т.е. размягченной заготовки в виде листа , чулка и т.п. Поэтому нет необходимости применять массивные прочные формы. Для оформления изделия достаточно иметь одну оформляющую поверхность, а функции другой выполняет воздух. Большинство изделий формуется на вакуум-формовочных машинах под действием атмосферного давления. Для толстостенных изделий применяют пневмоформовочные машины с давлением воздуха до 25 кгс/см^2.

Различают два типа форм, называемых негативными и позитивными. К первому типу относят те из них, в которых воздух выполняет функции пуансона, а ко второму относят формы с жесткими пуансонами без матриц. Схемы форм даны на рис.73

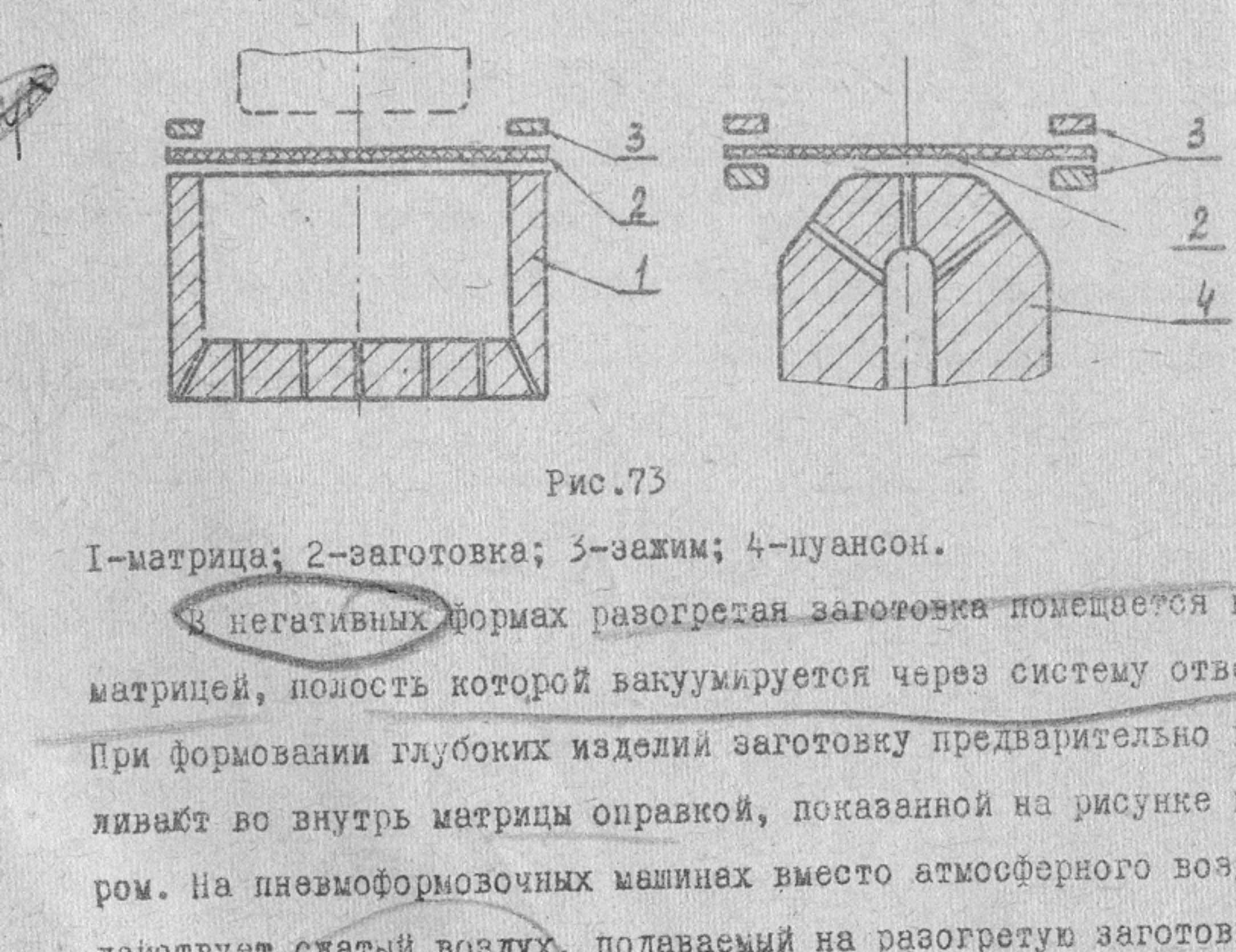


Рис.73

I-матрица; 2-заготовка; 3-зажим; 4-пуансон.

В негативных формах разогретая заготовка помещается над матрицей, полость которой вакуумируется через систему отверстий. При формовании глубоких изделий заготовку предварительно вдавливают во внутрь матрицы оправкой, показанной на рисунке пунктиром. На пневмоформовочных машинах вместо атмосферного воздуха действует сжатый воздух, подаваемый на разогретую заготовку сверху. Конструктивно форма остается такой же, если не считать

отверстий для вакуумирования, которые во втором случае не требуются.

В позитивных формах разогретая заготовка натягивается зажимами на пуансон и затем присасывается к нему под действием вакуума, создаваемого во внутренней полости пуансона, посредством отверстий, идущих от этой полости к формующей поверхности. На пневмоформовочных машинах вместо вакуума действует сжатый воздух по другую сторону заготовки.

Оба типа форм просты и дешевы в изготовлении. Они могут изготавливаться из любых подручных материалов (цемент, листовые металлы, дерево и т.д.).

Выпуск изделий небольшими сериями как правило ориентируют на применение методов формования из заготовок благодаря дешевизне формующего инструмента. Массовый выпуск изделий, когда стоимость дорогостоящего инструмента окупается повышением производительности труда, ориентируют на применение метода литья под давлением. Однако, крупногабаритные изделия даже при массовом выпуске предпочитают изготавливать методами пневмо-вакуумного формования, поскольку литьевые машины для таких изделий оказываются весьма сложными и дорогими.

Качество изделий, отформованных из заготовок, ниже изготавливаемых методом литья. Литьевые изделия имеют более точные размеры, устойчиво сохраняющиеся в условиях эксплуатации, поскольку они формуются из материала, находящегося в вязкотекучем состоянии. Заготовки не могут нагреваться до температуры вязкотекучего состояния и поэтому в изготавливаемых изделиях замораживаются более высокие напряжения, которые проявляются при эксплуатации их в виде усадок и короблений. Поскольку форма изделий контролируется только по одной поверхности, то точность размеров по толщине получается намного ниже, чем у литых изделий.

Для некоторых изделий метод экструзии с раздувом, при котором раздуваемая заготовка подается в форму из экструзионной головки, конкурентоспособен с литьем под давлением, а по ряду изделий он обладает существенными преимуществами. Емкостные изделия (бутыли, фляги, бочки и т.п.) изготавливаются,главным образом, этим методом. К одному из достоинств его следует отнести простоту конструкции применяемых форм. На рис.74 показана схема формы на бутыль. Заготовка 2 выдавливается в виде чулка из головки экструдера 6 в пространство между разомкнутыми половинками формы 3 и 4. Когда нижний край заготовки достигает нижнего края формы, она смыкается и сразу же по трубе I подается сжатый воздух во внутрь чулка, который раздувает чулок, прижимая его к

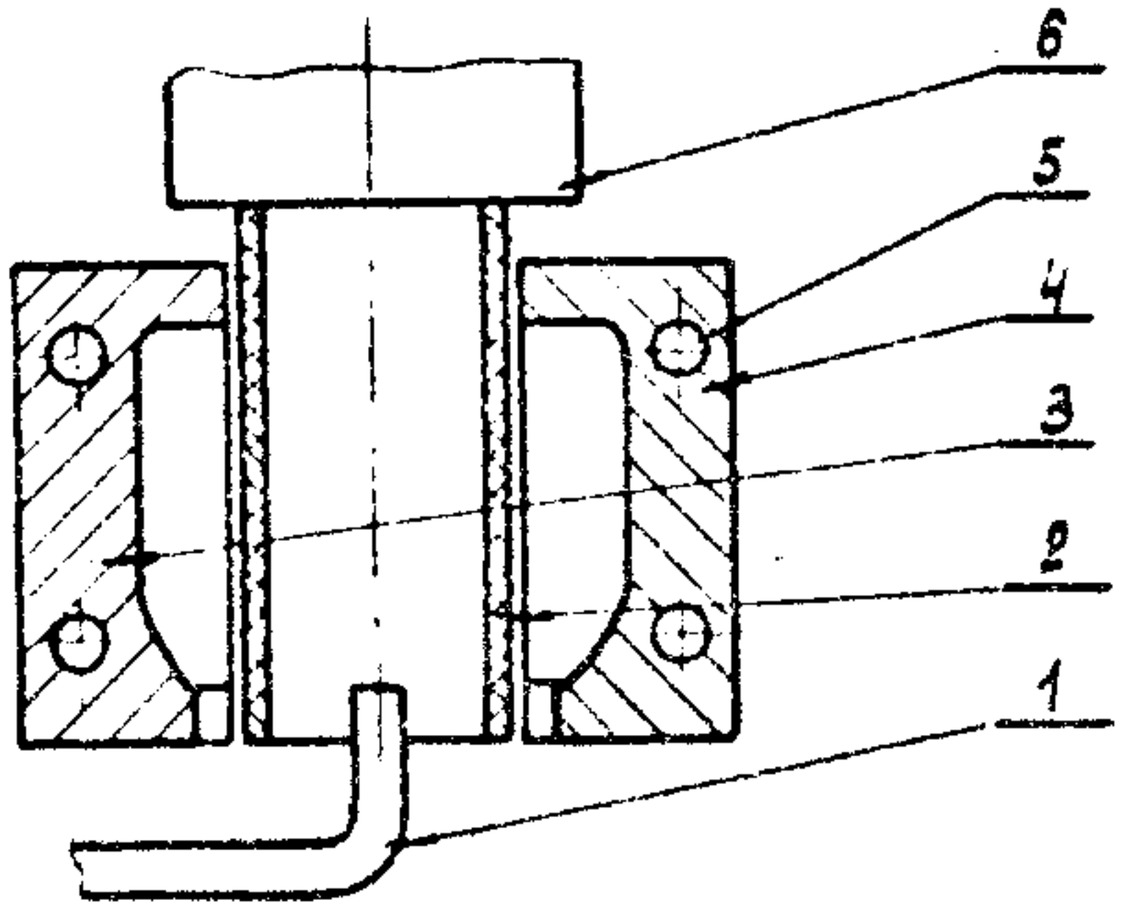


Рис.74

I-труба от ресивера со сжатым воздухом; 2-заготовка; 3 и 4-половинки формы; 5-охлаждающие каналы; 6-головка экструдера.

стенкам формы, охлаждаемым с помощью каналов 5. При смыкании формы верхние края ее откусывают заготовку, а нижние зажимают трубку I, образуя горловину бутыли. Сомкнутая форма отводится от головки экструдера и к ней подводится другая разомкнутая форма.

Все операции формования обычно производятся автоматически с помощью аппаратуры, относящейся к машине. Сами же формы просты

и уступают по простоте конструкции только пневмовакуумформовочным формам. Обычно их делают стальными с водяным охлаждением, лимитирующим производительность экструзионного агрегата.

Давление раздува невелико, всего несколько атмосфер поэтому не требуется высокая статическая прочность от стенок формы. Высокие требования предъявляются к посадочным поверхностям по плоскости смыкания, где откусываются излишки от формуемого материала и где не допускаются зазоры. Частые циклы и большие контактные напряжения на опорных краях обуславливают применение стали для изготовления форм. Усовершенствование конструкций связано с повышением интенсивности охлаждения изделия в форме. Это особо важно при изготовлении толстостенных изделий.

3.4. Формующие головки и калибрующие устройства при экструзии.

Процесс экструзии по своей природе является непрерывным, поэтому в отличие от дискретных способов формирования, при экструзии формуемая поверхность изделия не остается неподвижной относительно формующей поверхности инструмента, а скользит по ней. Этим скольжением предопределяется вся специфика формующего и калибрующего инструмента, применяемого при экструзии.

Червяк экструдера продавливает расплав через формующую щель головки, поверхности которой придают поперечному сечению потока нужную форму. Если расплав на выходе из головки под действием собственного веса не теряет приданную ему форму, то охлаждая его воздухом, или водой, получают готовое изделие, а метод формования называют свободной экструзией. Если же расплав не сохраняет приданной ему формы, то его после формующей головки направляют на калибрующее устройство, где охлаждают в условиях скользящего

контакта с формующими поверхностями, обеспечивающими сохранение и уточнение требующихся формы и размеров поперечного сечения изделия. Если свободная экструзия не обеспечивает нужной точности размеров, то также прибегают к калиброванию.

Известно, что при течении расплава вблизи стенки, ограничивающей поток, имеется прилипший к ней слой, остающийся, практически, неподвижным и скольжение реализуется путем сдвига слоев расплава между собой, т.е. внутреннее трение является определяющим в этом явлении, которое протекает в экструзионных головках любых конструкций.

В калибрующих устройствах расплав с низкой теплопроводностью движется по холодным поверхностям стенок из материала с высокой теплопроводностью, поэтому на расплаве образуется твердая корка и он не может прилипать к формующим поверхностям. Происходит скольжение твердых тел.

Как правило, калибрующие устройства удаляют от формующих головок на некоторое расстояние, чтобы отделить охлаждаемые детали отнагреваемых, поэтому они представляют собой независимые конотрукции, выполняющие различные функции единого процесса. Для различных изделий эти процессы отличаются очень сильно, поэтому необходимый для них формующий инструмент целесообразно подразделять по типу формуемых изделий.

Для экструзии листов, например, применяют плоскощелевые головки, для экотрузии рукавных пленок- круглощелевые, для нанесения изоляции на кабели- угловые. Все перечисленные типы головок узко специализированы и рассматриваются как принадлежности специализированных экструзионных агрегатов, в состав которых включаются многие другие комплектующие узлы, среди которых бывают и калибрующие устройства. Они разрабатываются и изготовляются комплекто

с экструдерами, поэтому здесь им будет уделен минимум внимания, необходимый для общего представления о формующем инструменте при экструзии. Несколько подробнее будут рассматриваться головки для изготовления так называемых профильных изделий, ассортимент которых достаточно широк и продолжает расширяться. Инструмент для них обычно конструируется и изготавливается непосредственно там, где изготавливаются изделия.

3.4.I. Головки и калибрующие устройства для профильных изделий.

Изделия неограниченной длины с постоянным поперечным сечением называют профильными. Простейшими из них будут: стержни, полосы, трубы и т.п. Различают профильные изделия по форме поперечного сечения, подразделяя на изделия открытого типа и закрытого типа. К первому относят такие, у которых в сечении не образуются замкнутые полости (полоса, стержень), ко второму, наоборот, относят изделия с замкнутыми полостями (труба). Для изделий открытого типа типичная формующая головка представлена на рис.75. Из цилиндра экструдера 8 расплав через решетку 6 подается во внутрь корпуса головки 5, откуда он поступает к мундштуку I, имеющему формующую щель с поперечным сечением, близким по форме и размерам к сечению готового изделия. Мундштук состоит из двух деталей, располагающихся в конусной обойме 2, обеспечивающей надежное сжатие их с помощью фланца 3, привертываемого винтами 4 к корпусу головки 5. Такое конструктивное решение является универсальным, т.е. оно дает возможность изготовить формующую щель с поперечным сечением любой сложности, предусматривая для этого нужное число разъемных частей у мундштука. Для изделий с простым

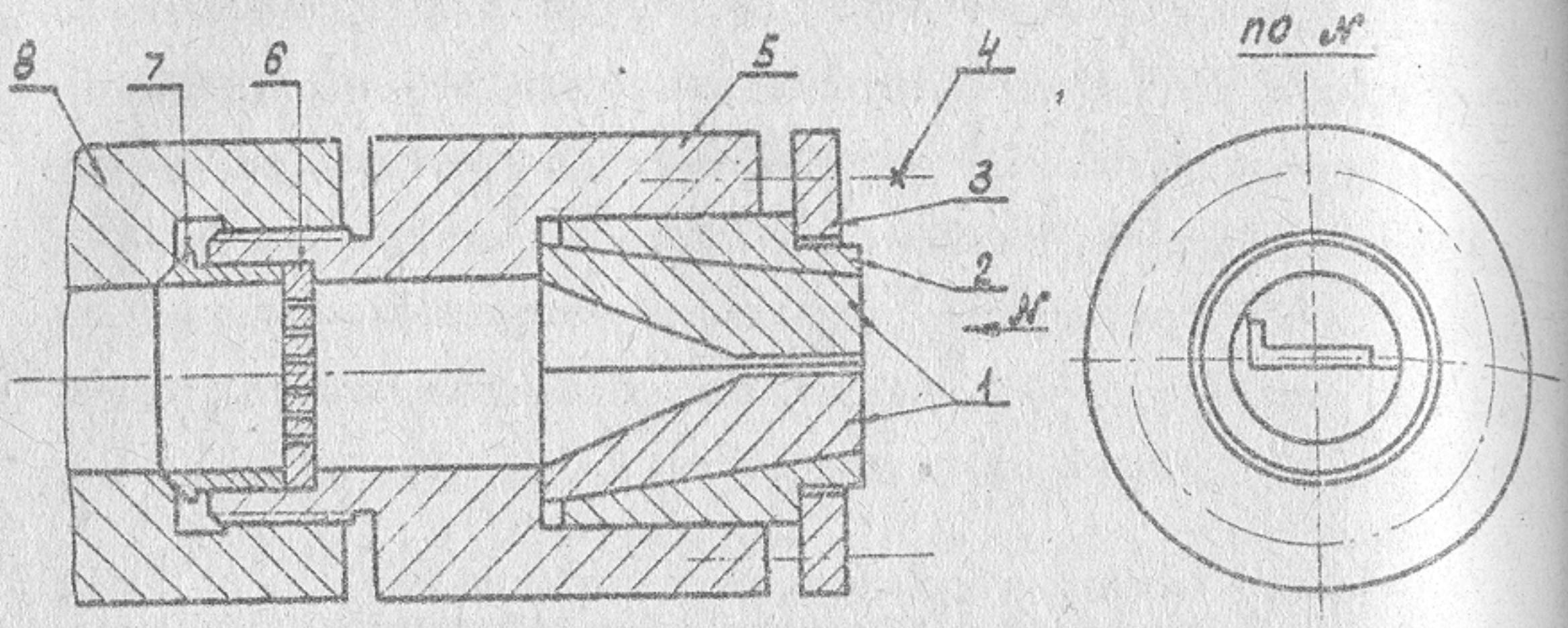


Рис.75

1-половинки формующего мундштука; 2-обойма мундштука; 3-фланец мундштука; 4-винт; 5-корпус головки; 6-решётка; 7-переходная втулка; 8-цилиндр экструдера.

сечением, когда для изготовления формующей щели в мундштуке нет необходимости делать его разъемным, применяют упрощенные конструкции, в которых отсутствует обойма, т.е. мундштук привертывается непосредственно к корпусу головки.

У малогабаритных головок вместо фланца 3 целесообразно применять накидные гайки.

Крепление корпуса головки к цилиндру экструдера выполняется в соответствии с конструкцией последнего. У больших экструдеров применяются фланцы простые, откидные и т.п.

Габаритные размеры деталей головки принимают с учетом установки на них электронагревателей в виде хомутов.

Для изделий закрытого типа типовая конструкция головки представлена на рис.76.

Закрытая полость изделия оформляется дорном 5 , закрепляемым в дорнодержателе 8, имеющим окна для прохода расплава к формующей щели между дорном 5 и мундштуком 4 и отверстия для подвода воздуха в формуемую полость. Расплав после решётки 11 поступает

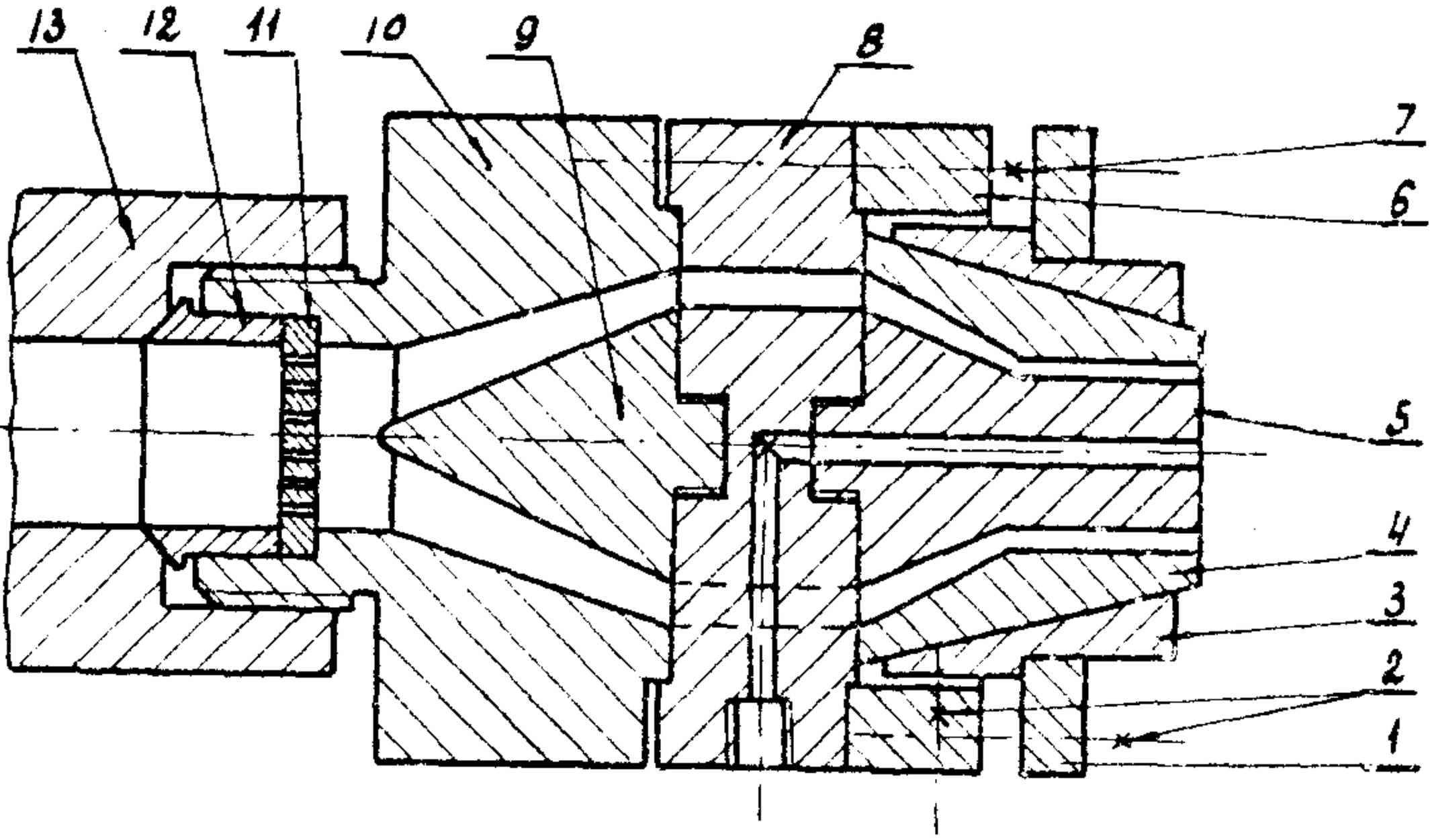


Рис.76

I-фланец мундштука; 2-винты для крепления и центровки мундштука; 3-обойма мундштука; 4-мундштук; 5-дорн; 6-фланец дорнодержателя; 7-винты для крепления дорнодержателя; 8-дорнодержатель; 9-рассекатель; I0-корпус головки; II-решётка; I2-переходная втулка; I3-цилиндр экструдера.

во внутрь корпуса головки I0 и попадает на рассекатель 9, направляющий его к окнам в дорнодержателе 8, из которых затем он поступает в сужающуюся полость между дорном и мундштуком, заканчивающуюся формующей щелью с постоянной высотой. В образуемую дорном полость поступает воздух под некоторым давлением, используемый во многих случаях для калибрования изделия.

Дорнодержатель крепится к корпусу головки винтами 7 с помощью фланца 6. Мундштук 4 с обоймой 3 прижимается торцем к дорнодержателю винтами 2 с помощью фланца I. Между обоймой мундштука 3 и фланцем дорнодержателя 6 предусматривают зазор для регулирования высоты формующей щели путем радиального смещения обоймы с помощью радиально расположенных винтов 2.

Показанная на рис.76 конструкция мундштука носит универсальный характер. Он может быть и цельным, или составным, в зависи-

мости от сложности сечения формующей щели. Если нет необходимости делать его составным, то конструкцию упрощают, делая гнездо в обойме цилиндрическим, или вообще не делают обоймы.

В отношении крепления головки к экструдеру и установки на ней электронагревателей приходится учитывать, что для изделий закрытого типа головки тяжелее и имеют большую длину, поэтому крепление должно быть более прочным, а нагреватели приходится делать в несколько зон по длине.

Очень важно при конструировании головки учесть удобства для ее очистки. С этой целью все поверхности, соприкасающиеся с формуемым материалом, полируют и покрывают хромом, что предотвращает прилипание расплава и существенно облегчает удаление его остатков из разбираемой головки. Покрытие предохраняет также от коррозии. На гидравлические потери при течении расплава через головку покрытие и полировка не оказывают влияния из-за наличия прилипшего пристенного слоя.

Изделия обоих типов могут изготавливаться методом свободной экструзии, если расплав имеет высокую вязкость, а к размерам сечения не предъявляются высокие требования.

Калибрование также применяют к обоим [illegible] изделий, но используемые для этого методы существенно [illegible]ны и зависят от того, как осуществляется прижатие контакт[illegible]их поверхностей охлаждаемого изделия к охлаждающим деталя[illegible]калибрующего устройства. Так для изделий закрытого типа широкое применение находит калибрование с помощью сжатого воздуха, подаваемого во внутрь формуемой полости, закрываемую с помощью плавающей пробки (см. рис.77), или путем смятия стенок на конце изделия. Стенки изделия прижимаются воздухом к охватывающим его поверхностям и таким путем за время прохождения через охлаждающую калибрующую насадку

мости от сложности сечения формующей щели. Если нет необходимости делать его составным, то конструкцию упрощают, делая гнездо в обойме цилиндрическим, или вообще не делают обоймы.

В отношении крепления головки к экструдеру и установки на ней электронагревателей приходится учитывать, что для изделий закрытого типа головки тяжелее и имеют большую длину, поэтому крепление должно быть более прочным, а нагреватели приходится делать в несколько зон по длине.

Очень важно при конструировании головки учесть удобства для ее очистки. С этой целью все поверхности, соприкасающиеся с формуемым материалом, полируют и покрывают хромом, что предотвращает прилипание расплава и существенно облегчает удаление его остатков из разбираемой головки. Покрытие предохраняет также от коррозии. На гидравлические потери при течении расплава через головку покрытие и полировка не оказывают влияния из-за наличия прилипшего пристенного слоя.

Изделия обоих типов могут изготавливаться методом свободной экструзии, если расплав имеет высокую вязкость, а к размерам сечения не предъявляются высокие требования.

Калибрование также применяют к обоим типам изделий, но используемые для этого методы существенно различны и зависят от того, как осуществляется прижатие контактирующих поверхностей охлаждаемого изделия к охлаждающим деталям калибрующего устройства. Так для изделий закрытого типа широкое применение находит калибрование с помощью сжатого воздуха, подаваемого во внутрь формуемой полости, закрываемую с помощью плавающей пробки (см. рис.77), или путем смятия стенок на конце изделия. Стенки изделия прижимаются воздухом к охватывающим его поверхностям и таким путем за время прохождения через охлаждающую калибрующую насадку

фиксируют требующуюся форму. Для изделий не имеющих замкнутой полости, использовать сжатый воздух не удается.

Прижатие контактирующих поверхностейс помощью вакуума успешно используют для изделий обоих типов. Охлаждаемую стенку изделия присасывают к калибрующей поверхности, вакуумируя полость калибра с соответствующими отверстиями (см. рис.78). Перед отса-

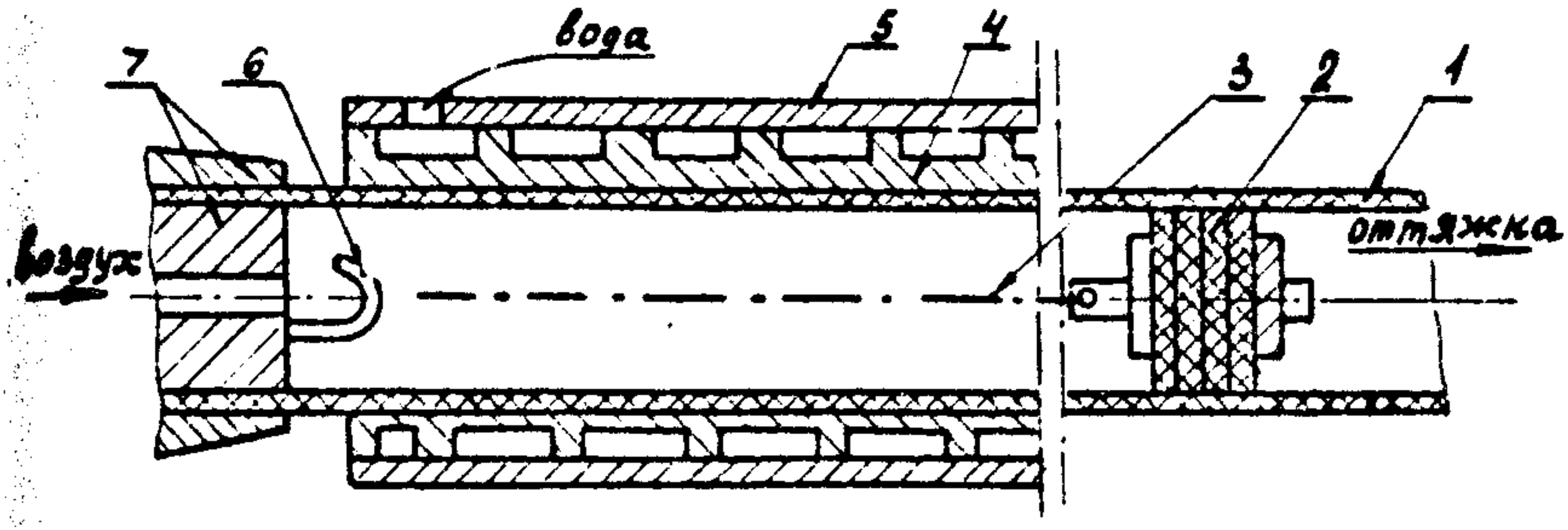


Рис.77

I-калибруемая труба; 2-резиновая пробка; 3-тросс;4-калибрующая гильза с винтовым каналом для охлаждающей воды; 5-рубашка; 6-крючок для тросса; 7-формующая головка.

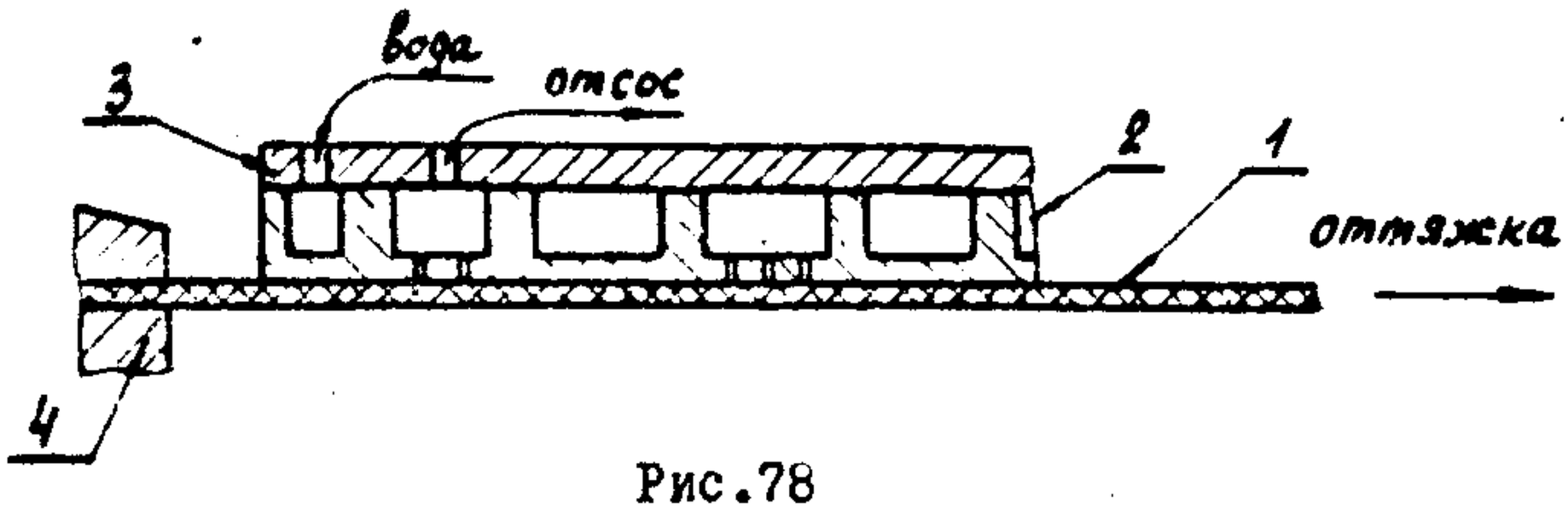


Рис.78

I-калибруемое изделие; 2-калибрующая деталь; 3-рубашка; 4-формующая головка.

сывающими отверстиями обязательно располагают короткий охлажда-емый участок, чтобы образовать на калибруемой поверхности твердую корку и предотвратить засасывание расплава.Вакуум обеспечивает прижатие как плоских, так и криволинейных поверхностей изделий с небольшой жесткостью, не требующих удельного давления выше 1кгс/см^2.

На практике встречается множество других способов прижатия

с целью калибрования, в которых используются сила тяжести, усилия пружин, давление, возникающее от усадки при охлаждении и т.д. Калибрующие детали выполняют в виде пластин, роликов, стержней со сложным поперечным сечением, охватываемых калибруемыми изделиями и т.д.

Непременным условием успешной работы калибрующего устройства является согласованность между скоростью течения расплава на выходе из формующей щели и скоростью отвода готового изделия. Последняя должна хотя бы немного превышать первую, чтобы не образовывались складки и морщины.

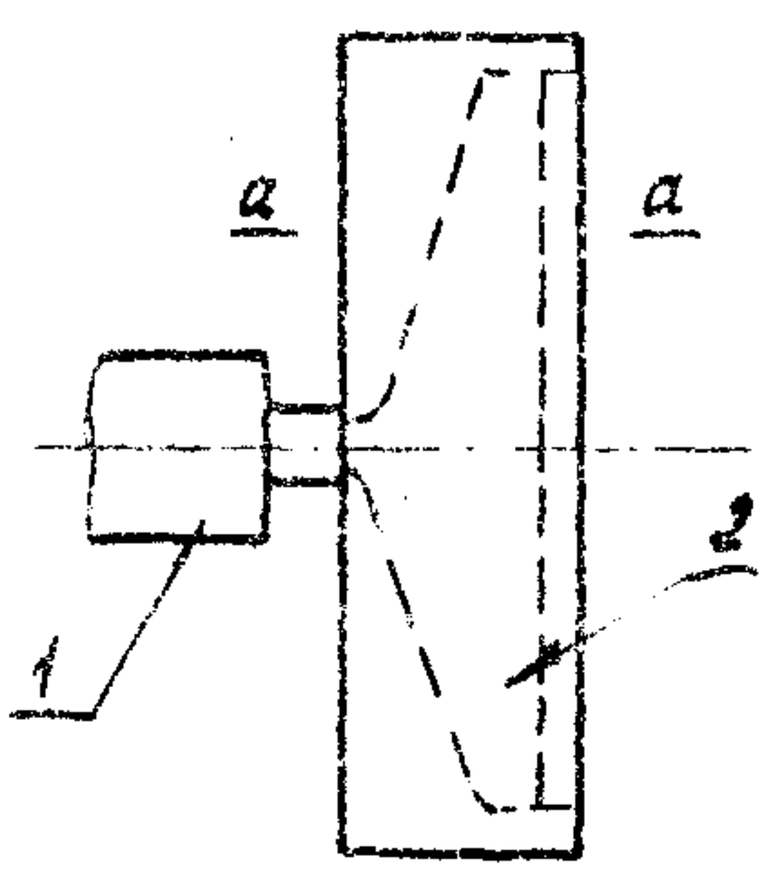
На калибрующем устройстве происходит только предварительное охлаждение с образованием поверхностной твердой корки, благодаря которой сохраняется приданная изделию форма в процессе дальнейшего окончательного охлаждения. При небольших толщинах изделия толщина затвердевших наружных слоев составляет большую долю от общей толщины, поэтому усадка при окончательном охлаждении не может заметно повлиять на размеры и форму поперечного сечения.

В толстостенных изделиях наблюдается иная картина. Внешняя твердая корка мала по сравнению с общей толщиной, поэтому усадка остывающих внутренних слоев ведет к образованию на плоских поверхностях усадочных дефектов - утяжин. На поверхностях с большой кривизной и на углах внешняя твердая корка может оказаться достаточно жесткой, чтобы вместо утяжин образовывались внутренние усадочные дефекты в виде раковин и пузырей. Указанные дефекты предотвращаются путем подпитки середины сечения расплавом на протяжении всего периода охлаждения. Практически это реализуется путем совмещения формующих и калибрующих функций в одном инструменте, т.е. формующие поверхности экструзион-

ной головки переходят в калибрующие. Для этого участок формования нагревается, а участок калибрования охлаждается. Длина последнего должна быть достаточной, чтобы за время прохождения изделия через него, оно успело охладиться. Расплав в центре сечения изделия должен находиться под давлением на протяжении всего периода охлаждения и это достигается применением торможения вместо оттяжки, применяемой для тонкостенных изделий.

3.4.2. Специализированные формующие головки.

На рис.79 дана схема плоскощелевой экструзионной головки, применяемой для изготовления листов и пленок. Расплав от экструдера подается через центральное отверстие в формующую полость



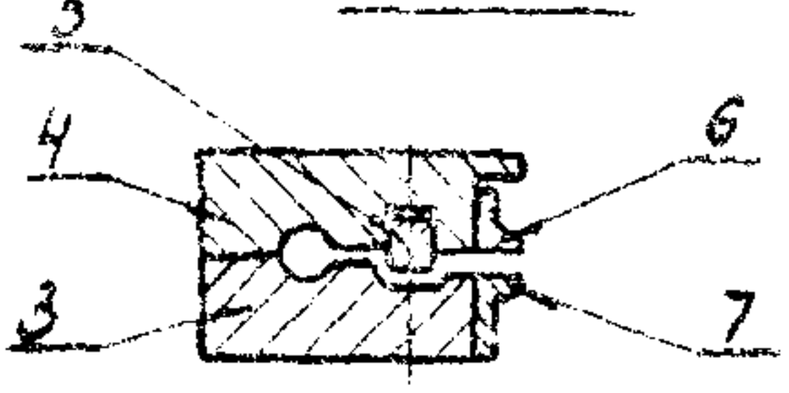


Рис.79

I-цилиндр экструдера; 2-головка; 3-нижняя часть головки; 4-верхняя часть головки; 5-призма регулировочная; 6-верхняя регулируемая губка; 7-нижняя неподвижная губка.

головки, показанную на схеме пунктирными линиями в виде "ласточкина хвоста". В этой полости со стороны входа располагается канал большого сечения, по которому расплав растекается по фронту формующей щели. Путь от канала к формующей щели в каждом сечении (см. по а-а) различен и делается таким, чтобы на пути расплава

от входа до любой точки фильеры было одно и то же сопротивление течению. Однако, вследствие неточности изготовления каналов, неравномерности температурного поля и других причин, не удается обеспечить равенство скоростей течения на выходе из фильеры, поэтому во всех конструкциях щелевых головок предусматривают регулировочную призму 5, размещаемую между нижней 3 и верхней 4 частями головки. С помощью специальных регулировочных винтов призму деформируют в вертикальном направлении, сужая или расширяя проход расплаву к регулируемому участку формующей щели, образующейся между губками 6 и 7. Кроме того высота самой щели (фильеры) также регулируется путем перемещения верхней губки 6 с помощью других регулировочных винтов.

Расплав, выдавливаемый через фильеру плоскощелевой головки, подвергается различным способам охлаждения. При получении листов обычно подается на охлаждаемые калибрующие, или полирующие валки. При изготовлении пленок (листы толщиной менее 1мм) из высоковязких материалов иногда ограничиваются охлаждением на воздухе. Пленки из материалов с низкой вязкостью изготавливают путем полива через щель на охлаждаемый барабан.

Для изготовления пленок из полимерных материалов наиболее широкое распространение нашли круглощелевые угловые головки, принцип работы которых схематично показан на рис.80. Расплав от цилиндра экструдера 5 через переходник 4 поступает в канал на поверхности дорна 1, разветвляющийся на пути от входа до кольцевых проточек с цельб обеспечить равные скорости течения во всех точках кольцевой фильеры. Окончательное выравнивание скоростей производят с помощью регулировочного кольца 3, смещаемого при регулировке с помощью радиальных винтов и закрепляемого осевыми винтами, не показанными на схеме. Во внутрь формуемого рукава

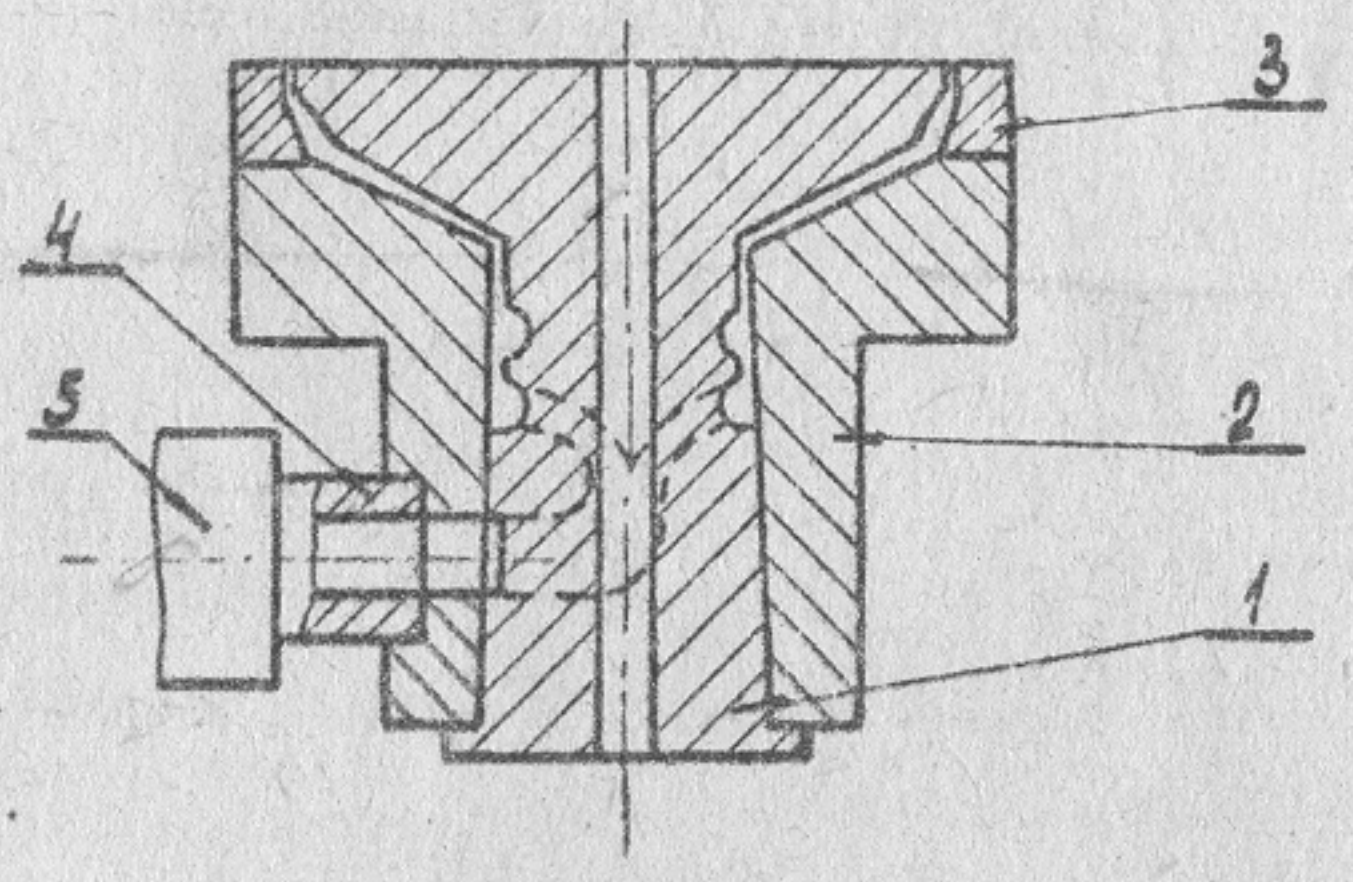


Рис.80

I-дорн; 2-корпус головки с мундштуком; 3-регулировочное кольцо; 4-переходник; 5-цилиндр экструдера.

подают воздух через осевое отверстие в дорне. Раздуваемый рукав на выходе из фильеры охлаждается воздухом, складывается направляющими пластинами и отводится тянущими валками. Нужную толщину пленки получают путем подбора необходимого соотношения скоростей экструзии и отвода, а равнотолщинность достигают регулировкой кольца 3.

В угловых головках, применяемых для нанесения пластмассовой изоляции на кабель, поток расплава также поворачивают на 90° от оси экструдера и направляют к центру оси головки на движущийся в том же направлении провод, являющийся продолжением дорна, как показано схематично на рис.81. Кольцевой зазор между дорном и мундштуком делают сходящимся у провода, где образуется полость с узкой щелью между проводом и мундштуком, в которой из расплава формуется изоляционный слой под действием давления в расплаве и тянущего усилия на проводе. По выходе из головки нанесенный на провод слой расплава фиксируют интенсивным охлаждением в длинной водяной ванне, располагаемой по оси движения кабеля, скорость которого достигает 2000м/мин. Гладкая поверхность на изоляционном слое при таких высоких скоростях экструзии обеспечивается путем

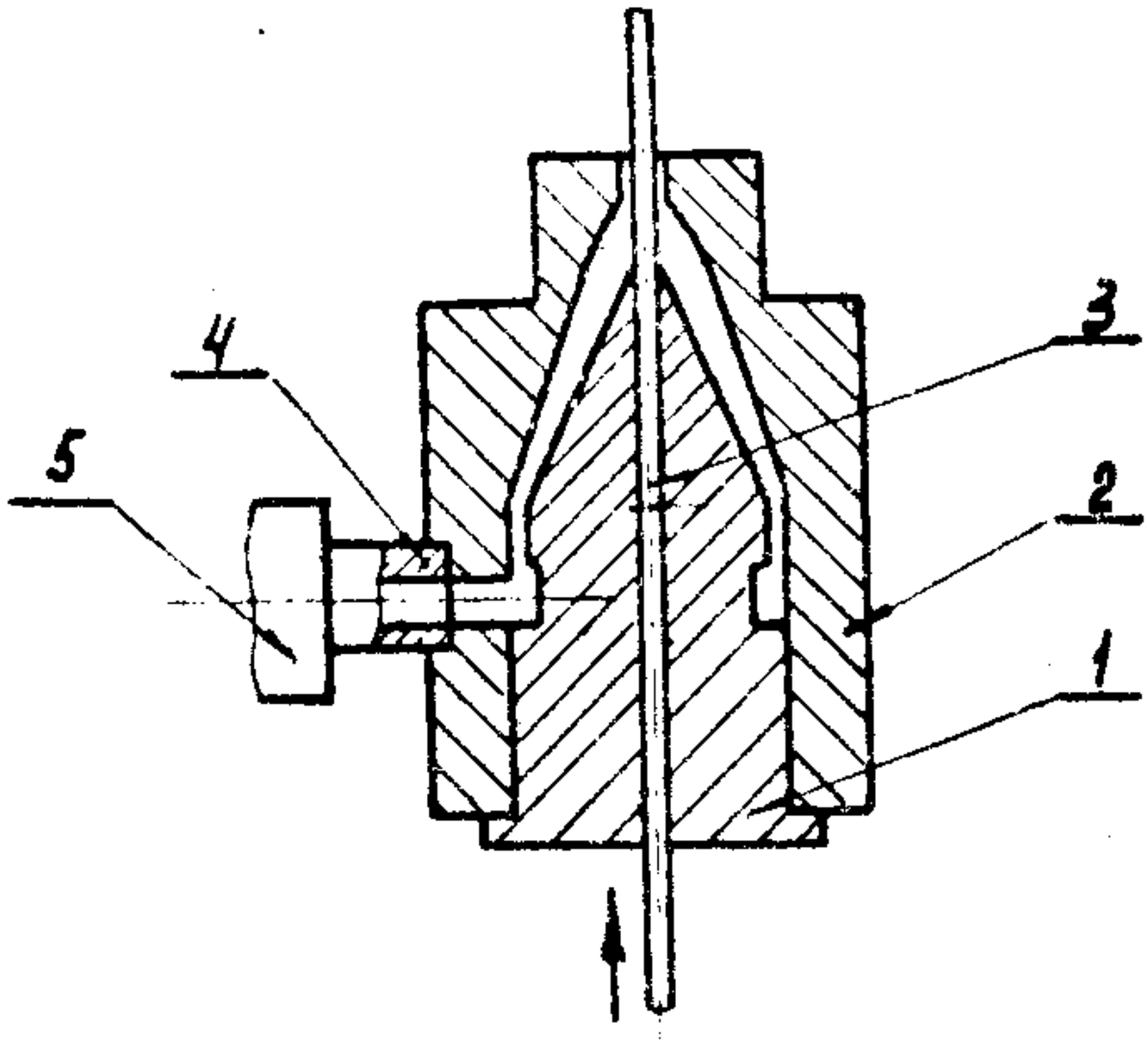


Рис.8I

I-дорн; 2-корпус головки с мундштуком; 3-изолируемый провод; 4-переходник; 5-цилиндр экструдера.

тщательного сглаживания входа в формующую щель.

4. РАСЧЕТ ФОРМУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА.

Сущность любого процесса формования заключается в направленном деформировании полимерного материала, находящегося в том, или ином состоянии, с помощью соответствующего инструмента, основой для расчета которого являются деформационные свойства перерабатываемого материала, изучаемые в реологии. Характеризуют деформационные свойства постоянными величинами, входящими в уравнения, описывающие процесс деформирования. Очевидно, что описанию методов расчета должно предшествовать хотя бы краткое изложение основных закономерностей, используемых в расчетах.

Формование осуществляют в строго определенных температурных условиях, поэтому при проектировании формующего инструмента неизбежно возникает необходимость выполнения соответствующих тепловых расчетов. Ниже будут рассмотрены также основные особенности этих расчетов.

Детали формующего инструмента подвержены действию больших или меньших нагрузок, развивающихся при формовании. Чтобы обеспечить работающему инструменту нужную прочность, требуется знать действующие в нем нагрузки, которым также будет уделено соответствующее внимание.

Немаловажно уметь выбрать рациональную последовательность в проведении расчетов при разработке конструкции инструмента с технико-экономическими обоснованиями принимаемых решений, поэтому этот вопрос тоже будет рассмотрен ниже.

4.1. Закономерности течения, используемые для технологических расчетов инструмента.

В процессе движения расплава полимерного материала через

каналы формующего инструмента на истиное течение накладываются другие виды деформаций, развивающихся как в пристенных слоях, так и по всему сечению потока. Если деформирование в пристенных слоях превалирует, то течение называют пробковым или стержневым. Идеальное пробковое течение можно представить как взаимное перемещение твердых тел по смазанным поверхностям, подчиняющееся известным закономерностям. Анализ экспериментальных данных показывает, что в условиях переработки полимерных материалов на идеализированное пробковое течение накладываются деформации по всему объему потока, хотя доля их может быть весьма малой.

Накладывающееся на истинное течение пристенное и объемное деформирование носит релаксационный характер, поэтому на начальном участке у входа в канал наблюдается предстационарное течение со своими закономерностями и лишь на некотором расстоянии от входа течение становится стационарным. В реологии принято изучать стационарное течение, а все что относится к предстационарной стадии, рассматривают как входовой эффект и оценивают его величиной дополнительных потерь давления у входа, вводя соответствующую поправку, например, на длину канала. В большинстве случаев входовые потери у круглых каналов численно равны потерям давления в стационарном режиме на длине от 2 до 10 диаметров.

Для каналов с любыми размерами зависимости потерь давления на канале ΔP_0 от расхода Q, или средней скорости течения v, в логарифмических координатах представляются прямыми линиями, поэтому кривые расхода в указанных координатах описывают степенным уравнением

$$\frac{\Delta P_0^n}{v} = A = \frac{\Delta P_0^n \cdot f}{Q} \qquad (83)$$

где: f - площадь сечения канала;

n - постоянная величина, независящая для данного полимера от размеров канала и температуры, характеризует реологические свойства расплава и называется индексом течения;

A - коэффициент, зависящий от температуры расплава и размеров канала.

По уравнению (83) можно рассчитать потери давления в канале при заданной скорости течения, если экспериментально были определены n и A для этого же канала. Для другого канала при течении того же расплава n будет известно, но надо заново находить коэффициент A. Чтобы по опытам на одном канале рассчитывать течение на любом другом, необходимо иметь уравнение течения, инвариантное относительно размеров канала. Такое уравнение может быть получено из уравнения (83), если в него вместо потери давления ΔP_0 подставить напряжение сдвига на стенке канала τ_w, рассчитанное из условия равновесия сил, действующих на участке длиной ℓ со стационарным режимом течения в круглом канале радиусом r

$$\tau_w \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot \ell = \Delta P \cdot \pi \cdot r^2$$

$$\tau_w = \frac{\Delta P \cdot r}{2 \cdot \ell} \qquad (84)$$

а вместо средней скорости течения v подставить скорость сдвига $\dot{\gamma}_w$ у стенки канала, вычисляемую, согласно Рабиновичу, по формуле

$$\dot{\gamma}_w = \frac{(n+3) \cdot v}{r} = \frac{(n+3) \cdot Q}{\pi \cdot r^3} \qquad (85)$$

которая для ньютоновских жидкостей ($n=1$) принимает вид

$$\dot{\gamma}_w = \frac{4v}{r} = \frac{4Q}{\pi \cdot r^3} \qquad (86)$$

Ниже будет применяться формула (86), поскольку поправка Рабиновича во всех расчетных формулах сокращается и нет необхо-

димости усложнять математические выражения при выводах.

Сделав указанные подстановки, получим

$$\frac{\tau_w^n}{\dot{\gamma}^n} = \frac{\tau^{n+1}}{A\, 2^{n+2} \cdot \ell^n} = Const. = \eta_c \qquad (87)$$

Инвариантность уравнения (87) относительно размеров канала 2 и ℓ подтверждается экспериментальными данными. Экспериментальные точки, полученные на каналах разных размеров, в координатах $\lg \tau_w - \lg \dot{\gamma}$ укладываются вблизи одной общей прямой линии. Коэффициент η_c не зависит от размеров канала, поэтому служит реологической характеристикой расплава, изменяющейся с температурой. Он вычисляется, согласно уравнению (87), по значению коэффициента A и размерам 2 и ℓ для этого же участка канала.

Применяя соотношение (87) к двум участкам каналов с размерами τ_1 ; ℓ_1 и τ_2 ; ℓ_2 , имеющим значения коэффициентов A_1 и A_2 , найдем

$$\frac{A_1}{A_2} = \left(\frac{\tau_2}{\tau_1}\right)^{n+1} \cdot \left(\frac{\ell_1}{\ell_2}\right)^n . \qquad (88)$$

Соотношение (88) дает возможность вычислять потери давления по расходу, или, наоборот, расход по перепаду давления для круглых каналов любых размеров по опытным данным, полученным на одном из каналов. Однако, эти расчеты относятся к участкам каналов, удаленных от входа. При расчете всего канала необходимо учитывать входовые потери, зависящие от многочисленных факторов, что сильно усложняет задачу, поскольку нужны дополнительные экспериментальные данные.

При расчете литниковых каналов в литьевых формах задача облегчается тем, что предстационарная стадия течения протекает в каналах, предшествующих рассчитываемым (сопло литьевой машины), поэтому отпадает необходимость учета входовых потерь.

Экспериментально установлено, что для каналов некруглого сечения применимы вышеприведенные зависимости, если пользоваться

понятием эквивалентного радиуса $r_э$, вычисляемого по формуле

$$r_э = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot f^2}{\pi \cdot \Pi}}, \qquad (89)$$

где Π - длина периметра сечения канала.

Уравнение (83) имеет один и тот же показатель степени n для каналов разных длин, т.е. оно описывает и предстационарную стадию течения, в которой понятие скорости сдвига теряет смысл. Поскольку течение в предстационарной стадии носит релаксационный характер, то вместо скорости сдвига, для оценки интенсивности течения, следует применять временной фактор, оцениваемый длительностью течения, т.е. средним значением времени прохождения расплава через канал t, вычисляемым по формуле

$$t = \frac{l_o}{v} \qquad (90)$$

В предстационарной стадии течения напряжения сдвига на стенке канала изменяются по его длине, поэтому следует пользоваться средним значением напряжения τ_o, вычисляемым по формуле (84), в которую подставляется весь перепад давления на канале ΔP_o, включающий входовые потери, и полная длина канала l_o

$$\tau_o = \frac{\Delta P_o \cdot r}{2 \cdot l_o} \qquad (91)$$

Подставляя в уравнение (83) значения ΔP_o и v из формул (90) и (91), получим

$$\tau_o^n \cdot t = \frac{r^n}{A 2^n \cdot l^{n-1}} = Const = C \qquad (92)$$

Согласно экспериментальным данным уравнение (92) является инвариантным относительно размеров канала, имеющих длину в пределах $l/r = 4 \div 50$. Коэффициент C, имеющий одинаковую размерность с коэффициентом η_c, является постоянной величиной при заданной температуре и служит реологической характеристикой расплава для предстационарной стадии течения.

С помощью уравнения (92) рассчитываются формующие каналы в экструзионных головках, длина которых обычно принимается в пределах применимости уравнения. При этом, для некруглых каналов формула (91) имеет следующий вид

$$\zeta_0 = \frac{\Delta P_0 \cdot f_0}{f_s} \qquad (93)$$

где: f_0 - площадь поперечного сечения канала у входа;

f_s - площадь боковой (смачиваемой) поверхности канала.

Каналы переменного сечения с углом между образующими не более 3^0 также могут рассчитываться по уравнению (92). В этом случае для вычисления длительности течения вместо формулы (90) нужно пользоваться более общим выражением ее в виде

$$t = \frac{q}{Q} \qquad (94)$$

где: q - объем канала;

Q - объемный расход через канал.

Уравнения (87) и (92) описывают стационарное и неустановившееся течение при некоторой температуре, которой соответствуют определенные значения реологических характеристик η_c и Γ. Для перехода от одной температуры к другой пользуются температурной зависимостью потери давления ΔP при постоянном расходе, или температурной зависимостью скорости течения при постоянном перепаде давления на канале, которые, согласно экспериментальным данным, имеют вид

$$\Delta P = B \cdot \exp \frac{K}{T}; \quad при \ V = Const \qquad (95)$$

$$V = D \cdot \exp \frac{-K \cdot n}{T}; \quad при \ \Delta P = Const \qquad (96)$$

где: B и D - постоянные коэффициенты для используемых каналов при заданных условиях;

T - температура расплава в градусах Кельвина;

K - температурный коэффициент, пропорциональный энергии активации вязкого течения, что можно показать путем преобразования уравнения (95) в уравнение Аррениуса.

В результате опытов, выполненных на капиллярном вискозиметре с постоянным расходом ($V = Const$) при двух разных температурах T_1 и T_2, получают ΔP_1 и ΔP_2. Подставляя эти значения в уравнение (95) и решая его относительно K, находят

$$K = \frac{T_2 \cdot T_1}{T_1 - T_2} \cdot \ln \frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} \qquad (97)$$

Аналогично предыдущему по результатам опытов, выполненных на капиллярном вискозиметре с постоянным перепадом давления ($\Delta P = Const$), находят

$$K = \frac{T_2 \cdot T_1}{(T_1 - T_2) \cdot n} \cdot \ln \frac{V_1}{V_2} \qquad (98)$$

Путем совместного решения уравнений (83); (87) и (95) находят формулу для расчета коэффициента η_c при некоторой температуре η_{c1}, по значению его при другой температуре η_{c2}.

$$\ln \eta_{c1} = \ln \eta_{c2} + K \cdot n \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \qquad (99)$$

Аналогично находится формула для C_1

$$\ln C_1 = \ln C_2 + K \cdot n \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \qquad (100)$$

Таким образом, реологические свойства расплавов полимерных материалов характеризуются четырьмя величинами, определяемыми экспериментально:

I) Коэффициентом, оценивающим вязкость в стационарном режиме течения, - η_c. Для определения его проводят испытания расплава на двух каналах с различной длиной, что дает возможность исключить влияние входовых потерь, пользуясь методом Бэгли, или методом разности длин.

2) Коэффициентом, оценивающим вязкость в неустановившемся режиме течения, $-C$. Для определения его достаточно провести испытания расплава на одном канале и воспользоваться уравнением (92).

3) Индексом течения n , оценивающим степень отклонения данного расплава от ньютоновских жидкостей, имеющих $n=1$. Чем больше n , тем больше поведение расплава отклоняется от ньютоновской жидкости, тем сильнее проявляется зависимость скорости течения от перепада давления на канале, т.е. характер течения приближается к пробковому. При $n \to \infty$ течение по своему характеру переходит к взаимному перемещению твердых тел. Величина n находится по углу наклона кривой расходов в логарифмических координатах.

$$n = \frac{\lg \Delta V}{\lg \Delta P} \qquad (101)$$

Вместо величин ΔP и ΔV могут использоваться пропорциональные им величины напряжений и скорости сдвига.

4) Температурным коэффициентом K , оценивающим энергию активации вязкого течения. Чем больше K , тем сильнее влияние температуры на скорость течения, тем строже надо выдерживать постоянство температуры на формующем инструменте для соблюдения постоянства условий формования. Для нахождения величины K нужно проводить испытания при двух различных температурах и пользоваться формулами (87) и (88).

Рассмотренные закономерности не применимы к очень коротким каналам ($l/r < 4$), т.к. при $l \to 0$, согласно формулам (90) и (91) имеем $t \to 0$ и $\tau_0 \to \infty$, т.е. уравнение (92) становится неопределенным. Неопределенность может быть раскрыта, если учитывать длину входной воронки, образующейся в расплаве перед входом в канал. Очевидно, что при очень малых значениях l , основную роль должна

играть эта входная воронка и течение не должно зависеть от длины канала. Опыты подтверждают это положение. Это значит , что понятие напряжения сдвига у стенки очень короткого канала утрачивает смысл. В этих случаях правомерно относить действующую на расплав силу к длине периметра поперечного сечения канала, т.е. вместо напряжения сдвига τ_0 применять удельное усилие сдвига на периметре канала $\sigma_{вп}$, пользуясь соотношением

$$\sigma_{вп} \cdot \Pi_{вп} = \Delta P_{вп} \cdot f_{вп} \qquad (102)$$

На основании экспериментальных исследований течения расплавов в коротких впусках ($\ell/r < 2$) литниковых систем установлено следующее соотношение, инвариантное относительно размеров впуска

$$\frac{\sigma_{вп}}{\gamma'_{вп}} = Const \qquad (103)$$

где: $\gamma'_{вп}$ - условная скорость сдвига у стенки впуска, рассчитываемая по формуле (86) с использованием понятия эквивалентного радиуса, вычисляемого по формуле (89).

Каналы в формующем инструменте часто имеют повороты, сужения и расширения. В отношении роли поворотов экспериментальные исследования дают однозначный ответ. Дополнительные потери давления на поворотах, практически, отсутствуют, поэтому при расчетах каналов поворотами можно пренебрегать. За расчетную длину канала с поворотами нужно принимать длину его оси с учетом скруглений на углах, образующихся в результате изгиба потока, как стержня с постоянным по длине сечением. Остающиеся на поворотах участки канала за пределами стержня образуют застойные зоны, расплав в которых неподвижен, или слегка циркулирует под влиянием стержневого потока. Очевидно, что напряжения сдвига на поверхности циркулирующего расплава, ответственные за перепад давления

по длине потока, будут несколько ниже по сравнению с напряжениями сдвига на неподвижных стенках. Из-за этого возможны случаи, когда потери давления на поворотах (отнесенные к длине оси) меньше , чем на прямолинейных участках той же длины.

Сужения и расширения в каналах бывают плавными и ступенчатыми. Уравнения (87) и (92) рассматривались с учетом входовых явлений на ступенчатом переходе от широкой полости к узкому каналу, характеризуемых входовыми потерями давления. Отмечалось, что у входа в канал расплав образует входную воронку, форма и размеры которой зависят от свойств расплава и скорости течения. На рис.82 показана типичная для расплавов полимерных материалов форма входной воронки с углом входа α .Стенки входной полости, располагающиеся за входной воронкой,не могут влиять на величину входовых

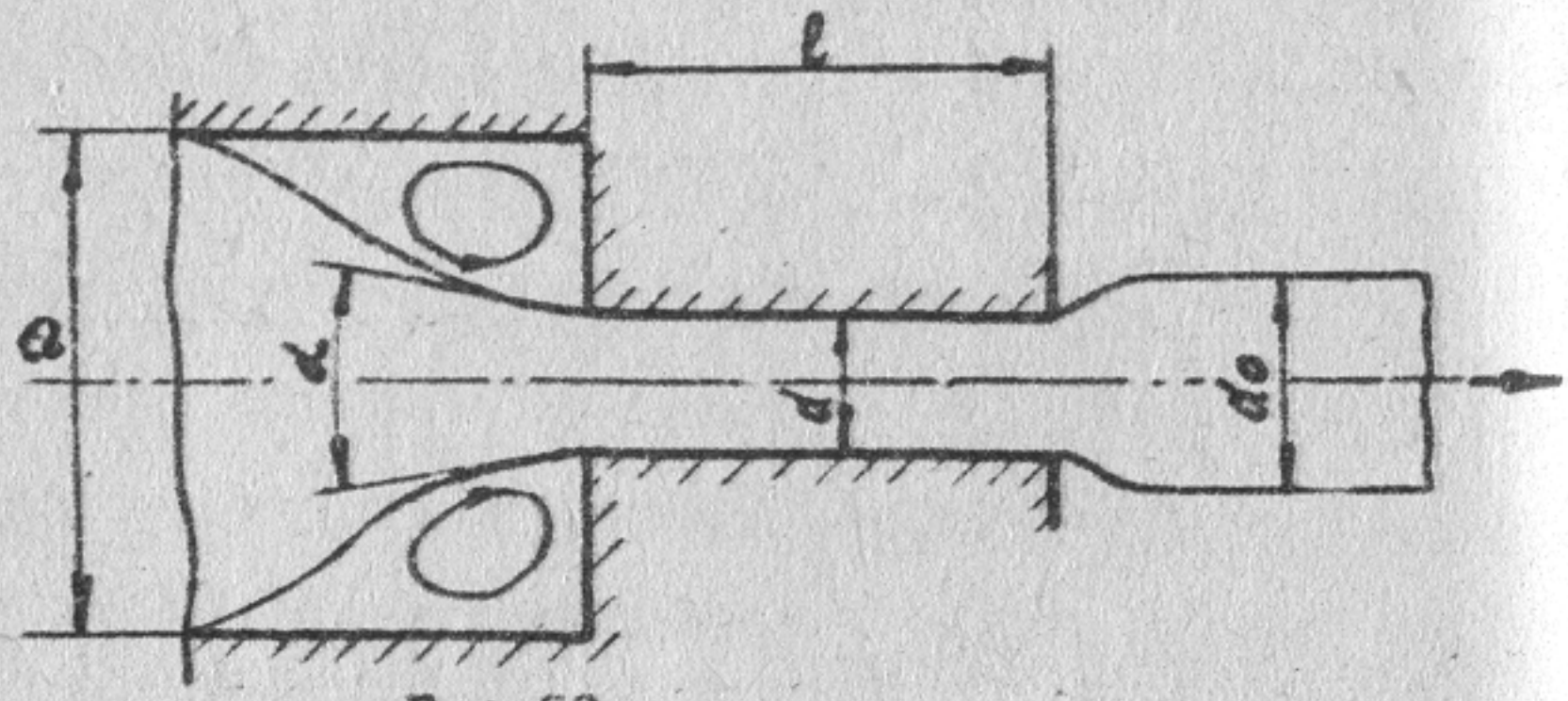


Рис.82

потерь. Для большинства расплавов α больше 30^0, поэтому изменение угла входа в канал от 180^0 до 30^0 не отражается на величине входовых потерь. При угле входа меньше 30^0 потери давления возрастают и такой переход следует относить к плавным переходам. Согласно имеющимся экспериментальным данным входовые потери на ступенчатом сужении не зависят от отношения D/d при $D/d > 3$.

Течение в расширяющихся каналах мало изучено. Если в сужающихся каналах возникают дополнительные затраты энергии на пре-

образование широкого потока в узкий, то в расширяющихся каналах, наоборот, узкий поток преобразуется в широкий и энергия, ранее затраченная на сужение потока, высвобождается. Наглядно это проявляется в виде разбухания потока на выходе расплава из канала в атмосферу, как показано на рис. 82. Кинетическая энергия потока несоизмеримо мала с энергией, затрачиваемой на вязкое трение и на упругое деформирование. Обратимость последнего определяет все особенности течения в расширяющихся каналах. Расширение канала в пределах величины разбухания потока, независимо от плавности расширения, создает благоприятные условия течению и потери энергии заметно сокращаются по сравнению с течением в стационарном режиме. На ступенчатом расширении канала, превышающем величину разбухания, поток изгибается и упругая энергия не реализуется, более того, возникают дополнительные затраты энергии на перестройку потоков, которые могут достигать и превышать входовые потери. Плавное расширение канала сильно снижает эти потери. Учесть их расчетным путем не представляется возможным.

При течении расплава с большими скоростями нарушается плавность потока, но это не имеет ничего общего с турбулентностью, наблюдающейся при течении обычных жидкостей. Вследствие высокой вязкости расплавов числа Рейнольдца при их течении в каналах формующего инструмента не превышают нескольких единиц, поэтому возникающие в потоке возмущения связаны не с кинетической энергией потока, а с другими факторами, действующими на переходных участках каналов. Плавность переходов всегда противодействует появлению возмущений, или смягчает их проявление.

Высокоэластические деформации в расплаве наблюдаются по разбуханию потока на выходе из канала. Чем короче канал и выше скорость течения, тем больше величина разбухания, количественно

оцениваемая коэффициентом разбухания a, равным отношению диаметров d_0/d, указанных на рис.82. На рис.83 представлены типичные для расплавов полимерных материалов графики зависимости коэффициента разбухания от логарифма времени течения t, рассчитанного по формуле (90), для двух каналов разной длины l_1 и l_2.

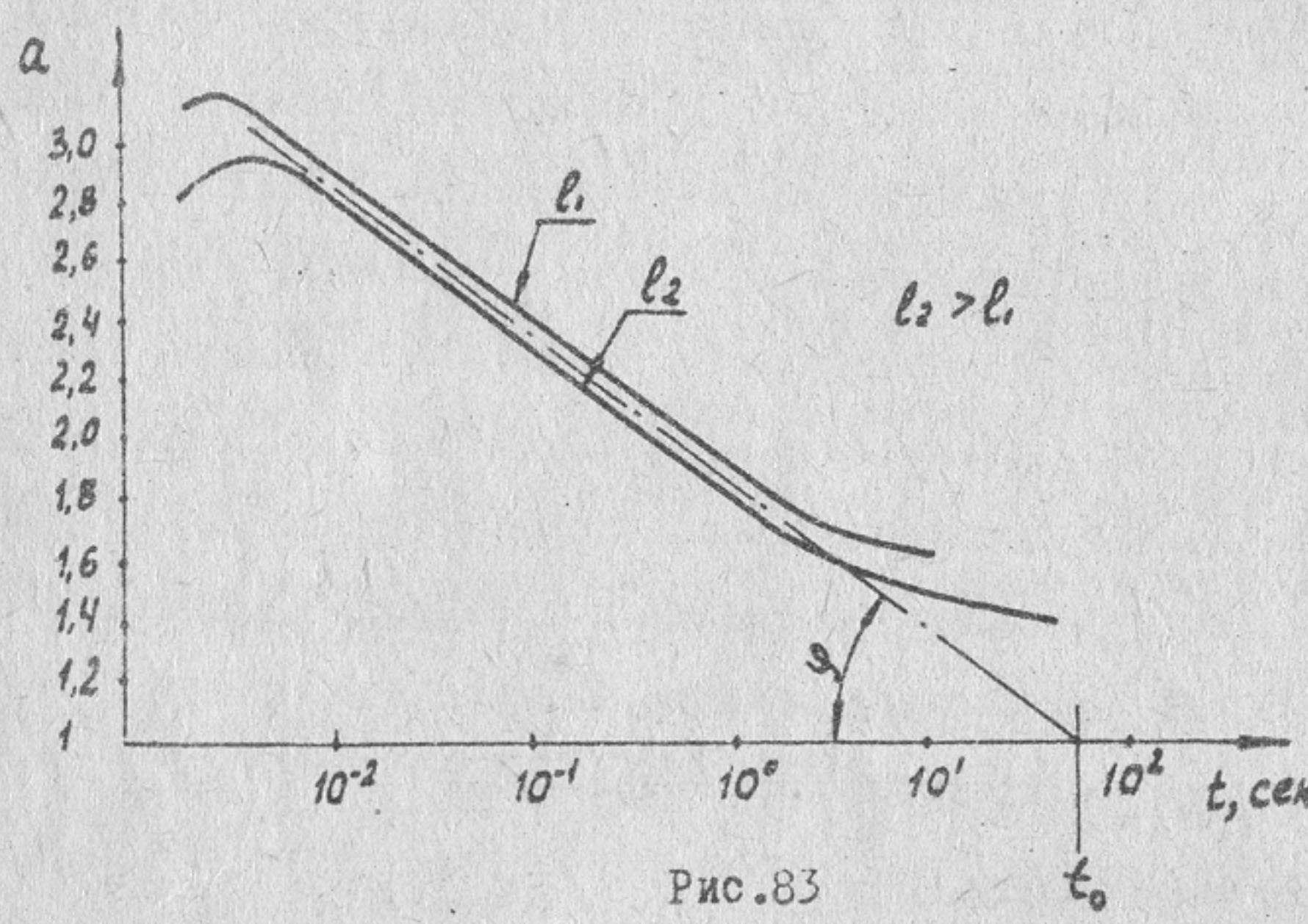


Рис.83

В середине кривых четко вырисовываются прямолинейные участки, весьма близкие друг к другу. Апроксимируя эти участки общей прямой линией, можно написать уравнение для коэффициента разбухания, инвариантное относительно размеров канала, в виде

$$a = 1 + a_0 \cdot \lg \frac{t_0}{t} \qquad (104)$$

в котором a_0 и t_0 представляют собой постоянные величины, не зависящие от размеров канала, имеющие разные значения для разных материалов и изменяющиеся с изменением температуры расплава.

Наибольший интерес представляет безразмерный коэффициент a_0. Геометрически он равен тангенсу угла наклона прямых участков ($a_0 = \operatorname{tg}\varphi$), поэтому он представляет собой строгую физическую характеристику расплава, не зависящую от размеров канала, т.е. ве-

личиной a_0 можно количественно оценивать высокоэластические свойства расплавов. Чем больше a_0, тем больше разбухание и, следовательно, выше высокоэластические свойства расплава.

Величина t_0 с размерностью времени геометрически определяется точкой пересечения продолжения прямолинейного участка с горизонтальной прямой $a = I$, а физически представляет собой релаксационную характеристику расплава.

Справа экспериментальные кривые стремятся к горизонтальным прямым, соответствующим выходу на стационарный режим течения, когда величина разбухания становится постоянной, независящей от длительности течения.

Слева на кривых имеется максимум разбухания, при котором нарушается плавность потока, т.е. появляются неровности на поверхности выходящего из канала расплава, затрудняющие измерение величины разбухания. Чем дальше влево от максимума, тем меньше разбухание и больше дефекты в расплаве. При очень больших скоростях течения (при очень малых значениях t) течение может стать прерывистым. Положение максимума резко смещается влево в каналах, имеющих скругления на входе.

Изложенные представления о течении расплавов в каналах формующего инструмента не претендуют на безукоризненную строгость и полноту, но они полностью согласуются с имеющимися экспериментальными данными и правильно ориентируют при выборе тех, или иных конструктивных решений, обеспечивая возможность выполнения приближенных расчетов.

4.2. Реологические расчеты.

Расчеты, связанные с течением и деформированием перерабатываемого материала, называют реологическими. Значение их в разных

способах формования различно. Так при прессовании реактопластов нет особой необходимости в таких расчетах, поэтому ограничиваются простейшим расчетом потребного усилия прессования с использованием имеющихся практических данных о необходимых для оформления изделий удельных давлений. Практиков такой подход устраивает. Однако, дальнейшее развитие процессов прессования потребует научных обоснований применяемых удельных давлений и особенно скоростей формования на базе соответствующих реологических закономерностей.

В процессах формования изделий из заготовок потребность в реологических расчетах чувствуется более наглядно. Изгиб и вытяжку заготовки стремятся провести так, чтобы изделие получилось с нужными размерами по толщине и требующимися механическими свойствами отформованного материала. Эмпирическая отработка этих вопросов весьма трудоемка и не всегда приводит к оптимальным решениям, поэтому работы по созданию соответствующих методов расчета весьма актуальны.

В процессах литья и экструзии наиболее полно проявляются реологические свойства полимерных материалов, поэтому для этих процессов реология расплавов можно считать научной основой. Реологические расчеты отдельных стадий формования являются основными технологическими расчетами, позволяющими на стадии конструирования находить оптимальные решения, или проверять принятые решения не прибегая к трудоемким, дорогостоящим экспериментальным отработкам конструкций.

4.2.1. Расчет литниковых систем.

Литниковая система литьевой формы предназначается для впрыска расплава из сопла литьевой машины в формующую полость.

чтобы обеспечить впрыск под действием развиваемого машиной давления, литниковые каналы должны иметь достаточно большое сечение. С целью экономии материала на литниках эти сечения стремятся сделать минимальными. Путем расчета находится оптимальное решение. Формующие полости на крупногабаритные тонкостенные изделия не удается заполнить расплавом через один впуск. Путем расчета находится минимальное число необходимых впусков. Возможность и целесообразность перестановки литьевой формы с одной машины на другую может быть выявлена путем расчета литниковой системы. Имеются и другие задачи, решение которых базируется на расчете литниковой системы.

Для выполнения расчета нет необходимости знать кинетику заполнения формующей полости расплавом. Достаточно показать, что в самый ответственный момент, когда сопротивление течению максимально, машина способна преодолеть его. Такой момент при впрыске бывает тогда, когда расплавом заполняются самые удаленные от впусков участки. Последующая за впрыском стадия подпитки является весьма ответственной за качество изделий, но она не может браться за основу при расчете литниковой системы, поскольку на этой стадии требуются заведомо меньшие давления, чем при впрыске.

В общем виде схема рассчитываемой литниковой системы представлена на рис.84. Давление P, создаваемое поршнем литьевой машины, расходуется на преодоление сопротивления течению в каналах, относящихся к литьевой машине $\Delta P_м$, сопротивления течению в каналах центрального литника $\Delta P_ц$, разводящего литника $\Delta P_р$, впускного литника $\Delta P_{вп}$ и сопротивления в формующей полости $\Delta P_ф$. Математически это условие запишется следующим неравенством

$$P > \Delta P_м + \Delta P_ц + \Delta P_р + \Delta P_{вп} + \Delta P_ф \qquad (105)$$

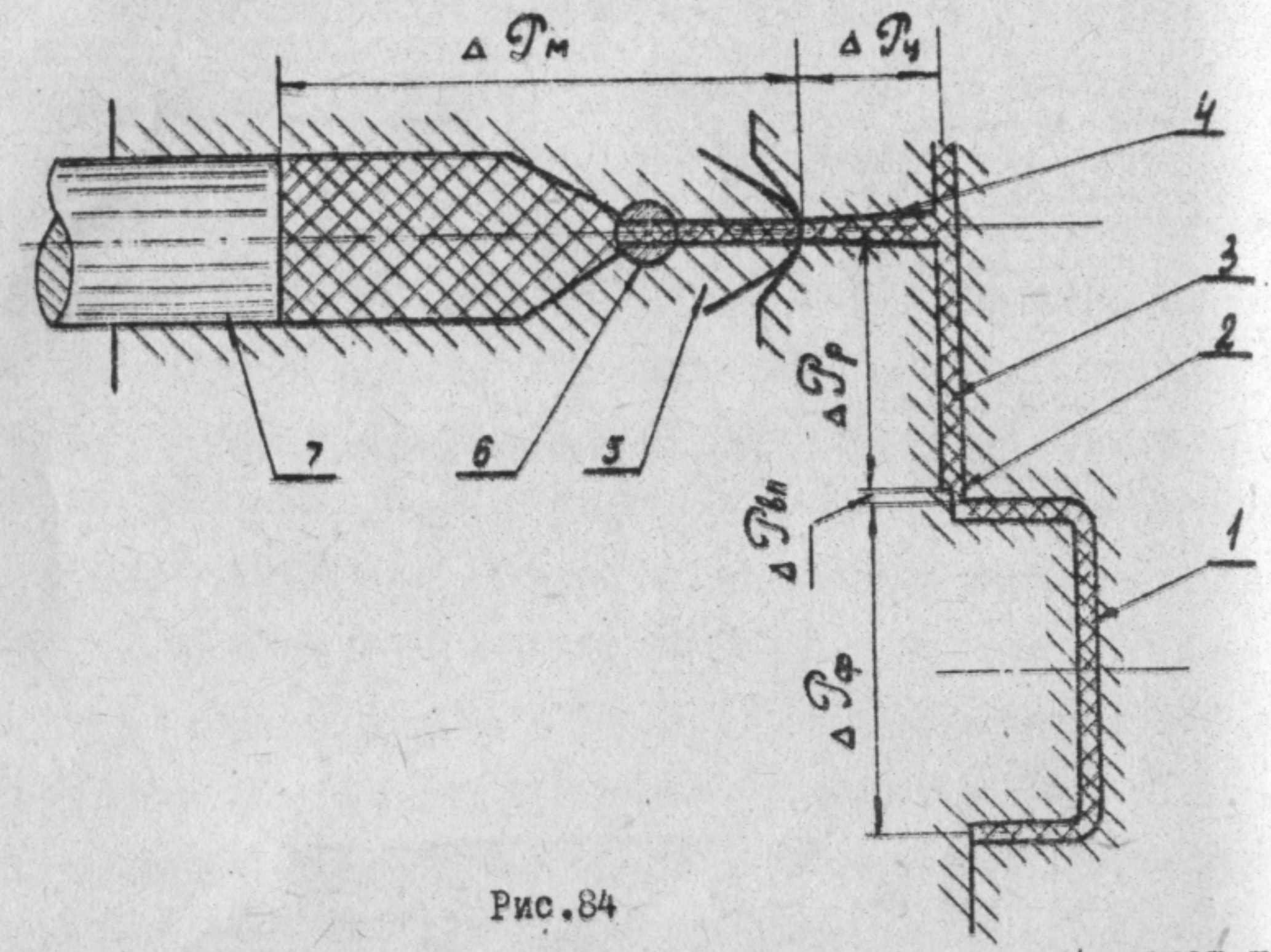


Рис.84

I-изделие; 2-впускной канал; 3-разводящий канал; 4-канал центрального литника; 5-сопло литьевой машины; 6-запорное устройство; 7-поршень литьевой машины.

Из пяти слагаемых в правой части написанного неравенства четыре относятся к литниковой системе. Каждое из них зависит от соответствующих геометрических размеров, поэтому возможны многочисленные варианты для выполнения уравнения (I05). Представляется целесообразным проводить расчет как поверочный, задавшись заранее размерами литниковых каналов на основании имеющихся практических данных и различных конструктивных соображений. По этим размерам рассчитывают величины сопротивлений течению на указанных участках литниковой системы при заданной температуре литья и скоростях течения, создаваемых машиной.

Сопротивление течению в канале центрального литника рассчитывается согласно (84) по формуле

$$\Delta P_ц = \frac{2 \cdot l_ц \cdot \varepsilon_и}{r_ц} \qquad (I06)$$

где: $l_э$ - длина канала;

$r_э$ - среднее значение радиуса канала;

τ_w - напряжение сдвига на стенке канала, определяемое по кривой течения, полученной при температуре литья. Напряжение берется при скорости сдвига, рассчитанной по формуле (86), в которой Q принимается согласно характеристике литьевой машины.

Расчет по среднему радиусу конусного отверстия дает некоторую ошибку, с которой можно мириться, поскольку потери в канале центрального литника составляют сравнительно небольшую долю от суммарных потерь в литниковой системе.

Используемые для расчета кривые течения обычно представляются в координатах $\lg \tau_w - \lg \gamma$. Если при построении кривых использовалась поправка Рабиновича, то для вычисления γ вместо указанной формулы (86) берут формулу (85). Если кривые строились без учета входовых потерь, то в результате расчета получится завышенное значение ΔP_y.

Сопротивление течению в разводящем канале рассчитывается по формуле

$$\Delta P_р = \frac{2 \cdot l_р \cdot \tau_w}{r_э} \qquad (107)$$

в которой: $l_р$ - длина разводящего канала;

$r_э$ - эквивалентный радиус разводящего канала, рассчитываемый по формуле (89);

τ_w определяется также по кривой течения. В отличие от предыдущего расчета здесь при расчете скорости сдвига расход Q принимают с учетом разветвлений на разводящем канале. Если на пути от центрального канала до впуска имеются ответвления, то рассчитывают раздельно участки между ответвлениями, поскольку расходы для них будут различны, и затем суммируют сопротивление всех участков.

Сопротивление во впусках рассчитывают, согласно (I02), по формуле

$$\Delta P_{в} = \frac{П_{в} \cdot \tau_{в}}{f_{в}} \qquad (I08)$$

где: $П_{в}$ и $f_{в}$ - длина периметра и площадь сечения впуска принимаются по предварительно принятым размерам;

$\tau_{в}$ - удельное усилие сдвига на стенках впусках берется по экспериментальным данным, полученным при температуре литья и представляемым в виде графиков $\lg \tau_{в} - \lg \dot{\gamma}_{в}$. Условную скорость сдвига $\dot{\gamma}_{в}$, по которой выбирается $\tau_{в}$, рассчитывают по формуле (86), принимая величину расхода Q во впуске с учетом неодновременности заполнения формующих полостей.

Сопротивление в формующей полости рассчитывают по формуле (5), представляемой в виде

$$\Delta P_{ф} = \frac{2 \cdot L \cdot \tau_{т}}{\delta \left(1 - \sqrt{\frac{\tau_{в}}{\tau_{т}}}\right)} \qquad (I09)$$

где: L - длина кратчайшего пути для расплава от впуска до наиболее удаленной точки формующей полости;

δ - высота формующей полости принимается равной толщине изделия;

$\tau_{т}$ - предельное напряжение сдвига на смачиваемой поверхности формующей полости берется по результатам опытов на литьевой форме со спиральным каналом;

$\tau_{в}$ - длительность впрыска расплава в оформляющую полость определяется по объемной скорости впрыска с учетом числа одновременно заполняемых полостей;

$\tau_{охл}$ - длительность охлаждения изделия.

Для преодоления всех рассчитанных сопротивлений в литьевой форме машина должна развивать на выходе из сопла достаточную для

впрыска мощность $N_{вп}$, вычисляемую по формуле

$$N_{вп} = \Delta P_у \cdot Q_у + \sum \Delta P_р \cdot Q_р + \sum \Delta P_{вп} \cdot Q_{вп} + \sum \Delta P_ф \cdot Q_ф \quad (110)$$

В литьевой форме с уравновешенной литниковой системой все полости формы заполняются одновременно, поэтому уравнение для мощности впрыска упрощается

$$N_{вп} = Q_у (\Delta P_у + \Delta P_р + \Delta P_{вп} + \Delta P_ф) \quad (111)$$

В паспортных характеристиках литьевых машин мощность впрыска не указывается. Ее определяют путем замера расхода Q и эффективного давления расплава за соплом $\Delta P_э$ на специальном литьевом блоке при разных сопротивлениях течению, создаваемых сменными каналами. В результате таких измерений получают инжекционную характеристику в виде прямой, изображенной на рис.85 сплошной жирной линией. При свободном выдавливании расплава в атмосферу ($\Delta P_э = 0$) замеряется максимальная скорость впрыска Q_{max}. При закрытом выходе для расплава ($Q = 0$) замеряется максимальное давление за соплом ΔP_{max}

Рис.85

Для расчетов по уравнениям (II0) и (III) вообще можно брать любую точку на инжекционной характеристике. Произведение координат в каждой точке характеристики дает реализуемую за соплом машины мощность впрыска. Каждая конкретная литьевая форма работает при значениях Q и ΔP_y, определяемых величиной сопротивления течению, создаваемого в каналах формы. Чем больше это сопротивление, тем правее располагается точка и тем меньше скорость впрыска, а мощность впрыска при этом будет возрастать, или падать, в зависимости от угла наклона прямой A-B и от места расположения точки. Для увеличения скорости впрыска нужно уменьшать сопротивление формы, однако, это невыгодно из-за увеличения расхода материала на литники. Чтобы эффективнее использовать машину, расчет следует вести по той точке характеристики, в которой реализуется максимальная мощность впрыска, а более мягкие режимы литья, если в них будет необходимость, смогут быть получены путем регулирования параметров литья. Для нахождения этой точки воспользуемся уравнением прямой на рис.85

$$Q = A - \frac{A}{B} \cdot \Delta P_y \qquad (II2)$$

Мощность впрыска выразим через величину ΔP_y, подставив из уравнения (II2) значение Q

$$N_{вп} = Q \cdot \Delta P_y = A \cdot \Delta P_y - \frac{A}{B} \cdot \Delta P_y^2 \qquad (II3)$$

Анализируя уравнение (II3) на максимум, найдем

$$N_{вп\,max} = \frac{1}{4} A \cdot B \text{ в точке } Q = \frac{1}{2} A;\ \Delta P_y = \frac{1}{2} B \qquad (II4)$$

По углу наклона инжекционной характеристики φ судят о технических возможностях привода узла инжекции. При малых значениях угла φ мощность впрыска растет с повышением давления литья так, что максимум $N_{вп}$ проявляется за точкой $в$, т.е. за пределами реальной характеристики машины. Для расчета берется точка $в$.

При больших значениях угла φ мощность впрыска имеет максимальное значение в точке a и с повышением давления литья уменьшается. Для расчета берется точка a .

Отсутствие экспериментальной инжекционной характеристики вынуждает пользоваться паспортными данными для величин P и Q , которые могут не соответствовать реальным значениям этих величин из-за износа деталей машины, плохой регулировки ее и других подобных причин. Одновременно приходится ориентировочно оценивать потери давления в самой машине $\Delta P_м$. На основании практических данных рекомендуется принимать $\Delta P_м \simeq 0{,}65P$ для поршневых литьевых машин и $\Delta P_м = 0{,}5P$ для машин со шнековым пластификатором. Перечисленные допущения не позволяют гарантировать надежную работоспособность рассчитываемой формы на предназначенной для нее машине. Однако, расчеты в этом случае полезны, поскольку дают возможность выявить соответствие между проектируемой формой и используемой машиной, если последняя находится в удовлетворительном состоянии.

С помощью уравнений (II0) и (III) судят о соответствии между принятой литниковой системой и инжекционной характеристикой машины. Сопоставляя между собой потери давления на отдельных участках формы , вносят необходимые коррективы в ее конструкцию. Так, например, при очень больших потерях в формующей полости принимается решение о дополнительных впусках. В многогнездных формах с длинными разводящими литниковыми каналами рассматриваются различные варианты подвода расплава к гнездам с целью сокращения потерь давления и т.д. Разумеется, что анализ литниковой системы проводится с учетом практических рекомендаций по соотношению размеров сопоставляемых литниковых каналов. Не следует, например, стремиться к уменьшению потерь во впусках, поскольку

они полезны с точки зрения улучшения процесса заполнения формующей полости вследствие дополнительного разогрева расплава.

4.2.2. Расчет экструзионных головок.

В экструзионных головках расчетным путем решают три основных задачи. Во-первых, рассчитывают сопротивление течению расплава через головку. Эта задача наименее ответственная. Как правило сопротивление головок невелико и для улучшения работы червяка экструдера создают дополнительное сопротивление с помощью сеток, устанавливаемых на решётку у входа в головку.

Вторая задача, наиболее ответственная из всех трех, заключается в том, чтобы путем расчета найти такие размеры для каналов головки, которые обеспечивали бы равномерное выдавливание расплава по всему сечению формующей щели.

И третья задача состоит в том, чтобы найти размеры поперечного сечения формующей щели по заданным размерам поперечного сечения изделия.

I) При решении первой задачи принимается, что основное сопротивление течению расплава через головку создается в формующей щели, где происходит одноосное течение со скоростями, одинаковыми во всех точках поперечного сечения. Вычисляются потери давления ΔP по следующей формуле, вытекающей из уравнения (92)

$$\Delta P = \frac{f_б}{f_0} \cdot \sqrt[n]{C \cdot \frac{v}{\ell}} \qquad (115)$$

где: $f_б$ – площадь боковой (смачиваемой) поверхности формующей щели;

f_0 – площадь поперечного сечения ее;

ℓ – длина ее;

v – средняя линейная скорость течения расплава в формующей щели;

C - реологическая характеристика расплава при температуре экструзии для предстационарной стадии течения. Она рассчитывается по результатам опытов со скоростями течения, близкими к скоростям течения при экструзии, на любом капиллярном вискозиметре (например, по индексу расплава) с помощью уравнения (92).

2) Выравнивание скоростей течения по сечению фильеры осуществляют двумя способами. По первому способу отдельные участки фильеры делают разной длины. Участки, оформляющие толстые стенки изделия, удлиняют по сравнению с другими, где оформляются более тонкие стенки. Рассчитывают соотношение длин, обеспечивающих одинаковые скорости течения расплава для всех участков на выходе из фильеры. По второму способу принимается одна длина для всего сечения фильеры, а сопротивления течению выравнивают путем сужений и расширений у входа в нее на участках, оформляющих стенки разной толщины. Путем расчета находят необходимые для выравнивания скорости сужения и расширения. В головках на равнотолщинные изделия эти вопросы не возникают, если габариты сечения изделия соизмеримы с диаметром червяка у экструдера. В головках на крупногабаритные изделия (щелевые головки) задача по выравниванию скоростей связана с конструкцией каналов, подводящих расплав от цилиндра экструдера к фильере, поэтому они и подлежат расчету.

На рис. 86 дана расчетная схема по первому способу выравнивания скоростей течения. Для двух сопоставляемых участков, размеры которых обозначены с индексами I и 2, применение уравнения (92) дает

$$\tau_1^n \cdot t_1 = C ; \quad \tau_2^n \cdot t_2 = C ,$$

откуда $$\tau_1^n \cdot t_1 = \tau_2^n \cdot t_2 = Const .$$

Пользуясь формулами (90) и (93), найдем

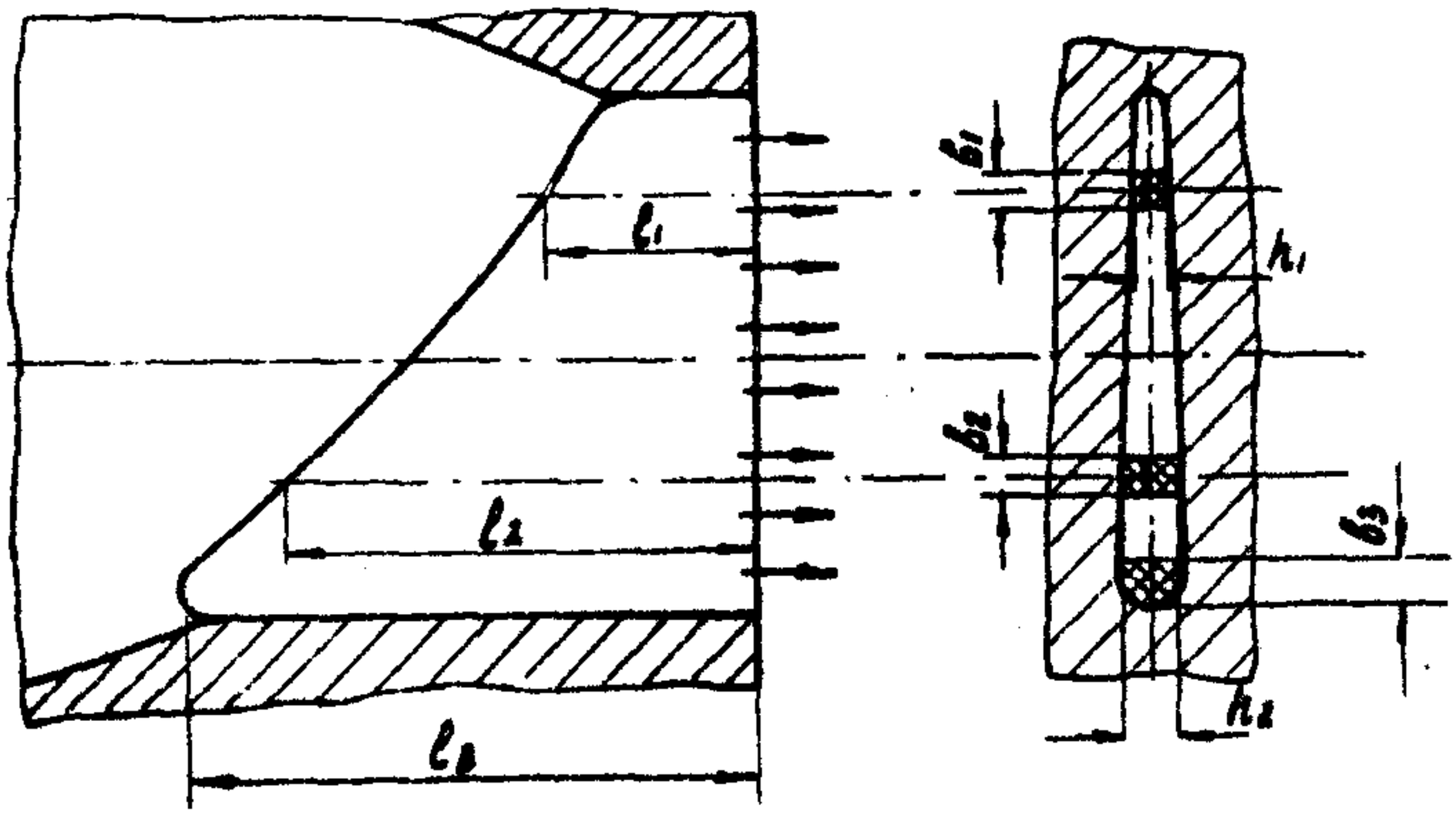


Рис.86

$$\frac{\Delta P_1'' \cdot f_{01}''}{f_{51}''} \cdot \frac{l_1}{v_1} = \frac{\Delta P_2'' \cdot f_{02}''}{f_{52}''} \cdot \frac{l_2}{v_2}$$

Величины f_0 и f_5 согласно рис.86 будут равны

$$f_0 = b \cdot h \quad \text{и} \quad f_5 = 2 \cdot b \cdot l$$

Сделав подстановки этих величин с соответствующими индексами в предыдущее уравнение, получим

$$\frac{\Delta P_1'' h_1''}{v_1 \cdot l_1^{n-1}} = \frac{\Delta P_2'' h_2''}{v_2 \cdot l_2^{n-1}}$$

При условии равенства скоростей $v_1 = v_2$ и перепадов давлений $\Delta P_1 = \Delta P_2$ они сокращаются и находится соотношение длин, обеспечивающее эти равенства

$$l_1 = l_2 \cdot \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^{n-1} \qquad \text{(II6)}$$

Найденное соотношение длин сопоставляемых участков обеспечивает равные скорости течения на этих участках при равных перепадах давлений на них, если пренебречь возможными поперечными перетеканичми расплава. Опасность таких перетеканий уменьшается

с увеличением n и при уменьшении отношения h_1/h_2 . Для предотвращения их иногда у входа в фильеру предусматривают разделительные перегородки.

Сопоставлявшиеся участки удалены от краев, поэтому влияние последних на течение не учитывалось. Путем сопоставления их с краевым участком, например, с участком δ_3 , имеющим большую смоченную поверхность, будет найдена некоторал средняя длина приотенного участка ℓ_3 .

На рис.87 дана расчетная схема по второму способу выравнивания скоростей течения. Фильера имеет одну длину ℓ по всему

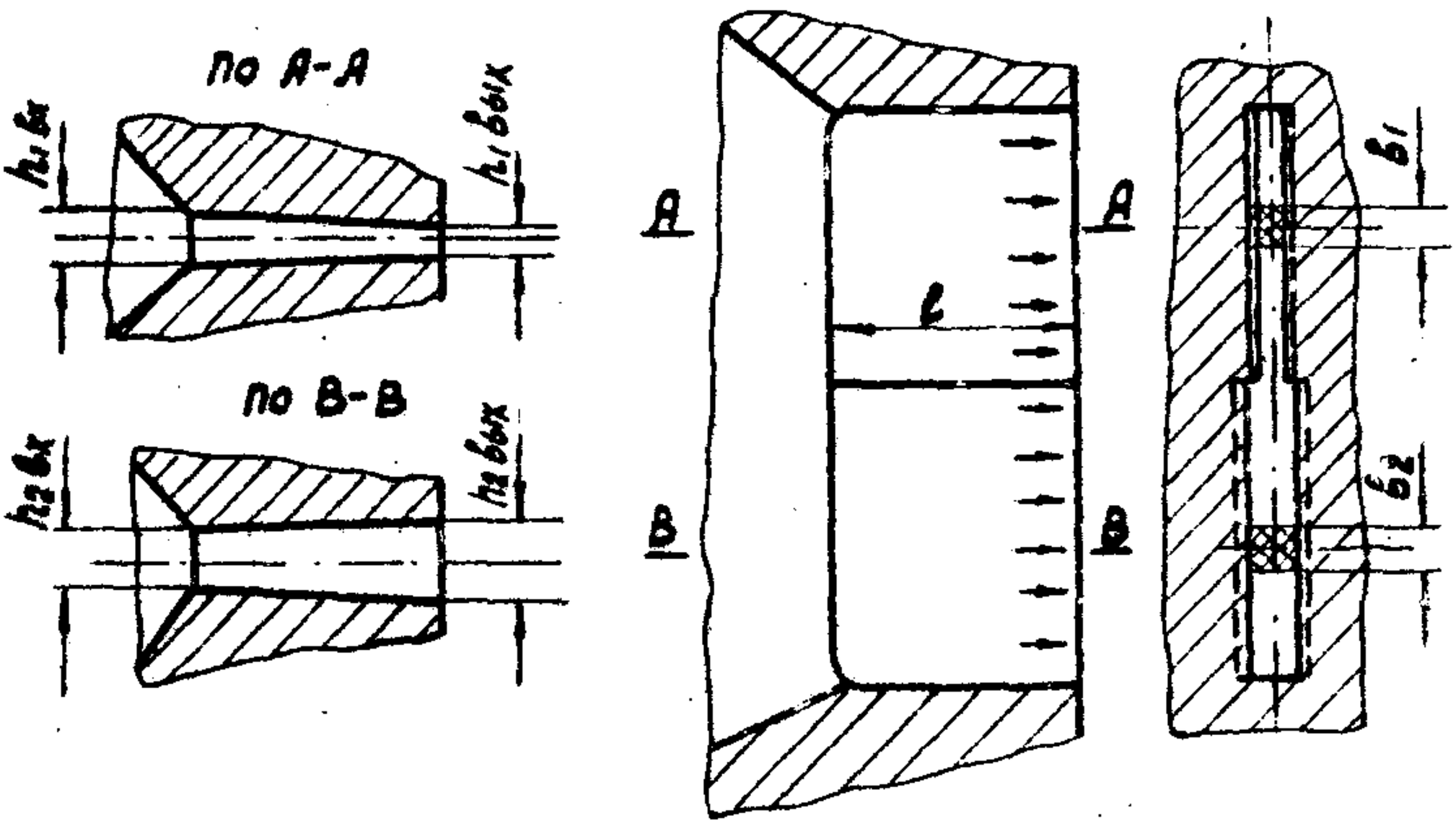


Рис.87

сечению, а скорости выравнивают изменением высот на входе. Таким образом, тонкая стенка формуется в сужающемся канале, а толстая - в расширяющемся. Поскольку углы между образующими каналов малы и длина их сравнительно невелика, то, как показывают опыты, применимо уравнение (92). При этом в формуле (93) величина λ рассчитывается по размерам на входе, а для вычисления ζ используется формула (94). Если провести рассуждения и преобразования, аналогичные предыдущим, приняв длину образующей равной ℓ , то

получится соотношение между высотами сопоставляемых участков с индексами I и 2, обеспечивающее равные скорости течения, в виде

$$h_{1вх} = h_{2вх} \cdot \sqrt[n]{\frac{a_2+1}{a_1+1}}$$

или

$$\frac{h_{1вых}}{h_{2вых}} = \frac{a_2}{a_1} \sqrt[n]{\frac{a_2+1}{a_1+1}} \qquad (II6)$$

где для сокращения записей введены следующие обозначения

$$a_1 = \frac{h_{1вх}}{h_{1вых}} \; ; \quad a_2 = \frac{h_{2вх}}{h_{2вых}}$$

Условие равенства скоростей (II6) содержит две независимые величины a_1 и a_2. Одна из этих величин может выбираться по усмотрению конструктора и тогда вторая должна иметь строго определенное значение a_2 находится из уравнения (II6) путем подбора.

5) Расчет размеров сечения фильеры по размерам сечения формуемого изделия выполняется с учетом двух основных факторов:

I- разбухания расплава на выходе из фильеры и 2- скорости отвода изделия от формующей головки.

На выходе расплава из фильеры, где он находился в напряженном состоянии сдвига, потоку расплава в условиях свободной экструзии предоставляется возможность отрелаксировать, т.е. принять форму, соответствующую равновесному состоянию. В результате поток расширяется (разбухает) во всех направлениях сечения за счет сокращения длины. По современным представлениям разбухание связывают с нормальными напряжениями в потоке, имеющими наибольшее значение в пристенном сильно деформированном слое, который по выходе потока из фильеры служит очагом развития разбухания. Происходит как бы вздутие поверхностного слоя. В направлении толщины двухстороннее вздутие прибавляется к толщине потока, а в направлении ширины оно прибавляется к большей по размеру ширине, поэтому относительное разбухание по толщине всегда превышает относительное разбухание по ширине.

При отводе изделия происходит вытягивание экструдата, оцениваемое коэффициентом вытяжки. Отличают истинное значение коэффициента вытяжки от расчетного. Для пояснения этих понятий на рис.88 показана схема вытяжки экструдата. Расплав после выхода

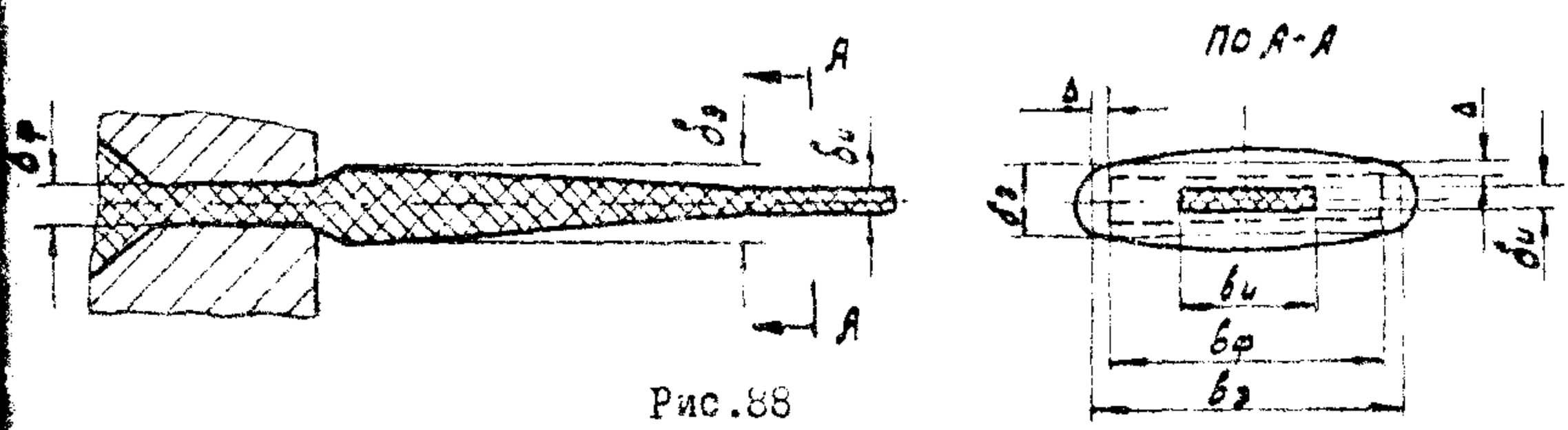


Рис.88

из фильеры высотой $\delta_ф$ при свободной экструзии разбухает до величины $\delta_э$ *), а затем его вытягивают до толщины изделия $\delta_и$. За расчетный коэффициент вытяжки по толщине изделия $K_б$ принимают отношение $\delta_ф/\delta_и$. За расчетный коэффициент вытяжки по ширине изделия $K_в$ принимают отношение ширины фильеры $b_ф$ к ширине изделия $b_и$. Истинное растяжение оценивается отношением размера экструдата к соответствующему размеру изделия, так по толщине это будет отношение $\delta_э/\delta_и$, а по ширине $b_э/b_и$. Опыты показывают, что значения истинных коэффициентов вытяжки по толщине и ширине близки друг к другу, т.е. $\delta_э/\delta_и \approx b_э/b_и$.

Таким образом, при вытяжке экструдата происходит одинаковое относительное уменьшение толщины и ширины экструдата при резком различии в относительном изменении соответствующих размеров в результате разбухания. Из-за этого необходимо принимать различные значения для расчетных коэффициентов вытяжки, т.е.

$b_ф/b_и > \delta_ф/\delta_и$; т.е. $K_в > K_б$

Количественная зависимость между $K_в$ и $K_б$ выводится при условии, что приращения размеров вследствие разбухания по толщине и ширине равны между собой, как показано на рис.88 (вид по А-А)

*) В расчетах принимаются средние значения размеров экструдата $\delta_э$ и $b_э$, как показано на рисунке тонкими линиями.

Равенство истинных коэффициентов вытяжки по толщине и ширидает $\frac{\delta_г}{\delta_и} = \frac{b_г}{b_и} = \frac{\delta_г + 2\cdot\Delta}{\delta_и} = \frac{b_г + 2\Delta}{b_и}$

Приняв обозначения $\beta = b_и/\delta_и$, $a' = \frac{2\cdot\Delta}{\delta_г}$ и выражая отношения $\frac{\delta_г}{\delta_и}$ и $\frac{b_г}{b_и}$ через расчетные коэффициенты вытяжки K_δ и $K_в$, можно показать путем алгебраических преобразований вышеприведенного равенства истинных коэффициентов вытяжки вывести следующее соотношение

$$K_в = K_\delta \cdot \left(1 + a' - \frac{a'}{\beta}\right) \qquad (117)$$

Величину a' называют коэффициентом разбухания по толщине изделия. Численно он несколько больше разности a -I, где a - коэффициент разбухания, определяемый на круглых каналах (см. уравнение (104). Чем больше β, тем меньше различия в сопоставляемых величинах. Сделав подстановку $a' = a$ -I в формулу (117), получим

$$K_в = K_\delta \cdot \left(a - \frac{a-1}{\beta}\right) \qquad (118)$$

Последняя формула очень удобна для расчетов, поскольку коэффициент разбухания a определен для многих материалов в широком диапазоне скоростей течения (или длительности течения), а величина допускаемой ошибки незначительна и легко контролируется.

На основании опытных данных принимают K_δ =I,I÷I,2. Коэффициент $K_в$, рассчитываемый по формуле (118), всегда будет больше K_δ. При β =I, $K_в = K_\delta$; а при $\beta \to \infty$, $K_в = a\cdot K_\delta$.

Для профильных изделий со сложным поперечным сечением вычисляют коэффициенты $K_в$ для разных участков, а затем рассчитывают значения $b_р$ для этих участков, пользуясь соотношением $b_р = K_в \cdot b_и$. Полученные таким расчетом размеры фильеры обеспечат возможность изготовления изделия с требующимися размерами поперечного сече-

ния, если принять скорость отвода, соответствующую взятым коэффициентам вытяжки. Вытягиванием экструдата нельзя устранить поверхностные неровности, возникшие при разбухании. Эти функции выполняет калибрующее устройство.



4.3. Особенности тепловых расчетов.

От температурных условий процессов формования зависит качество изделий и производительность оборудования. Общая тенденция к повышению производительности обуславливает стремление применять на формующем инструменте высокие скорости нагрева и охлаждения, что не всегда благоприятствует повышению качества формуемых изделий. Поэтому температурные режимы не задаются однозначно, а регулируются в процессе работы и это определяет специфику тепловых расчетов, которые будут рассмотрены раздельно по каждому типу инструмента.

4.3.1. По пресс-формам.

Как правило, пресс-формы оснащаются терморегуляторами, отключающими и включающими электронагреватели в зависимости от уровня температуры. Нормальное терморегулирование обеспечивается правильным выбором мощности нагревателей, которая должна превышать примерно в полтора раза мощность, затрачиваемую на нагрев перерабатываемого материала и на компенсацию тепловых потерь. Установочную мощность рассчитывают по формуле

$$W_o = 1{,}5(W_м + W_п), \qquad (119)$$

где: $W_м$ - средняя мощность, необходимая для нагрева материала от температуры при загрузке до температуры пресс-формы. Она рассчитывается по количеству прессуемого в единицу времени материала без учета цикличности загру-

эки.

$W_п$ - мощность, необходимая для компенсации тепловых потерь от пресс-формы к деталям пресса и в окружающую атмосферу. Они рассчитываются применительно к условиям эксплуатации формы, с учетом теплоизоляции и режима работы. Длительные остановки формы в раскрытом состоянии и интенсивная обдувка воздухом значительно увеличивают тепловые потери.

Известно, что процесс отверждения реактопластов является экзотермическим. Однако, количество выделяющегося тепла невелико и в расчетах не учитывается.

По установочной мощности проверяют длительность периода разогрева пресс-формы перед прессованием путем составления теплового баланса на этот период, в которой учитывается выделяющееся нагревателями тепло, теплосодержание разогреваемой формы и тепловые потери. Последние рассчитываются так же как в период стационарной работы. Непостоянство температуры при этом учитывают коэффициентом 0,5.

Время разогрева массивных форм может оказаться слишком большим и практически неприемлемым, - тогда в конструкции предусматривают дополнительные нагреватели, включаемые только в период разогрева.

Периодические срабатывания терморегуляторов сопровождаются инерционными явлениями, приводящими к колебаниям температур. Чем больше запас установочной мощности, тем больше эти колебания. Кроме того, величина колебаний зависит от места расположения датчика терморегулятора относительно нагревателей и от принципа работы последних. Чем ближе датчик к месту выделения тепла, тем меньше тепловая инерция и чаще срабатывает термоpe-

гулятор, а температурные показания датчика больше превышают температуру на поверхностях формующей полости. Индукционные нагреватели создают наименьшие колебания температур, поскольку тепловыделение в них рассредотачивается по большой массе.

Явления тепловой инерции в пресс-формах количественно не рассчитывают, а стремятся устранить различными путями вредное влияние их. Развитие техники терморегулирования идет в направлении создания безинерционных систем. Вместо двухпозиционных терморегуляторов (включено, выключено) создаются так называемые "вентильные" системы, в которых по команде датчика плавно изменяется мощность нагревателя в нужном направлении и подводится к равновесному значению, при котором подводимая энергия равняется потребляемой.

Тепловой режим работы пресс-форм может усовершенствоваться также путем улучшения их теплоизоляции. Расчеты показывают, что большая часть энергии нагревателей расходуется на компенсацию тепловых потерь. Хорошая теплоизоляция дает экономию энергии и повышает равномерность температурных полей на формующих поверхностях, что способствует повышению качества изготавливаемых изделий. Изолирование боковых поверхностей организует более благоприятную направленность тепловых потоков, уменьшая влинние мест расположения нагревателей на равномерность температурных полей.

4.3.2. По литьевым формам.

Литьевые формы, как правило, охлаждаются холодной водой. Не всегда температура охлаждающей воды контролируется. При литье некоторых полимерных материалов (поликарбонат, полиамиды) формы охлаждают подогретыми жидкостями. Для всех случаев тепловые расчеты одинаковы.

Формуемый расплав начинает охлаждаться с начального момента заполнения формующей полости. Время охлаждения рассчитывают по приближенным формулам, представляющим собой первый член ряда в теоретическом решении задачи по охлаждению геометрически правильных тел. Для пластины расчетная формула имеет вид

$$\tau_{охл} = \frac{0{,}405}{a} \cdot \left(\frac{\delta}{2}\right)^2 \cdot \left(\ln 1{,}27 - \ln \frac{t_ц - t_ф}{t_н - t_ф}\right) \qquad (120)$$

где: $\tau_{охл}$ - время с начала охлаждения до того момента, когда температура в середине сечения изделия станет равной $t_ц$;

$t_н$ - начальная температура расплава;

$t_ф$ - температура формующей поверхности;

δ - толщина изделия;

a - коэффициент температуропроводности расплава.

Глубина охлаждения в приведенной формуле характеризуется выражением $\theta = \frac{t_ц - t_ф}{t_н - t_ф}$

Чем меньше величина θ , тем глубже охлаждается изделие.

Для ускорения расчетов по формуле (120) пользуются графиками в координатах $\lg\theta - \tau_{охл}$, которые при $a = Const$ и $\delta = Const$ представляют собой прямые линии.

Расчетное значение $\tau_{охл}$ может отличаться от принимаемого на практике времени охлаждения из-за неопределенности температуры $t_ц$, особенно для изделий с большой толщиной, на поверхности которых образуется твердая корка, позволяющая извлекать их из формы без повреждений, раньше, чем отвердеет середина сечения, т.е. при $t_ц$ выше температуры текучести отливаемого материала.

За время впрыска расплава в форму $\tau_{вп}$ на оформляющих поверхностях образуется застывший твердый слой толщиной Δ , для которой также применима формула (120) при $t_ц$, равной температуре текучести отливаемого материала. Отношение величины Δ к толщине изделия δ , выраженной по той же формуле при температуре

текучести, после соответствующих сокращений приводится к виду

$$\frac{\Delta}{\delta_{min}} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{\tau_{ch}}{\tau_{xn}}} \qquad (121)$$

Полученное соотношение используется для введения поправки в расчетную формулу (4), учитывающей застывание расплава во время впрыска.

Образующиеся пристенные твердые слои приводят к увеличению δ_{min} на $2\cdot\Delta$, т.е. вместо δ_{min} надо брать $\delta_{min}+2\cdot\Delta$. Подстановка значения Δ из соотношения (121) приводит к преобразованию формулы (4) в формулу (5).

Тепло поступает в охлаждаемую форму порциями с каждой отливкой, поэтому на протяжении цикла литья происходят колебания температур в стенках формы. Расчеты ведут по средним значениям температур и количества поступающего тепла. Тепловой поток q_c состоит из двух слагаемых: из тепла, выделяющегося вследствие трения q_{mp}, и тепла, поступающего с материалом $q_м$.

$$q_c = q_{mp} + q_м = \frac{Q_y}{\tau_y}\left[10^{-3}\cdot\Delta P_ф + C_м\cdot\rho\cdot(t_н - t_{uc})\right], \frac{кбм}{} \qquad (122)$$

где: Q_y – объем одной отливки, м^3;

τ_y – длительность цикла литья, сек;

$C_м$ – средняя теплоемкость перерабатываемого материала,

$t_н$ и t_{uc} начальная температура расплава, подаваемо.о в форму и средняя температура извлекаемого из формы изделия, соответственно, град;

$\Delta P_ф$ – перепад давления на литьевой форме, $н/м^2$:

Длительно работающая без охлаждения форма нагревается до температуры, при которой поступающее в форму тепло уравновесится теплоотводом от наружных поверхностей ее к окружающему воздуху, согласно следующему уравнению

$$\alpha_в\cdot F_n\cdot(t_n - t_в) = 1000\cdot q_c \qquad (123)$$

где: α - коэффициент теплоотдачи от поверхности формы к окружающему воздуху, вт/м^2.град;

F_n - площадь охлаждаемой поверхности формы, м^2;

t_n и $t_в$ - средняя температура поверхности формы и температура окружающей среды, соответственно, град.

Расчеты по уравнению (123) показывают, что значения t_n достигают таких величин, при которых работа на форме становится невозможной, поэтому, как правило, в литьевых формах предусматриваются каналы для охлаждения водой, или другой какой-либо жидкостью. От формы, размеров и расположения охлаждающих каналов зависит эффективность работы охлаждающей системы. На рис.89 показаны наиболее распространенные варианты конструктивных решений по охлаждающим каналам.

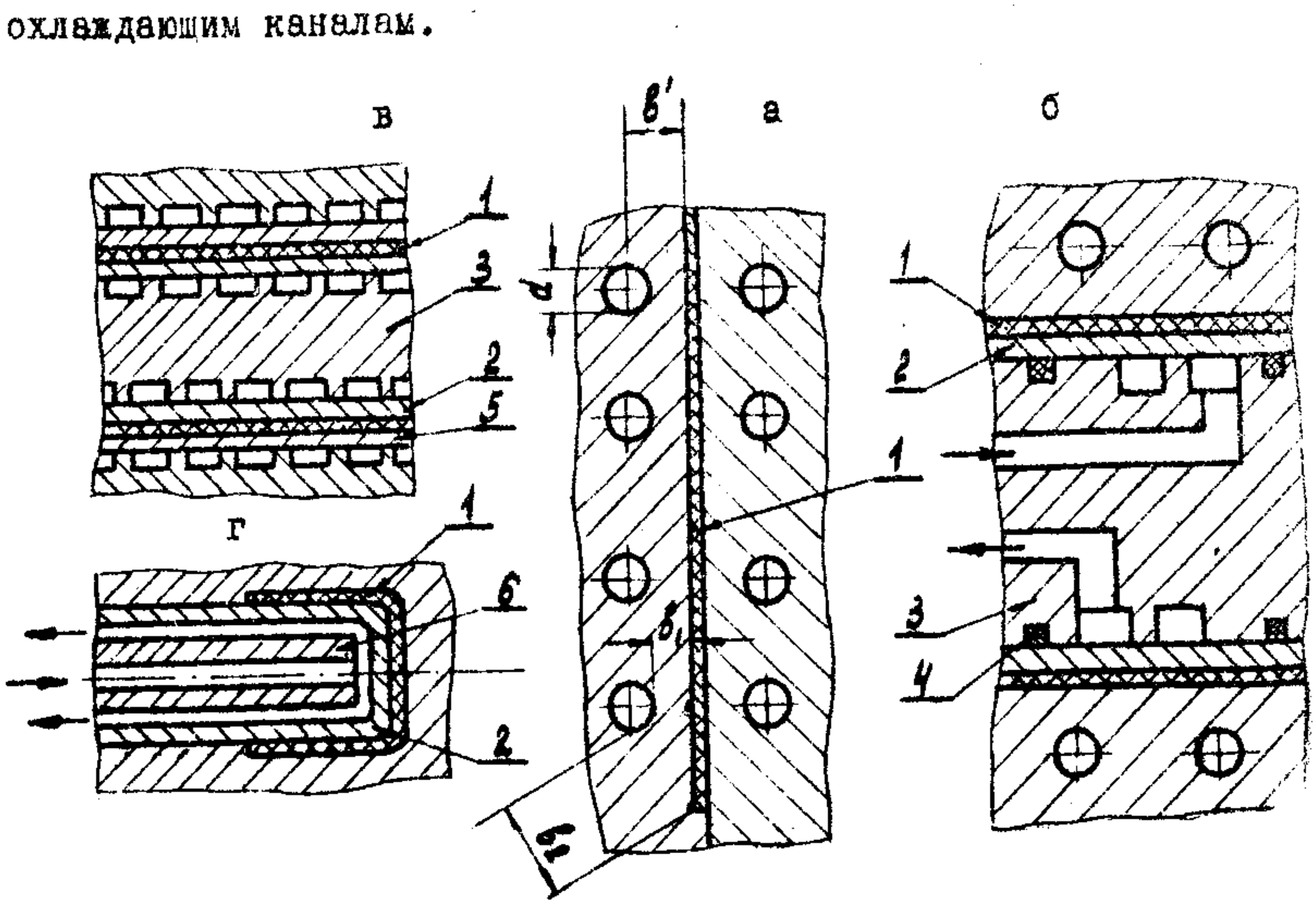


Рис.89

I-изделие; 2-пуансон; 3-вставок в пуансон; 4-уплотнение; 5-матрица; 6-трубка.

Самое простое и наиболее распространенное решение,- это система круглых сверленых отверстий (вариант "а"на рис.89). Каналы нельзя располагать очень близко к изделиям, а расстояние между ними не должно быть слишком большим, чтобы не было большой разности в расстояниях от отдельных точек изделия до охлаждающих поверхностей каналов. Удаление каналов от изделий снижает эффективность охлаждения, а приближение - приводит к неравномерному охлаждению. Это противоречие не удается удовлетворительно разрешить в формах на изделия сложной конфигурации. Приходится прибегать к более сложным конструктивным решениям.

Для цилиндрических изделий дают внутреннее охлаждение (вариант б) пуансона 2 с помощью вставка 3 с винтовыми каналами на внешней поверхности. Винтовые каналы иногда располагают и на внешней поверхности матрицы (вариант в). Хорошее охлаждение дает подвод воды во внутреннюю полость изделия по варианту 2.

Выбор конструктивного решения по системе охлаждающих каналов должен обосновываться количественно, расчетным путем. Первое, что подлежит расчету,- это площадь поперечного сечения охлаждающих каналов. Для этого сначала вычисляют расход охлаждающей жидкости G_*, по формуле

$$G_* = \frac{q_c}{c_* \cdot \Delta t_*} \qquad (124)$$

в которой: C_* - теплоемкость охлаждающей жидкости;

Δt_* - разность температур охлаждающей жидкости на выходе и входе в канал, принимаемая не более 2÷3°C, чтобы исключить неравномерное охлаждение.

По рассчитанному расходу G_* кг/час находится площадь поперечного сечения каналов

$$f_к = \frac{G_*}{360 \cdot \rho_* \cdot W}, \text{ см}^2 \qquad (125)$$

где: ρ_* - плотность охлаждающей жидкости, кг/дм^3;

w - скорость течения охлаждающей жидкости, м/сек, принимаемая равной ~ 0,5 м/сек.

Интенсивность охлаждения формы существенно влияет на качество изделий, причем это влияние проявляется неоднозначно, поэтому должна предусматриваться возможность регулирования режима охлаждения путем изменения скорости течения охлаждающей жидкости, или путем регулирования ее температуры на входе в каналы. Указанная выше расчетная скорость течения выбрана с учетом возможности регулирования ее в обоих направлениях. Если формула (125) дает неприемлемое для разрабатываемой конструкции значение $F_к$, то надо пересматривать величину расхода охлаждаемой жидкости, изменив, например, температурный перепад $\Delta t_ж$.

После обоснованного выбора площади сечения $F_к$ находят требующуюся длину охлаждающих каналов, основываясь на следующих соображениях. Оптимальные условия охлаждения создаются тогда, когда эффективная площадь поверхности охлаждающих каналов F_* равна площади поверхности охлаждаемых изделий, обращенной к охлаждающим каналам $F_ф$. Если охлаждающие каналы располагаются вблизи охлаждаемых поверхностей, как, например, по варианту "в" на рис.89, то автоматически получается равенство $F_* = F_ф$ и длина каналов не рассчитывается. Для круглых каналов, изготавливаемых сверлением, длина их рассчитывается из условия равенства $F_* = F_ф$.

Неравномерность охлаждения изделия ориентировочно контролируется по удаленности разных точек охлаждаемой поверхности от ближайшей поверхности охлаждающих каналов с помощью следующей формулы

$$\Delta t = \frac{q_c}{\lambda_ф \cdot F_ф} \cdot (b_2 - b_1), \qquad (126)$$

вытекающей из уравнения теплового баланса в предположении, что разность температур в сопоставляемых точках на поверхности

изделия Δt линейно зависит от разности ближайших расстояний δ_1 и δ, между этими точками и соответствующими точками на поверхности охлаждающих каналов (см.рис,89-а). Коэффициент теплопроводности материала формы $\lambda_ф$ и площадь поверхности охлаждаемых изделий $F_ф$ имеют постоянные, не изменяющиеся ни при каких регулировках, значения. Величина q_c изменяется при регулировании процесса литья. Таким образом, неравномерность охлаждения может измениться только с изменением интенсивности процесса, характеризуемой величиной q_c, т.е. ее можно уменьшить путем снижения q_c, применяя более низкую температуру литья и удлиняя цикл. Этот путь приводит к снижению производительности, поэтому нужную равномерность охлаждения достигают путем уменьшения разности $\delta_2 - \delta$, т.е. заранее, в процессе проектирования формы, принимают соответствующее конструктивное решение.

Вторая по важности задача заключается в том, чтобы обеспечить плавное регулирование температуры формы в нужном интервале. Совместное рассмотрение уравнения теплового баланса с уравнением теплопередачи приводит к следующей формуле для температуры на оформляющей поверхности формы $t_ф$

$$t_ф = t_ж + \frac{q_c}{\alpha_ж \cdot F_ж} + \frac{q_c \cdot \delta'}{\lambda_ф \cdot F_ф} \qquad (127)$$

где: $t_ж$ - средняя температура охлаждающей жидкости;

$\alpha_ж$ - коэффициент теплоотдачи от поверхности канала к охлаждающей жидкости;

δ' - среднее расстояние от оформляющей поверхности до поверхности охлаждающих каналов (см.рис.89-а).

Из формулы (127) видны два пути регулирования температуры формы. Первый путь - изменение средней температуры охлаждающей жидкости $t_ж$ и второй - изменение коэффициента теплоотдачи $\alpha_ж$, например, путем изменения скорости течения охлаждающей жидкости

по каналам. Первый путь реализуется независимо от конструкции литьевой формы и поэтому здесь не рассматривается. Регулирование температуры охлаждающей жидкости не исключает одновременного регулирования ее расхода, поэтому последнее должно предусматриваться во всех конструкциях форм.

С точки зрения регулирования температуры представляет интерес функция $t_\varphi = f(w)$, которую можно изобразить в виде графика, пользуясь формулой (127), путем подстановки в нее отдельных значений α_*, соответствующих заданным значениям w и определяемых по известным критериальным уравнениям, выражающим связь между α_* и w. Для ускорения построения таких графиков целесообразно сначала построить графики функций $\alpha_* = f(w)$. Образцы таких графиков, представленные на рис.90, построены для воды при темпера-

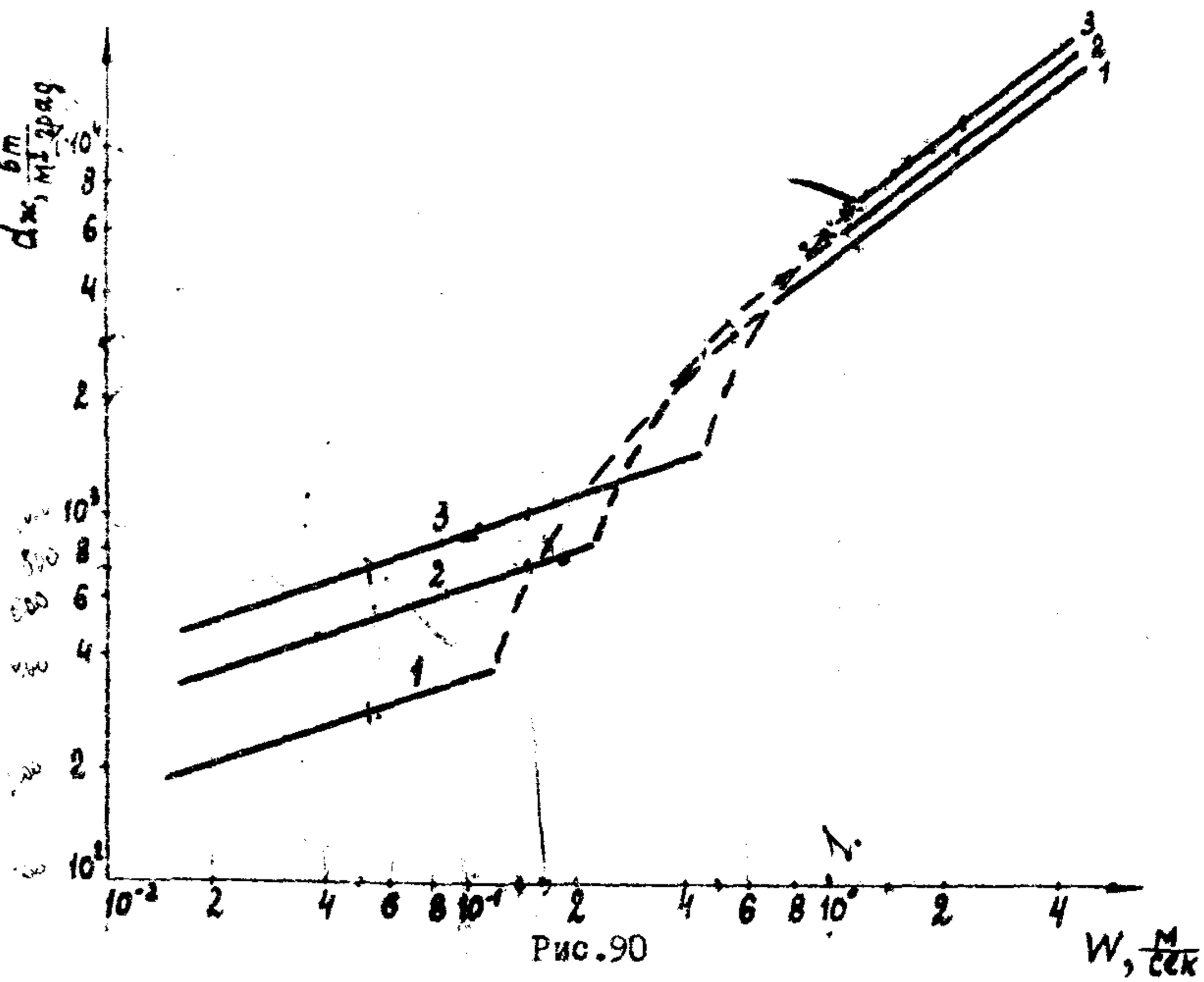


Рис.90

Размеры каналов: I-ø20мм; 2-ø10мм; 3-ø5мм.

туре ее $15^{0}C$ и температуре стенов канала $30^{0}C$. Нижние прямые участки относятся к ламинарным режимам течения, а верхние - к турбулентным. Крайние правые точки нижних прямых соответствуют числу Рейнольдца $Re = 2000$, а крайние левые точки верхних прямых $-Re=10^{4}$. Пунктирными линиями изображены переходные участки. Графики построены для круглых каналов. При другой форме поперечного сечения пользуются понятием эквивалентного диаметра $d_э$, рассчитываемого по формуле

$$d_э = \frac{4 \cdot f}{\Pi} \qquad (128)$$

где: f - площадь поперечного сечения канала;

Π - длина периметра поперечного сечения.

Для других температурных условий графики несколько изменятся. Температура стенок канала влияет очень слабо и этим влиянием можно пренебрегать, а с изменением температуры воды коэффициент изменяется сильнее и эти изменения можно учитывать поправочным коэффициентом "к", пользуясь теми же графиками. Согласно критериальным уравнениям для коэффициента теплоотдачи "коэффициент "к" может вычисляться по следующей формуле

$$K = \left(\frac{\nu}{\nu'}\right)^{0,3x} \qquad (129)$$

где: ν - кинематическая вязкость воды при $15^{0}C$;

ν' - кинематическая вязкость применяемой воды.

Из формулы видно, что с повышением температуры воды x возрастает, т.к. ν' снижается.

Согласно графикам на рис.90, коэффициент теплоотдачи изменяется в очень широком интервале, на чем, собственно, и основано регулирование температуры формы путем изменения расхода охлаждающей жидкости. Из этого же вытекает и другой важный вывод. Нельзя допускать в системе охлаждающих каналов участков с большим сече-

нием и особенно с застойными зонами, где охлаждающая жидкость может оказаться в роли теплоизолятора.

С помощью графиков на рис.90 по формуле (127) рассчитывается точки регулировочной характеристики охлаждающей системы литьевой формы. Типичные характеристики имеют вид, показанный на рис.91. Кривая I с резким перегибом предстаавляет собой плохую

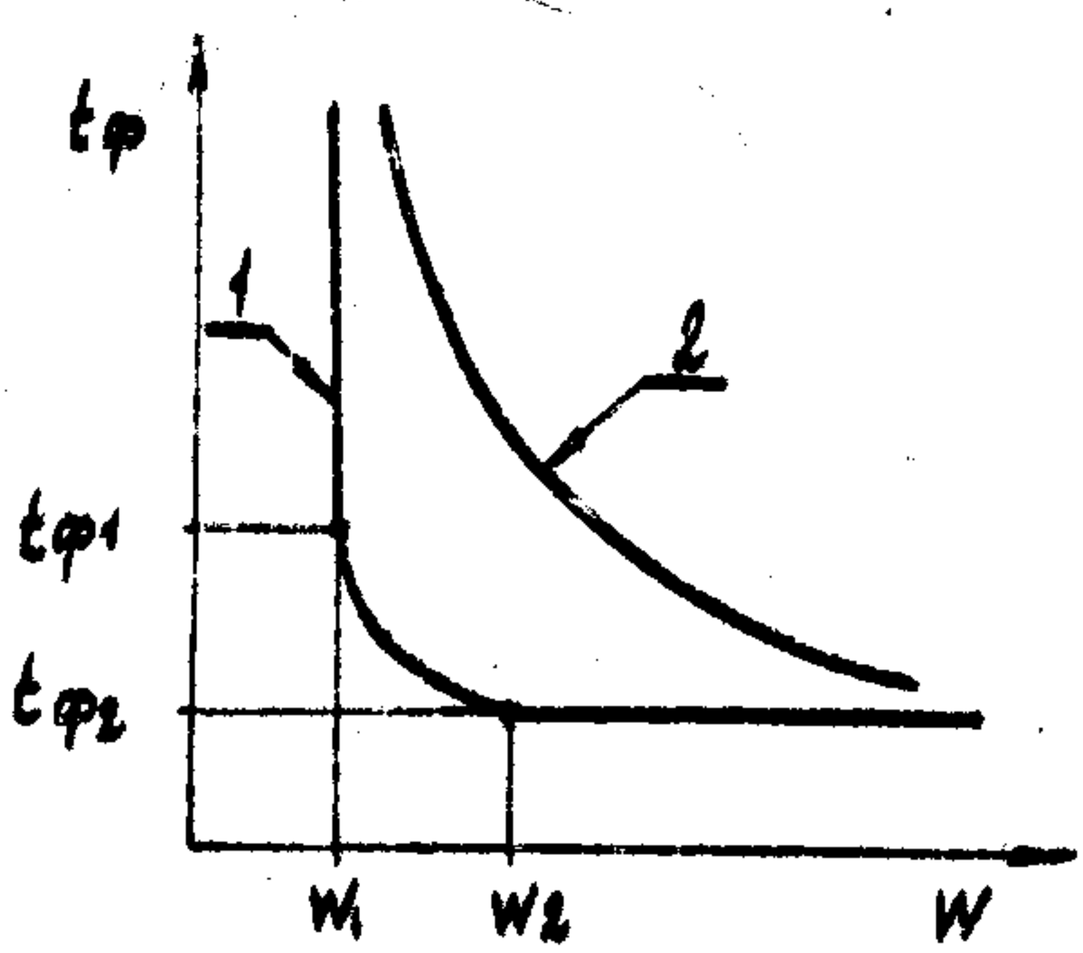


Рис.91

регулировочную характеристику. Характеризуемая ею система охлаждения позволяет регулировать температуру только в узком интервале $t_{ф1} - t_{ф2}$. За пределами этого интервала температура не регулируется, а внутри него она неустойчива, т.к. небольшие изменения W сопровождаются резким изменением $t_ф$. Система, характеризуемая кривой 2, позволяет плавно регулировать температуру в широком интервале и значения ее будут устойчивыми, слабо зависящими от колебаний скорости охлаждающей жидкости.

В тепловых расчетах литьевых форм обычно нет необходимости учитывать теплообмен с окружающей форму средой. Оформляющие поверхности, имеющие самую высокую температуру, изолированы от окружающей среды, с которой граничат наиболее холодные поверхности формы с температурой, близкой к температуре охлаждающей жидкости. Если охлаждающая жидкость подогревается, то внешний теплоотвод

может быть значительным и его надо учитывать в расчетах.

4.3.3. По формам для вакуумного и пневматического формования.

В этих формах тепловому расчету подлежат операция разогрева заготовок и охлаждение отформованного изделия в форме.

Нагреватели вообще относятся к машине, а не к форме, однако, их работа определяет требования к условиям охлаждения изделия, поскольку цикл формования лимитируется длительностью разогрева заготовки.

Толщина заготовки всегда больше толщины изделия, а площадь поверхности, наоборот, больше у изделия. Заготовку нагревают от комнатной температуры до температуры формования, а изделие извлекают из формы всегда при температуре, превышающей комнатную. Таким образом, от изделия с большей поверхностью теплопередачи отводится меньше тепла по сравнению с количеством тепла, подводимого к заготовке в период ее разогрева. И все же, как показывает практика, форма в процессе непрерывной работы слегка нагревается. Повышение температуры формы можно рассчитать из уравнения теплового баланса, аналогичного уравнению (123). В этом случае из величины q_c надо вычитать часть тепла, отводимого от другой стороны изделия к воздуху.

На основании таких расчетов выявляется потребность в дополнительном охлаждении формы.

4.3.4. По экструзионной оснастке.

В формующую головку экструдера расплав поступает нагретый до нужной температуры, а электронагреватели, установленные на головке, поддерживают ее на заданном уровне, компенсируя потери тепла в атмосферу. В каждой зоне головки устанавливают терморе-

гулятор, периодически отключающий нагреватели, предотвращая превышение заданного температурного уровня. Установочная мощность электронагревателей рассчитывается по сумме тепловых потерь от поверхности головки с коэффициентом запаса ~ I,5.

В калибрующем устройстве тепло отводится от изделия к охлаждающей воде. Здесь производят частичное охлаждение с целью образовать твердую поверхностную корку, предотвращающую искажение изделия в процессе дальнейшего, окончательного охлаждения на воздухе или в водяной ванне. Схема образования поверхностной корки показана на рис.92. Толщина образующейся на поверхности корки δ

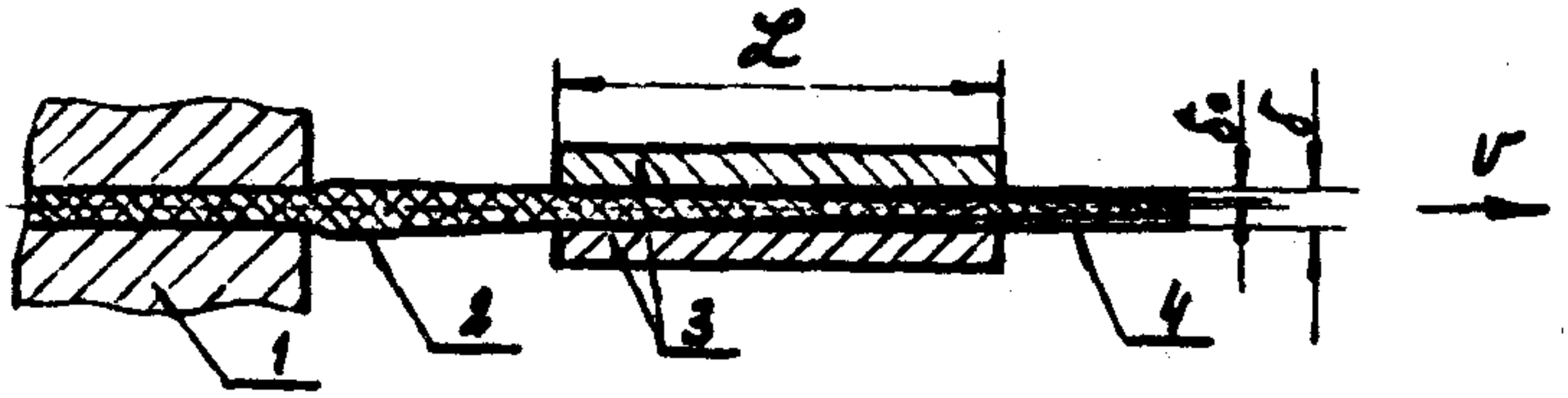


Рис.92

I-формующая головка; 2-экструдат; 3-калибрующие пластины; 4-изделие перед окончательным охлаждением.

за время прохождения экструдата через калибр длиной $\mathcal{L}$ со скоростью v зависит от температурного режима калибрования и от свойств материала. Решение уравнения теплопроводности дает следующее соотношение

$$\mathcal{L} = \frac{v \cdot \delta^2}{2,5 \cdot a}\left[\frac{4}{\pi} \cdot \frac{t_g - t_c}{t_н - t_c} \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} \cdot \frac{\delta - \delta_0}{\delta}\right)\right] \qquad (130)$$

в котором: $t_н$ - начальная температура расплава;

t_g - температура затвердевания формуемого материала;

t_c - температура калибрующей поверхности;

δ - толщина изделия;

a - температуропроводность формуемого материала.

Применительно к каждому конкретному изделию соотношение (I30) используют по-разному. Иногда по заданной скорости экстру-

зии v, регламентируемой, например, длиной охлаждающей ванны, или производительностью экструдера, рассчитывают длину калибра x Если длина калибра определена, например, из условия прочности отводимого изделия под действием тянущего усилия, то рассчитывают предельную скорость экструзии v. В этих расчетах должна учитываться прочность поверхностной корки, воспринимающей действующие в процессе экструзии усилия. Для этого надо знать механические свойства формуемого материала в температурных условиях калибрования. При этом большую роль играет сила трения на калибруемых поверхностях, возникающая вследствие давления калибрования. Изучение этих сил представляет большой научный и практический интерес.

Качество экструдируемых изделий зависит от равномерности охлаждения их. В разнотолщинных по сечению изделиях при одинаковой интенсивности охлаждения всей поверхности тонкие и толстые участки охлаждаются не в одинаковых условиях. Толстый участок отвердевает с опозданием по сравнению с тонким и при его последующем охлаждении возникающая на нем усадка по длине приводит к нарушению прямолинейности изделия. Оно изгибается в сторону толстого края. Глубокое охлаждение в натянутом состоянии уменьшает искривление оси. Полное устранение искажений возможно путем дифференцированного охлаждения участков с разной толщиной, организуемого так, чтобы моменты затвердевания середины на обоих участках совпадали во времени.

4.4. О прочностных расчетах.

Пресс-форма воспринимает огромное усилие прессования, тем не менее, опасность каких либо поломок возникает очень редко, если она установлена на прессе строго по центру стола. Действующее на

форму усилие в момент прессования воспринимается материалом, в котором создается запроектированное удельное давление. По окончании формования усилие пресса переносится на опорные планки, с площадью, рассчитываемой на удельное напряжение сжатия не более 1000 кгс/см^2. Опорные планки изготавливаются из закаливаемой стали, а плоскости, воспринимающие усилие прессования, шлифуются. Подгонкой высоты опорных планок при шлифовке обеспечивают нужную высоту прессуемых изделий.

Матрицы рассчитываются на внутреннее давление прессования, если высота, на которой действует давление, не менее поперечного размера ее. для круглых матриц применяют формулы Ляме (62), вычисляя по ним тангенциальные и радиальные напряжения на внутренней поверхности, по которым затем находят эквивалентное напряжение , пользуясь четвертой теорией прочности (44). В матрицах прямоугольного сечения рассчитывают напряжения изгиба в середине длинной стороны, пользуясь формулами для расчета балок с заделанными концами при действии равномерно распределенной нагрузки.

В матрицах больших размеров деформации нагруженных стенок могут превышать посадочные допуски между матрицей и обоймой, поэтому в последней также возникают напряжения за счет снижения напряжений в самой матрице. Расчет усложняется и помимо напряжений необходимо рассчитывать величины деформаций стенок, чтобы предотвратить опасность чрезмерного увеличения зазора между пуансоном и матрицей, через который может выдавливаться прессуемый материал.

В низких матрицах растяжению (или изгибу) боковых стенок, соприкасающихся с прессуемым материалом, противодействует жесткость дна и жесткость верхних участков боковых стенок, располо-

женных вне области прессования, поэтому указанные выше расчеты дадут завышенные значения напряжений. Строгий расчет с учетом работы матрицы по всей высоте весьма сложен и в нем нет необходимости.

Некоторые плиты у пресс-форм могут изгибаться под действием усилия прессования, как, например, изгибается нижняя греющая плита на рис.45 (поз.9) в момент формования, когда опорные планки еще не сомкнулись. В указанном случае расчет ведется по формулам для балки, опертой на концах и нагруженной посередине. Если напряжения изгиба в плите, или прогиб ее, превысит допустимое значение, то надо предусматривать опорные колонны между плитами 4 и 9, которые одновременно будут выполнять функции направляющих для фланцев выталкивателей 5 и 6.

Усилие обратного хода пресса воспринимается крепежными болтами 20, прочность которых должна рассчитываться по этому усилию на случай заедания деталей формы при разъеме ее. Выполняя расчеты нельзя забывать, что наименьшее сечение у резьбовых деталей (болты, винты и т.п.) берется по внутреннему диаметру резьбы.

Детали выталкивающей системы рассчитываются на прочность по усилию прямого и обратного хода выталкивателей. На прессах, оснащенных выталкивающими гидравлическими цилиндрами, расчет ведется по усилиям, создаваемым этими цилиндрами. На прессах, не имеющих выталкивающих цилиндров, расчет ведется по усилию обратного хода плиты пресса, используемого для выталкивания. Такой подход гарантирует работу формы без поломок даже при наличии неисправностей в виде заеданий. Если расчетное усилие на выталкивателе слишком велико и конструкция, способная выдерживать это усилие, неприемлема, то желательно заранее предусмотреть ослабленное место, которое разрушалось бы в аварийном случае без разрушения

других деталей.

В литьевых формах прочностные расчеты аналогичны вышеизложенным с некоторыми непринципиальными отличиями.

Так напряжения сжатия от усилия смыкания рассчитываются не на опорных планках, которые в литьевых формах отсутствуют, а на плоскостях обойм 7 и 8 (см.рис.53). Иногда площадь этих плоскостей преднамеренно уменьшают с целью сокращения механической обработки и повышения напряжений смятия на них, не превышая при этом допустимых значений из условия прочности (не более 1000 кгс/см^2 на закаленных поверхностях и не более 600 кгс/см^2 на незакаленных поверхностях). Повышенные напряжения смятия благоприятно отражаются на точности отливаемых изделий по их высоте. Следует отметить, что для посадочных поверхностей не нужна высокая чистота обработки,- она может вредить, затрудняя выход воздуху из формующей полости в период впрыска.

Матрицы и плиты, работающие на изгиб, рассчитываются по усилиям, создающимся давлением расплава в форме в момент окончания впрыска. Величина расчетного давления принимается равной половине от номинального давления литья, создаваемого поршнем цилиндра инжекции, для машин с червячным пластикатором и одной трети от давления литья,- для поршневых машин.

Детали выталкивающей системы в литьевых формах работают более четко, чем в пресс-формах, благодаря хорошей центровки их на машинах с помощью установочных фланцев I и I8. Воспринимаемые ими усилия во время выталкивания изделий рассчитываются более строго, чем при прессовании. Однако, здесь также следует рекомендовать расчеты на прочность по предельным усилиям, развиваемым машиной. Если при поломках в пресс-форме детали ее находятся на столе пресса, то детали литьевой формы при поломках могут падать,

что представляет опасность для обслуживающего персонала.

Прочностные расчеты в экструзионных головках малых размеров имеют меньшее значение, чем в пресс-формах и литьевых формах. Давление внутри головок редко превышает 100÷150 кгс/см^2, но расчеты проводят на давление 300 кгс/см^2, т.е. на аварийный случай, возникающий, например, при запуске недостаточно разогретого экструдера. Слабым местом у головок является осевое крепление деталей. Отрыв головки от цилиндра экструдера опасен для обслуживающего персонала, поэтому детали, от которых это зависит, должны рассчитываться с большим запасом прочности.

В крупногабаритных головках (листовальные, пленочные) развиваются колоссальные усилия и прочностные расчеты приобретают большое значение. Подробнее об этих расчетах можно говорить только применительно к каждой конкретной конструкции.

4.5. Общеинженерные расчеты форм.

Рассмотренные выше вопросы имеют строгую физическую направленность и не охватывают всех расчетов, выполняемых при разработке конструкций форм. Гнездность, объем загрузочных полостей, размеры оформляющих поверхностей, применяемые для форм материалы и другие подобные вопросы рассматриваются с общеинженерных позиций и обосновываются технико-экономическими соображениями.

После принятия решения о расположении изделия в форме выбирается оптимальное число гнезд. Можно принять форму с большим числом гнезд, используя большую машину, а можно ту же задачу решить с применением одногнездных форм, устанавливаемых на маленьких машинах. На первый взгляд, казалось бы, что многогнездная форма эффективнее. Однако, это не всегда так. Если одногнездные формы, ввиду их простоты, работают автоматически, а многогнездная

форма требует ручного обслуживания, то применение последней может оказаться экономически невыгодным.

По величине соотношения между числом изготавливаемых изделий Q и числом циклов работы формы до полного ее износа $N_и$, называемым числом износа, производство подразделяют на мелкосерийное, когда $Q < N_и$, или крупносерийное, при $Q > N_и \cdot n$; где n - число гнезд в применяемой форме. Отметим, что по имеющейся статистике $N_и$ достигает 100000 для пресс-форм и 500000 для литьевых форм.

Согласно экономическим расчетам оптимальное число гнезд в крупносерийном производстве вычисляется по формуле

$$n_к = \frac{C_ц}{C_ф} \qquad (131)$$

где: $C_ц$ - затраты на один цикл литья, состоящие из зарплаты основных рабочих и персонала, обслуживающего машину;

$C_ф$ - норма погашения стоимости формы на один цикл литья, вычисляемая по формуле:

$$C_ф = \frac{C_и + C_р}{N_и} \qquad (132)$$

в которой: $C_и$ - стоимость изготовления формы;

$C_р$ - стоимость ремонта формы.

Для мелкосерийного производства невыгодно применять сложные многогнездные формы, поскольку они не будут использоваться полностью, поэтому оптимальное число гнезд принимается меньше и вычисляется оно, согласно экономическим расчетам, по формуле

$$n_м = \sqrt{\frac{C_ц}{C_ф'}} \qquad (133)$$

где $C_ф' = \frac{C_и + C_р}{Q}$

На практике очень часто гнездность предопределяется имек-

щимся на производстве оборудованием. Для литьевых форм она рассчитывается по формуле

$$n = \beta \cdot \frac{Q_y}{Q_u} \qquad (134)$$

где: Q_y - максимальный объем отливки для используемой машины;

Q_u - объем одного изделия;

β - коэффициент использования машины.

Объем полимерного материала в расплавленном состоянии больше объема той же массы в изделии на 10 ÷ 25 %. Меньшее значение относится к аморфным полимерам, большее - к кристаллизующимся. Соответственно коэффициент использования β принимают для первой группы материалов β = 0,7 ÷ 0,8 и для второй группы материалов β = 0,6 ÷ 0,7.

Гнездность для форм на изделия с большой площадью отливки проверяется по усилию запирания формы T с помощью следующей формулы

$$n \leq \frac{T}{P_\varphi \cdot S_u} \qquad (135)$$

где: T - усилие запирания;

S_u - площадь литья одного изделия;

P_φ - среднее значение давления расплава в форме по окончании ее заполнения. Строго величина P_φ должна рассчитываться путем интегрирования по площади литья S элементарных усилий от давления литья P в каждой точке площади литья, являющегося функцией координат точки x и y, т.е. $P = f(x;y)$.

$$P_\varphi = \frac{1}{S_n} \int_S f(x;y) \cdot dS \qquad (136)$$

где: S_n - суммарная площадь литья для всех изделий.

Ориентировочно рекомендуется принимать P_φ равным 350 кгс/см^2

для литьевых машин с предварительной пластикацией и $P_ф$ равным 250 кгс/см² для машин без предварительной пластикации.

Гнездность пресс-формы, рассчитываемой на заданный пресс, вычисляется по формуле (135), в которой величины T ; $P_ф$ и $\mathcal{L}$ – принимаются соответственно равными усилию пресса, удельному давлению прессования и площади прессования одного изделия.

Найденное оптимальное число гнезд нужно разместить в форме. Эта задача решается графически путем непосредственно вычерчивания и является самой ответственной в проектировании формы. Расположение гнезд определяет собой условия загрузки прессуемого материала в пресс-формах и литниковую систему в литьевых формах. Наилучшее решение находится путем сопоставления различных вариантов. В каждом из сопоставляемых вариантов на литьевые формы целесообразно рассчитывать литниковые каналы, а иногда и системы охлаждения. Полезно уже на этой стадии продумывать конструкцию выталкивающих устройств.

В пресс-формах расчету подлежит объем загрузочной камеры по формуле

$$V = V_u \cdot k \cdot n \qquad (137)$$

где: V_u – объем прессуемого изделия;

k – коэффициент уплотнения формуемого материала, принимаемый для пресспорошков равным 3; для пресскомпозиций с волокнистым наполнителем – 6 ÷ 8 и для таблетируемых материалов ~ 1,5.

Расчеты показывают, что для волокнистых материалов размеры загрузочных камер получаются слишком большими по высоте, поэтому для уменьшения габаритов формы, как правило, применяют таблетирование.

В формах для пресс-литья с верхним давлением (см.рис.55)

объем загрузочной камеры рассчитывают по той же формуле с учетом объема литников, прибавляемого к объему изделия. Площадь сечения загрузочной камеры $F_к$ в этих формах не дол жна быть слишком маленькой, т.е. должно соблюдаться условие $F_к \cdot P_п > (F_и \cdot n + F_л) \cdot P_ф$,

или $$F_к > (F_и \cdot n + F_л) \frac{P_ф}{P_п} \qquad (138)$$

где: $F_и$ – площадь литья одного изделия;

$F_л$ – суммарная площадь литников в плоскости разъема;

$P_п$ и $P_ф$ – давление литья, создаваемое поршнем, и давление в форме, соответственно.

Применительно к формам для пресс-литья с нижним давлением (см.рис.54) для предотвращения разжима формы должно выполняться следующее условие $F_к \cdot P_п + (F_и \cdot n + F_л) \cdot P_ф < T$,

(139)

или $$F_к < \frac{T}{P_п} - (F_и \cdot n + F_л) \frac{P_ф}{P_п}$$

Применение верхнего давления приводит к необходимости делать широкие загрузочные камеры, а при нижнем давлении, наоборот, делать загрузочные камеры с небольшой площадью поперечного сечения.

После размещения гнезд в форме и расчетов загрузочных камер, или литниковых систем в литьевых формах, решается конструкция выталкивающей системы с проведением соответствующих расчетов.

В пресс-формах при отсутствии поднутрений на изделиях усилие выталкивания Q ориентировочно рассчитывают по формуле

$$Q = A \cdot F \qquad (140)$$

где: F – суммарная площадь поверхности контакта изделия с формой;

$A = 5 \div 15$ кгс/см^2 – удельное усилие сопротивления

выталкиванию. Меньшее значение принимается для изделий из материалов с порошкообразным древесным наполнителем, а большее - при стекловолокнистом наполнителе.

Определенное таким путем усилие принимается для проверки прочности выталкиваемого изделия.

Прессуемые изделия с поднутрениями в виде кольцевых уступов (см.рис.7) выталкиваются с усилием, рассчитываемым разными методами, в зависимости от формы и размеров уступа. Если уступ узкий, то при выталкивании он срезается (см.пример № I на рисунке 93)

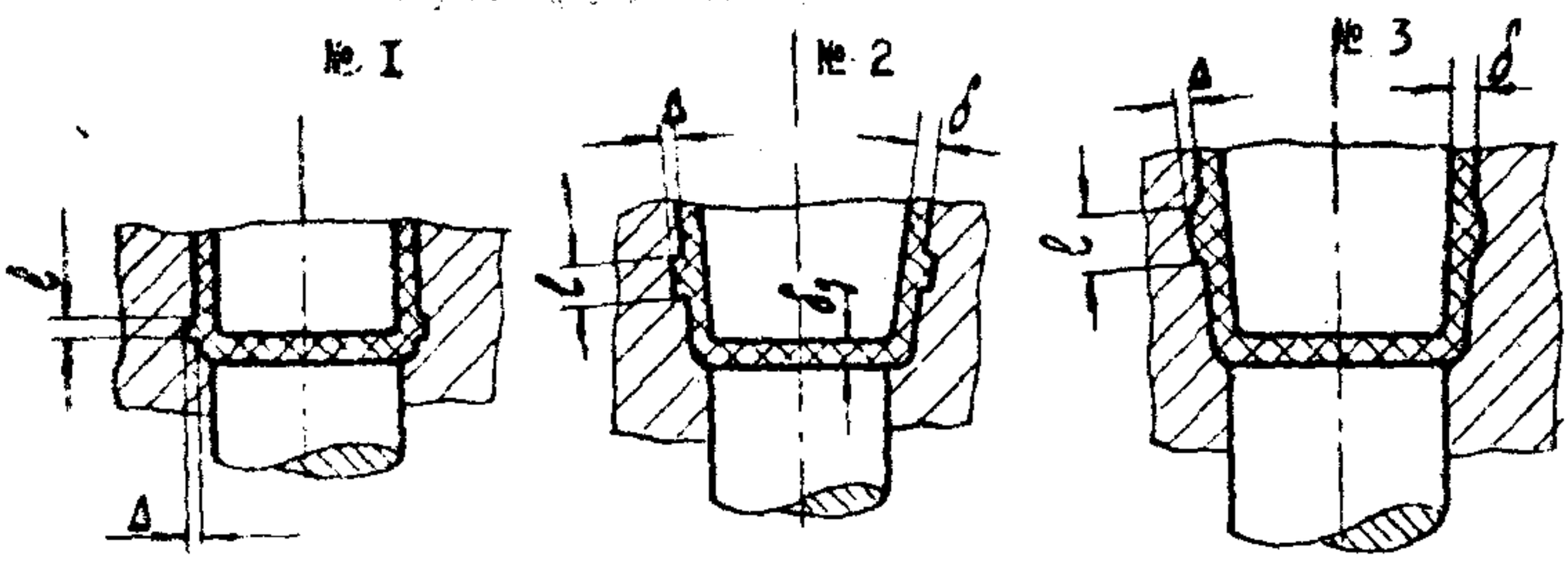


Рис.93

и усилие выталкивания $Q_{ср}$ вычисляется по формуле

$$Q_{ср} = \Pi \cdot l \cdot \sigma_{ср} \qquad (141)$$

где: Π - длина уступа, равная длине периметра наружного контура сечения изделия;

l - ширина уступа;

$\sigma_{ср}$ - прочность на срез материала изделия при температуре выталкивания.

Широкий уступ прямоугольного сечения (№ 2 на рис.93) сначала сминается, а затем на участке уступа стенки изделия снимается на высоту Δ с каждой стороны. Расчеты показывают, что при $l \gg \Delta$ начальное усилие снятия мало по сравнению с силой трения, развивающейся между матрицей и изделием в момент окончания

деформирования стенок по всей ширине уступа . Величина этой силы трения для круглых изделий рассчитывается по формуле (70), в которой принимают $\Delta z = \Delta$ и $\delta_1 = \delta + \Delta$. Ввиду малой жесткости стенки на изгиб в расчете учитывается сжатие ее только по ширине уступа ℓ .

Если уступ располагается против донышка, то на деформирование последнего потребуется дополнительное усилие, т.е. в формуле (70) появляется второе слагаемое, рассчитываемое по формуле (72).

Для расчета усилия выталкивания изделия прямоугольного сечения с длинами сторон a и b , имеющего уступы шириной ℓ и высотой Δ выводится своя формула в предположении, что все стенки и донышко толщиной δ_1 сжимаются на участке шириной ℓ по закону Гука.

$$Q_{тр} = 4 \cdot \frac{\Delta}{b} \cdot E \cdot \mu \cdot (2 \cdot \delta \cdot \ell + a \cdot \delta_1) + 4 \cdot \frac{\Delta}{a} \cdot E \cdot \mu \cdot (2 \cdot \delta \cdot \ell + b \cdot \delta_1) \quad (142)$$

Приведенная формула упрощается, если уступы удалены от донышка. В этом случае принимают $\delta_1 = 0$ и в скобках остается по одному слагаемому.

Эти же формулы применимы и для изделий с внутренними технологическими уступами, когда при сталкивании изделия стенки его не сжимаются, а растягиваются.

В литьевых формах усилия съема изделий с технологическими поднутрениями рассчитываются по тем же формулам с учетом температурной усадки, которая увеличивает это усилие на пуансонах и уменьшает в матрицах. Количественно это влияние может учитываться по алгебраической сумме относительной высоты уступа $\frac{\Delta}{\ell}$ с коэффициентом усадки "к".

Работа многих выталкивающих систем в литьевых формах основывается на использовании стержневых утолщений, предусматриваемых на концах центральных литников (рис.62), или сбоку разводящих

литников (рис.69). В этих конструкциях с помощью утолщений создают нужные тянущие усилия. Чтобы исключить трудоемкую экспериментальную отработку целесообразно рассчитывать их на стадии проектирования. Усилия, необходимые для отрыва впусков, сжатия пружин и изгиба разводящих литников при извлечении их из углублений, рассчитываются по известным формулам сопротивления материалов. Для расчета силы, удерживающей утолщение стержня, на рис.94 представлена расчетная схема. Центральный выталкиватель 5, перемещаясь слева направо относительно центральной втулки 4, давит на толстый конец литника и вытесняет его из конусного гнезда

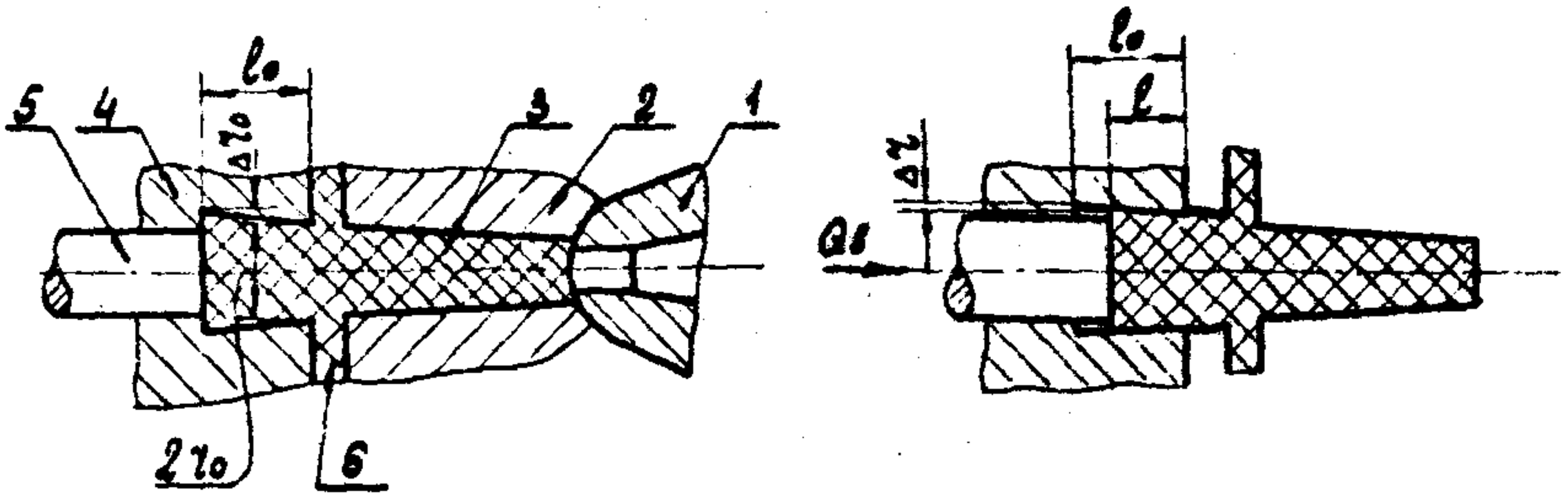


Рис.94

1-сопло литьевой машины; 2-втулка литниковая; 3-центральный литник; 4-втулка центральная; 5-выталкиватель центральный; 6-разводящий литник.

во втулке, как показано на рис.94 справа, с усилием Q_1, состоящим из двух слагаемых. Первое слагаемое, согласно закономерностям для сил, действующих на наклонных поверхностях, представляет собой произведение силы, сжимающей конический конец литника, пропорциональной площади сжимаемой поверхности и определяемой по закону Гука, на тангенс угла между образующей и осью конуса, равный отношению $\Delta r_0 / l_0$. Второе слагаемое представляет собой силу трения на контактирующих поверхностях центрального литника и центральной втулки, равную произведению той же сжимающей конический конец силы на коэффициент трения μ. Математически это запишется следу-

ющим уравнением

$$Q_в = \frac{\Delta r}{r_0} \cdot E \cdot 2\pi \cdot r_0 \cdot l \frac{\Delta r_0}{l_0} + \frac{\Delta r}{r_0} E \cdot 2\pi \cdot r_0 \cdot l \cdot \mu = 2\pi \cdot \Delta r \cdot l \cdot E \cdot \left(\frac{\Delta r_0}{l_0} + \mu\right)$$

где: E - модуль упругости перерабатываемого материала, а значения геометрических величин показаны на рисунке, причем два из них Δr и l являются переменными, изменяющимися по мере выталкивания конусного конца. Деформацию Δr геометрически можно представить как

$$\Delta r = \frac{\Delta r_0}{l_0} \cdot (l_0 - l)$$

Подставляя это значение Δr в предыдущее уравнение, получим

$$Q_в = 2\pi E \frac{\Delta r_0}{l_0} \cdot \left(\frac{\Delta r_0}{l_0} - \mu\right) \cdot (l_0 \cdot l - l^2) \qquad (143)$$

Из уравнения (143) видно, что при $l = 0$ и $l = l_0$ сила $Q_в = 0$, т.е. усилие выталкивания имеет максимум при некотором значении в интервале $0 < l < l_0$.

Исследование функциональной зависимости $Q_в$ от l (143) на максимум дает

$$Q_{в\,max} = \frac{\pi}{2} E \cdot \Delta r_0 \cdot l_0 \cdot \left(\frac{\Delta r_0}{l_0} + \mu\right) \text{ в точке } l = \frac{l_0}{2} \qquad (144)$$

По формуле (144) находится максимальное усилие при выталкивании конуса, когда деформации не выходят из области упругих. В формуле отсутствует радиус, т.е. выталкивающая сила не зависит от поперечного размера. Влияние радиуса r_0 проявляется косвенно. При большом r_0 можно принимать большее значение для Δr_0 и тем самым увеличивать $Q_{в\,max}$, не выходя за область упругих деформаций.

За пределами упругих деформаций формула (144) не работает, т.е. $Q_{в\,max}$ не возрастает при увеличении Δr_0, т.к. в материале развиваются пластические деформации. Предельное значение Δr_0 определяется из условия

$$\frac{\Delta r_0}{r_0} = \frac{\sigma_т}{E}$$

где: $\sigma_т$ - предел упругости, выше которого проявляются пластические деформации.

Если величину Δr_0 , определяемую этим условием, подставить в формулу (I44), то она преобразуется для расчета за пределами упругих деформаций

$$Q_{в max} = \frac{\Pi}{2} \cdot \sigma_y \cdot r_0 \cdot l_0 \cdot \left(\frac{\Delta r_0}{l_0} + \mu\right) \text{ при } \frac{\Delta r_0}{r_0} > \frac{\sigma_y}{E} \qquad (145)$$

В этой формуле присутствует r_0 , т.е. за пределами упругих деформаций $Q_{в max}$ возрастает с увеличением r_0 .

Пользуясь формулами для $Q_{в max}$, можно подобрать оптимальное решение по разкерам утолщения на литнике, выдерживающего возникающие при работе выталкивающей системы усилия. В этих расчетах должен предусматриваться запас по усилиям, необходимый для безотказной работы формы. Необходимо также учитывать усадочные эффекты, вследствие которых может существенно уменьшаться создаваемое утолщением усилие.

Принятием решения по конструкции выталкивающей системы в основном завершается проектирование формы. Прочностные, тепловые и другие расчеты, выполняемые после принятия основных решений, носят поверочный и уточняющий характер. По их результатам уточняются размеры крепежных деталей, выбор применяемого для изготовления деталей форм материала, число и размеры каналов для нагрева, или охлаждения и т.п. Во многих формах появляются своеобразные особенности, носящие частный характер, которые предусмотреть заранее вообще невозможно. Решению этих вопросов помогают практический опыт и изобретательность проектанта.

Конструирование форм заканчивают разработкой рабочих чертежей на отдельные детали, подразделяемые на: I) оформляющие, контактирующие непосредственно с формуемым материалом; 2) несущие, воспринимающие нагрузки при формовании и удерживающие оформляющие детали; 3) крепежные; 4) направляющие; 5) центрующие.

Последние три группы деталей форм полностью стандартизуются
. стандарты на литьевые формы), или регламентируются нормаля-
. Задача проектанта - правильно воспользоваться технической
кументацией.

Вторую группу деталей невозможно полностью стандартизовать,
скольку детали этой группы сопрягаются с оформляющими деталя-
, разрабатываемыми применительно к формуемым изделиям. В стан-
ртах и нормалях даются заготовки этих деталей, для которых ука-
ваются основные контурные размеры. Проектант должен воспользо-
аться этими исходными данными и разработать конструкцию гнезд
посадочных мест в заготовках применительно к изготавливаемым
делиям.

Оформляющие детали для каждого изделия, очевидно, имеют
ою конструкцию. Внешние посадочные поверхности выполняются по
бщим правилам машиностроения, а оформляющие поверхности делают
учетом их прямого назначения. По ним воспроизводятся поверхно-
ти формуемых изделий и если размеры последних не имеют допуска,
о соответствующие размеры у деталей формы принимают равными им.
ри наличии допуска на размер изделия, соответствующий ему раз-
ер у оформляющей детали должен корректироваться с учетом явле-
ия усадки. Методы расчета исполнительных размеров форм даются
стандартах: ГОСТ 15947-70 и ГОСТ 15948-76. По первому из них
рассчитываются размеры деталей, оформляющих гладкие поверхности,
а второй предназначен для резьбовых изделий.

Чтобы повысить износостойкость формующих деталей, их изго-
тавливают из сталей, закаливают и покрывают слоем хрома. Детали
очень сложной конфигурации изготавливают из легированных сталей,
закаливаемых после цементации (химико-термическая обработка
стального изделия путем диффузионного насыщения углеродом его

поверхностных слоев при 900 - 950^{0}). У изготавливаемых таким путем деталей получается закаленная твердая корка на поверхности и мягкая сердцевина, благодаря чему процесс закалки не сопровождается короблениями, или образованием трещин даже при наличии резкой разнотолщинности.

Оформляющие поверхности полируются, покрываются электролитическим способом слоем хрома толщиной I ÷ 20 микрон и снова полируются. Полировка обеспечивает получение отличной поверхности у изделий, устраняет возможность прилипания формуемого материала, облегчает очистку формы.

4.6. Примеры расчета.

й пример :

Сделать поверочный расчет литниковой системы для шестигнездной литьевой формы на полиэтиленовую крышку, выполненной по схеме на рис.84 с тремя разводящими каналами, соединяющими канал центрального литника попарно с формующими гнездами.

Основные исходные данные : объем отливки $Q_4 = 120$ см^3; давление на выходе из сопла машины при максимальной мощности впрыска $\Delta P_э = 700$ кгс/см^2; скорость впрыска при указанном давлении $Q = 200$ см^3/сек; температура расплава, поступающего в форму $t_м = 200^0$С.

Рассчитываем потери давления по участкам литниковой системы в соответствии со схемой на рис.84.

I) На участке центрального литника - по формуле (I06), в которой согласно конструкции формы, принимаем длину канала $l_ц = 40$мм и средний радиус его $r_ц = 3{,}6$мм. Величина напряжения сдвига на стенке канала $\tau_м$ принимается по кривой течения для полиэтилена низкой плотности при температуре $t_м = 200^0$С и скорости сдвига $j_ц$, рассчитанной по формуле (86)

$$j_ц = \frac{4Q}{\pi r_ц^3} = \frac{4 \cdot 200}{\pi \cdot 0{,}36^3} = 5{,}4 \cdot 10^3 \frac{1}{сек}$$

По справочным данным находим $\tau_м = 2{,}3$ кгс/см^2 и формула (I06) дает

$$\Delta P_ц = \frac{2 \cdot 4 \cdot 2{,}3}{0{,}36} = 51 \text{ кгс/см}^2$$

2) Сечение разводящих каналов представляет собой равнобедренную трапецию с основанием 6мм и высотой 2,5мм; угол наклона боковых сторон равен 15^0. По формуле (89) находим эквивалентный радиус $r_э$

$$\tau_э = \sqrt[3]{\frac{2.13.3^2}{15,9}} = 1,9 \text{ мм}$$

Учитывая разветвление разводящих каналов, при расчете скорости сдвига $\dot{\gamma}_р$ принимаем 1/3 Q

$$\dot{\gamma}_р = \frac{4.200}{3.\pi.0,19^3} = 1,2.10^4 \frac{1}{\text{сек}}$$

На кривой течения находим соответствующее значение $\tau_р = 3$ кгс/см^2. Принимая согласно конструкции литьевой формы, $\ell_р = 60$ мм, по формуле (107) получим

$$\Delta P_р = \frac{2.6.3}{0,19} = 190 \text{ кгс/см}^2$$

3) Впуски имеют прямоугольное сечение с размерами сторон 2х0,5мм. По этим размерам находим длину периметра $\Pi = 5$мм и эквивалентный радиус $\tau_э = 0,5$мм. Условная скорость сдвига $\dot{\gamma}_{1n}$ рассчитывается с учетом одновременности заполнения всех шести полостей, т.е. в формулу (86) подставляется значение 1/6 Q

$$\dot{\gamma}_{1n} = \frac{4.200}{6.\pi.0,005^3} = 3,3.10^5 \frac{1}{\text{сек}}$$

При этой скорости удельное усилие сдвига на периметре впуска для полиэтилена, согласно экспериментальным данным, равно $\tau_{1n} = 5$ кгс/см

Формула (108) дает $\Delta P_{1n} = \frac{0,5.5}{0,01} = 250$ кгс/см^2

4) Для расчета сопротивления в формующей полости принимаем: наибольшую длину линии тока (расстояние от впуска до наиболее удаленной точки формующей полости), согласно конструкции гнезда, равной $\mathcal{L} = 80$ мм; высоту формующей полости $\delta = 1,8$ мм; величину предельного напряжения сдвига $\tau_т$ и время охлаждения находим с учётом дополнительного разогрева расплава после впуска, пользуясь формулой (80), $\Delta t \approx 16^0$С, т.е. принимая $t_н = 216^0$С.

Для полиэтилена низкой плотности при указанной температуре опытные данные, полученные в форме на спираль, дают $\tau_m = 1{,}75$ кгс/см^2. Для времени охлаждения по формуле (120) получаем следующее значение

$$\tau_{охл.} = \frac{0{,}405}{10^{-7}}\left(\frac{1{,}8}{2}\ 10^{-3}\right)^2\left(\ln 1{,}27 - \ln\frac{120-60}{216-60}\right) = 3{,}8 \text{сек},$$

где: $t_ч = 120^oC$ - температура в центре изделия принята равной температуре кристаллизации для полиэтилена;

$t_ф = 60^oC$ - средняя температура на оформляющей поверхности формы;

$a = 10^{-7}\frac{м^2}{сек}$ - коэффициент температуропроводности для полиэтилена.

Подставляя указанные величины в формулу (109), найдем

$$\Delta P_ф = \frac{2{,}8 \cdot 1{,}75}{0{,}18 \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{0{,}6}{3{,}8}}\right)} = 260 \text{ кгс/см}^2,$$

где время впрыска $\tau_{вп}$ было принято равным

$$\tau_{вп} = Q_в / Q = 120/200 = 0{,}6 \text{ сек.}$$

Сумма потерь в литьевой форме, равная

$$\Delta P_в + \Delta P_р + \Delta P_m + \Delta P_ф = 51+190+250+260 = 751 \text{кгс/см}^2,$$

превышает давление, создаваемое машиной у входа в форму , на

$$751-700 = 51 \text{ кгс/см}^2 .$$

Это значит, что при температуре литья $t_н = 200^oC$ форма не заполнится расплавом. Необходимо повысить температуру расплава. Повторив вышеприведенные расчеты при $t_н = 220^oC$, получим

$$\Delta P_в + \Delta P_р + \Delta P_m + \Delta P_ф = 45+170+225+205 = 645 \text{кгс/см}^2 < 700,$$

т.е. повышение температуры литья на 20^oC обеспечит заполнение формы с небольшим запасом по давлению впрыска.

Если повышение температуры литья не дает требующегося эффекта, то на практике уменьшение потерь достигается путем расши-

рения впусков. Как показывают цифры такая возможность имеется и в данной литьевой форме.

2^й пример :

Рассчитать размеры фильеры у формующей экструзионной головки на профильное изделие - полоса шириной b_u = 100мм и толщиной δ_{1u} = 3мм с одного края на участке шириной b_{1u} = 60мм и δ_{2u} = 4мм - с другого края по ширине b_{2u} = 40мм. Материал - ударопрочный полистирол с индексом течения n = 2. Конструкцию фильеры выполнить по схеме, показанной на рис.87. Скорость отвода изделия принять v_u = I м/мин.

Сначала рассчитываются размеры фильеры на выходе. Для этого примем расчетный коэффициент вытяжки по толщине $K\delta$ = I, тогда высота фильеры в тонкой части $h_{1вых} = \delta_{1ф} = K\delta \cdot \delta_{1u}$ = I.3 = 3 мм, а в толстой части $h_{2вых} = \delta_{2ф} = K\delta \cdot \delta_{2u}$ = I.4 = 4мм. Длина фильеры, согласно практическим данным, берется в пределах от $6.\delta$ до $16.\delta$.

Ширина филиеры рассчитывается с помощью формулы (II8), в которую входит коэффициент разбухания струи на выходе из фильеры a, определяемый однозначно при заданной температуре, (см. уравнение (I04)), по длительности течения t , которую в данном случае найдем приближенно, пользуясь формулой (90)

$$t \approx \frac{l_ф}{v_u} = \frac{40.60}{I.1000} = 2,4 \text{ сек.}$$

По экспериментальным данным для ударопрочного полистирола в условиях экструзии находим a = I,4.

Подставляя это значение a в формулу (II8), найдем расчетные коэффициенты вытяжки по ширине изделия раздельно для каждого участка

$$K_{1в} = I.\left(I,4 - \frac{I,4 - I}{60/3} \right) = I,38$$

$$K_{2в} = I.\left(I,4 - \frac{I,4 - I}{40/4} \right) = I,36$$

Ширина фильеры на участке, оформляющем тонкую часть изделия $b_{1ф} = K_{1в} \cdot b_{1н} = 1{,}38 \cdot 60 = 83$ мм ;

на участке, оформляющем толстую часть

$b_{2ф} = K_{1в} \cdot b_{2н} = 1{,}36 \cdot 40 = 53{,}5$ мм.

Чтобы скорость выдавливания экструдата была одинакова во всех точках сечения фильеры, необходимо удовлетворить равенству (II6). *Это можно сделать различными способами.*

Приведем два варианта.

I) Принимаем $h_{1вх} = h_{1вых}$, т.е. $a_1 = 1$; Условие (II6) приводится к виду

$$\frac{3}{4} = \frac{a_2}{1}\sqrt[n]{\frac{a_2+1}{2}} \quad , \text{где} \quad n = 2$$

Путем повторных подстановок предполагаемых значений a_2, найдем

$a_2 = 0{,}8$ и $h_2 b_к = a_2 h_2 b_{вых} = 0{,}8 \cdot 4 = 3{,}2$ мм .

2) Принимаем $h_{2вх} = h_{2вых} = 4$, т.е. $a_2 = 1$; условие (II6) приводится к виду

$$\frac{3}{4} = \frac{1}{a_1} = \sqrt[n]{\frac{2}{a_1+1}} \quad , \text{где} \quad n = 2$$

Путем повторных подстановок предполагаемых значений a_1 , найдем

$a_1 = 1{,}25$ и $h_1 b_к = a_1 h_1 b_{вых} = 1{,}25 \cdot 3 = 3{,}75$мм .

3<u>й пример</u> :

Вычислить усилие на кольцевом выталкивателе $Q_в$ (рис.7I) и напряжения в стенке выталкиваемого цилиндра $\sigma_{сж}$, имеющего, согласно обозначениям на рис.35а, следующие размеры : $l = 20$мм; $l_0 = \delta_0 = 2$мм ; $\gamma_0 = 10$мм ; $\delta_2 = 2$мм.

Материал цилиндра - полиэтилен высокой плотности со следующими свойствами :

Температура, ^oC	E, кгс/см^2 при растяжении	σ_g, кгс/см^2 при растяжении	Коэффициент усадки - K	Коэффициент трения μ
20	8.500	260		
40	5.000	230	0,03	0,25
60	I.500	I85		

Усилие выталкивания при комнатной температуре $Q_в$ равняется силе трения $Q_{тр}$, развивающейся между изделием 3 и оформляющим стержнем 4 (см.РИС 7I) и рассчитываемой по формуле (7I), в которой отношение $\frac{\Delta\gamma}{\gamma_0}$ принимается равным коэффициенту усадки K

$$Q_в = Q_{тр} = 2\pi.0,03.0,2.8500.0,25\left(2+\frac{I^2.0,2^2.0,2}{4.0,2^3.0,2+0,2^3.I}\right) =$$

$$= 80(2+0,555) = 204 \text{ кг.},$$

Сжимающие напряжения на торце цилиндра будут равны

$$\sigma_{сж} = \frac{Q_в}{2.\pi.(\gamma_0+\frac{I}{2}\delta).\delta_1} = \frac{204}{2.3,I4.(I+0,I).0,2} = I47 \text{ кгс/см}^2,$$

что составляет $\frac{I47}{260}.I00 = 56\%$ от σ_g.

Прочность при сжатии для полиэтилена ниже прочности при растяжении на 20 ÷ 30%, т.е. реальная опасность повреждения изделий при выталкивании выше, чем дает приведенный расчет.

Обычно в момент выталкивания изделий из литьевой формы они имеют температуру выше ком..атной. допустим, что изделия охлаждаются в форме до температуры 60^oC, тогда те же расчетные формулы дадут $Q_в = 36$ кг, $\sigma_{сж} = 26$ кгс/см^2, что составляет

$$\frac{26}{I85}I00 = I7,5\% \text{ от } \sigma_g,$$

т.е опасность повреждения изделий снизилась.

Однако с повышением температуры возникает опасность заклинивания изделия вследствие уменьшения жесткости материала. Если раздавливаемая со стороны выталкивателя стенка цилиндра начнет прижиматься к наружной оформляющей поверхности, то на последней возникает прогрессивно возрастающая сила трения, что неизбежно приведет к бо́льшим, или меньшим, повреждениям всего изделия. Эта опасность устраняется путем применения двухступенчатого выталкивателя, схема которого дана на рис.72.

Предельная длина отливаемого изделия в рассматриваемом случае равна :

I) При температуре выталкивания 20°С

$$l < (2.r_0 + \delta_2)\frac{\sigma_g}{2.K.E.\mu} = (2.I + 0,2)\frac{260}{2.0,03.8500.0,25} = 4,5\text{см}$$

2) При температуре выталкивания 60°С

$$l < (2.I + 0,2)\frac{185}{2.0,03.1500.0,25} = 18\text{ см.}$$

В процессе литья тонкостенных изделий длительность цикла лимитируется временем охлаждения толстых литников и стенки самих изделий при этом охлаждаются более полно, поэтому приходится выполнять расчеты по условиям полного охлаждения.

4й пример :

Путем расчетов проверить надежность автоматической работы шестигнездной литьевой формы ($n = 6$) с туннельными (отрезными) впусками, выполненными по схеме, представленной на рис.63-справа со следующими размерами : площадь сечения впуска по месту среза его $f_{вп} = 2$ мм^2 ; длина разводящего канала $l_p = 25$ мм ; сечение разводящего канала в виде прямоугольника шириной $b = 6$ мм и высотой $h = 3$ мм. Нижний утолщенный конец центрального литника соответствует центральной втулке наименьшего размера по

ГОСТ-22078-76. Согласно этому стандарту размеры, обозначенные на рис.94, имеют следующие значения : l_o = 10 мм; $2\gamma_o$ = 7 мм; $\Delta\gamma_o = l_o \cdot tg\,5^0$ = 0,87 мм.

Изделия представляют собой цилиндры с донышками и отливаются из капрона, со следующими свойствами :

Температура, ^oC	E, кгс/см^2 при растяжении	σ_q, кгс/см^2 при растяжении	Коэффициент трения - μ
20	15000	650	0,4
40	6000	-	
60	3000	-	

В начальный момент разъема формы литники и изделия удерживаются в подвижной части формы: литники с помощью утолщенного конца центрального литника, а изделия - силами трения на охватываемых оформляющих поверхностях. Извлечение их из неподвижной части формы сопровождается отделением впуска от изделия. При этом острый край на пересечении впускного отверстия (туннеля) с наружной оформляющей поверхностью действует как острие ножа и возникающее усилие среза должно быть меньше сил, удерживающих изделие и литник в подвижной части формы.

Силы, удерживающие изделия, рассмотрены в предыдущей задаче, а здесь будут рассмотрены силы, связанные с работой центрального литника.

Удерживающая способность центрального литника рассчитывается по формуле (144), или (145).

В нашем случае

$$\frac{\Delta\gamma_o}{\gamma_o} = \frac{0,87}{3,5} = 0,25 > \frac{\sigma_q}{E} = \frac{650}{15000} = 0,043,$$

поэтому используется формула (145), которая дает

$$Q_{в\,max} = \frac{3,14}{2} \cdot 650 \cdot 0,35 \cdot 1 \left(\frac{0,087}{1} + 0,4 \right) = 175 \text{ кг}.$$

Усилие, необходимое для среза впуска, зависит от прочности материала на срез, которая для полимерных материалов не определяется. Величина его зависит также от площади среза и от состояния режущего острия. Учесть все эти факторы весьма трудно, к тому же в этом нет необходимости, поскольку нас интересует максимально возможное значение срезающей силы, когда вместо среза может произойти отрыв впуска в тонком месте, рассчитываемый по формуле $Q_{отр.} = \sigma_q \cdot f_{ст} = 650.0{,}02 = 13$ кг.

В момент отрыва впусков необходимо одновременно изгибать разводящие литники, на которые будут действовать изгибающие моменты $M_и$, рассчитываемые по уравнению (54) для сечения расположенного вблизи центрального литника. Изгиб может происходить за пределами упругой деформации, когда напряжения в сечении литника (см.эпюру напряжений на рис.29) можно считать постоянным и уравнение (54) дает

$$M_и = \sigma_q \cdot b \cdot (\frac{h}{2})^2 = 650.0{,}6.(\frac{0{,}3}{2})^2 = 8{,}8 \text{ кг.},$$

которому соответствует изгибающая литник сила

$$Q_и = \frac{M_и}{l_р} = \frac{8{,}8}{2{,}5} = 3{,}5 \text{ кг.}$$

Очевидно, для автоматической работы формы необходимо иметь

$$Q_{в.max} > n \cdot Q_{отр} + n \cdot Q_и$$

$$175 > 6.13 + 6.3{,}5 = 78 + 21 = 99 \text{ кг.}$$

Коэффициент запаса $K_з$ будет равен

$$K_з = \frac{Q_{в\,max}}{n(Q_{отр} + Q_и)} = \frac{175}{99} = 1{,}77$$

Такое значение коэффициента запаса нельзя считать достаточным, поскольку возможны меньшие значения для коэффициента трения μ, от которого зависит $Q_{в.max}$, возможны снижения величины

γ_o и $\Delta\gamma_o$ вследствие усадки и т.п.

Интересно отметить, что колебание температуры извлекаемых из формы изделий и литников слабо влияет на коэффициент запаса, так как зависящая от температуры величина δ_q входит во все члены формулы для K_3 и может быть сокращена.

Для надежной работы формы следует применить центральную втулку большего размера, для которой l_o = I2 мм; $2\gamma_o$ = 9 мм;

= I,05 мм. В этом случае расчет дает

$$Q_{в.max} = \frac{\pi}{2} .650.0,45.I,2 \left(\frac{0,I05}{I,2} + 0,4\right) = 270 \text{ кг.}$$

и $$K_3 = \frac{270}{0,99} = 2,77 .$$

Л И Т Е Р А Т У Р А

О с н о в н а я

I. Р.Г.Мирзоев, И.Д.Кугушев, В.А.Брагинский, Ю.В.Казанков. Основы конструирования и расчета деталей из пластмасс и технологической оснастки для их изготовления. Л., "Машиностроение" 1972.

2. В.Е.Гуль, В.Н.Кулезнев. Структура и механические свойства полимеров. М., "Высшая школа", 1979.

3. Г.В.Сагалаев, В.И.Виноградов, Г.В.Комаров. Основы технологии изделий из пластмасс (цикл лекций). М., Изд.МИТХТ им.М.В.Ломоносова, 1974.

4. Е.Е.Глухов. Методитеские указания по курсовой работе. Конструирование пластмассовых изделий и формующего инструмента. М., Изд. МИТХТ им.М.В.Ломоносова, 1977.

Д о п о л н и т е л ь н а я

I. Р.Г.Мирзоев. Пластмассовые детали машин и приборов. Л., "Машиностроение", 1971.

2. Е.Н.Демин. Справочник по пресс-формам. Л., "Машиностроение" 1967.

3. Н.Н.Лейкин. Конструирование пресс-форм для изделий из пластмасс. М.-Л., "Машиностроение", 1966.

4. Под редакцией Бэра. Основы конструирования изделий из пластмасс. М., "Химия", 1970.

5. М.Н.Бокин, О.П.Циплаков. Конструирование изделий из пластмасс. М.-Л., "Машиностроение", 1966.

6. Н.Н.Лейкин. Конструирование пластмассовых прессованных изделий. М., "Машиностроение", 1964.
7. Е.Е.Глухов. Основные понятия о конструкционных и технологических свойствах пластмасс. М., "Химия", 1970.
8. И.Хуго, И.Кабелка, Ф.Рибах, В.Зильвар, М.Петерка, И.Кохенк, М.Ванделик. Конструкционные пластмассы. М., "Машиностроение", 1969.
9. П.М.Козлов. Применение полимерных материалов в конструкциях, работающих под нагрузкой. М., "Химия", 1966.
10. М.Н.Рудицын, П.Я.Артемов, М.И.Любошиц. Справочное пособие по сопротивлению материалов. Минск. "Вышэйшая школа", 1970.
11. Э.Бернхардт. Переработка термопластичных материалов. М., "Химия", 1962.
12. Д.М.Мак-Кельви. Переработка полимеров. М., "Химия", 1965.
13. Р.В.Торнер. Основные процессы переработки полимеров. М., "Химия", 1977.
14. В.К.Завгородний. Механизация и автоматизация переработки пластических масс. М., "Машиностроение", 1964.
15. В.А.Брагинский. Технология прессования точных деталей из термореактивных пластмасс. Л., "Химия", 1971.
16. Е.Ф.Бекелукова, В.А.Брагинский, Ю.А.Воробьев, Р.Г.Мирзоев, В.Н.Пахталов, А.М.Ростовцев. Допуски и посадки деталей из пластмасс. М., Из-во стандартов, 1971.
17. Е.Е.Глухов, М.П.Шапенков, О.С.Кучма, Ю.Л.Макарова, В.П.Володин. Конструирование формующего и калибрующего инструмента для экструзии профильных изделий из термопластов. Сб. НИИПМ, № 1, 1978.

18. Е.Е.Глухов, Ю.Н.Зачесов. Литье толстостенных изделий из термопластов под низким давлением. Пласт.массы, № 8, 1970.
19. Н.И.Басов, И.И.Релипчук, Ю.В.Казанков. В сб.трудов МИХМ "Машины для переработки полимерных материалов", Вып. 27, М., "Машиностроение", 1964.
20. Э.Л.Калинчев, Э.И.Марам. Влияние режимов прилокения усилий на давление в форме при литье. Пласт.массы, № 2, 1972.
21. Б.Е.Восторгов, Э.А.Калинчев. Расчет сопел литьевых машин, Пласт.массы, № 3, 1975.
22. В.В.Абрамов, К.Ф.Кнельц, А.Ф.Афанасьев. Технический прогресс и стандартизация деталей из пластических масс в массовом производстве. Пласт.массы, № 8, 1975.
23. М.Л. Фридман. Технология переработки кристаллических полиолефинов. М., "Химия", 1977.
24. *В. Н.* Красовский, *А.М.* Воскресенский. Сборник примеров и задач по технологии переработки полимеров. Минск, "Вышэйшая школа", 1975.
25. И.Я.Альшиц, Б.Н.Благов. Проектирование деталей из пластмасс. М., "Машиностроение", 1977.
26. Б.В.Миненков, И.В.Стасенко, Прочность деталей из пластмасс. М., "Машиностроение", 1977.
27. Под ред. Ю.С.Липатова. Теплофизические и реологические характеристики полимеров. Киев, "Наукова Думка", 1977.

Заказ 303 цена 35 коп. Тираж 200 экз.
Ротапринтная МИТХТ им.М.В.Ломоносова,М.Пироговская,1