



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Обработка материалов давлением»

## **ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Лабораторный практикум  
для студентов специальности 1-36 01 05  
«Машины и технология обработки  
материалов давлением»**

Гомель 2006

УДК 678.65(075.8)  
ББК 35.77я73  
О-23

*Рекомендовано научно-методическим советом  
машиностроительного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого  
(протокол № 2 от 22.12.2004 г.)*

Авторы-составители: *Ю. Л. Бобарикин, М. М. Рыженко, А. Н. Швецов*  
Рецензент: канд. техн. наук, декан мех.-технол. фак.  
ГГТУ им. П. О. Сухого *В. П. Русов*

**Обработка** давлением полимерных материалов : лаб. практикум для студентов специальности 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением» / авт.-сост.: Ю. Л. Бобарикин, М. М. Рыженко, А. Н. Швецов. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2006. – 60 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://gstu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.

Лабораторный практикум предназначен для закрепления студентами теоретических знаний по процессам и технологии переработки полимерных материалов, а также основ проектирования формирующего инструмента.

Для студентов специальности 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением».

**УДК 678.65(075.8)**  
**ББК 35.77я73**

© Бобарикин Ю. Л., Рыженко М. М.,  
Швецов А. Н., составление, 2006  
© Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», 2006

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

## *Изучение метода формовой вулканизации резины в прессах*

**Цель работы:** ознакомиться с технологическим процессом изготовления резинового уплотнительного кольца методом формовой вулканизации резины в прессах. Определить усадку изделия после вулканизации.

### Теоретическая часть

Резина представляет собой сложную многокомпонентную систему, в состав которой помимо каучука входит до 10–15 компонентов. Свои ценные технические свойства резина приобретает в завершающем цикле ее производства – в процессе вулканизации.

Специфические свойства резины – высокая эластичность, способность к большим обратимым деформациям при статических и динамических нагрузениях, стойкость к действию активных химических веществ, малая водо- и газопроницаемость, хорошие диэлектрические и другие свойства – обусловили ее широкое использование в различных областях техники.

Основным потребителем резиновых изделий является транспорт – автомобильный, воздушный, железнодорожный. Как ценнейший изоляционный материал, сочетающий диэлектрические свойства с эластичностью и стойкостью к различным атмосферным воздействиям, резина широко применяется в электротехнической промышленности.

Основным сырьем для изготовления резины являются синтетические и натуральные каучуки. Технические свойства резины главным образом зависят от типа каучука, из которого она изготовлена.

К синтетическим каучукам относятся: каучуки стереорегулярные (для изготовления маслбензостойких резиновых изделий); каучуки-сополимеры бутадиена с виниловыми производными (совместно с натуральными каучуками из них изготавливают изделия, имеющие высокое сопротивление динамическим деформациям и износу, например автомобильные шины); хлоропеновые каучуки; бутилкаучуки (используются для изготовления ездовых и варочных камер, теплостойких резинотехнических изделий); каучуки специального назначения (используются для изготовления изделий, подвергающихся действию высоких температур).

Источником получения натуральных каучуков являются каучуконосные растения, произрастающие преимущественно в тропическом поясе. Почти весь натуральный каучук получают с плантаций каучуконосного растения – гевеи.

Натуральный каучук обладает хорошими технологическими свойствами. Он легко пластицируется, каландруется, шприцуются; совмещается со всеми неполярными синтетическими каучуками и имеет высокую клейкость. Применение ненаполненных резин на его основе позволяет максимально использовать его высокоэластические и механические свойства.

К недостаткам резин на основе натурального каучука относятся их неудовлетворительная стойкость к растворителям и низкая термостойкость.

Однако свойства резиновых изделий зависят не только от типа каучука, но и от ингредиентов, применяемых для изготовления резины (вулканизирующие вещества, ускорители и активаторы процесса вулканизации, наполнители, пластификаторы, противостарители).

С помощью вулканизирующего вещества происходит сшивание молекулярных цепей в пространственные структуры за счет поперечных химических связей. Образование таких структур сопровождается резким возрастанием прочностных показателей и эластичности. Основным вулканизирующим веществом для каучуков является сера. Для получения резиновых изделий обычно применяют, в зависимости от выбранного ускорителя вулканизации, 0,2–0,5 масс. ч. серы на 100 масс. ч. каучука.

Ускорители вулканизации, помимо интенсификации, существенно влияют на характер образующихся вулканизационных структур и во многом определяют физико-механические свойства резины. Наиболее распространенными ускорителями являются: цимат, дибутилдитиокарбонат никеля, сульфанамидные ускорители, гуаниды.

Введением различных наполнителей в резиновые смеси можно в широких пределах изменять свойства резин и создавать принципиально новые материалы. Основным наполнителем, применяемым в резиновом производстве, является сажа, применяются так же минеральные наполнители – белая сажа, фторид кальция, силикат кальция и дитамиты – осадочная порода, образованная за счет кремнистых панцирей.

Пластификаторы – низкомолекулярные органические вещества, применяемые для повышения пластичности каучука. В качестве пластификаторов применяют продукты нефтяного происхождения (мине-

ральные масла, мазуты, битумы); продукты переработки каменного угля; продукты растительного и животного происхождения.

Для защиты резин от старения применяют органические вещества, называемые противостарителями или противоокислителями (неозон, альдоль, воски).

### **Метод формовой вулканизации резины в прессах**

Для изготовления изделий из резины применяются основные методы переработки полимеров – экструзия, вальцевание, каландрование, ротационное формование, литье под давлением.

Однако наиболее часто применяемым методом вулканизации резины является формование на прессах. При формовом методе вулканизации резиновое изделие приобретает более плотную и однородную структуру, имеет более точные размеры и более чистую поверхность. При формовании под давлением процесс вулканизации значительно ускоряется, уменьшается возможность образования пузырей и расслоений, качество изделий повышается, т. к. они получают более монолитными.

Для формовой вулканизации применяются вулканизационные прессы, отличающиеся по размерам и способу обогрева рабочих плит, по величине применяемого давления и виду привода.

Различают прессы гидравлические и рычажно-механические с обогревом паром, перегретой водой под давлением или электрическим током.

Вулканизация различных деталей ведется по определенному режиму вулканизации. Для каждой детали разрабатывается технологическая карточка, где указывается шифр резиновой смеси, характеристика заготовки, характеристика готовой детали, а так же режим вулканизации данной заготовки и ее дальнейшая обработка.

Температура вулканизация на прессах составляет, как правило, 140–160 °С. Продолжительность вулканизации зависит от температуры вулканизации, размера изделия и рецептуры применяемых резиновых смесей. Практически продолжительность вулканизации принимается от 6–10 до 60–90 мин.

При вулканизации в прессах под давлением для изделий больших размеров применяют одноместные формы, а для мелких изделий – многоместные. Размеры формы применяются с максимальным использованием поверхности нагрева плит, а вес формы выбирается с учетом удобства обращения с ней.

Качество резиновых изделий в значительной степени зависит от состояния пресс-форм, т. к. резиновые отпрессовки являются зеркальным отображением формирующих поверхностей. В связи с этим следует избегать применения вспомогательных инструментов и приспособлений для открывания пресс-форм с большей твердостью, чем твердость пресс-формы. Периодически пресс-формы необходимо очищать от нагара резиновой смеси, поскольку загрязнение пресс-форм может привести к приварке резины, а, следовательно, и к браку изделия. Известны механические и электрохимические способы очистки пресс-форм.

Механические формы очищают металлическими щетками с последующей промывкой и протиркой.

Электрохимическую очистку производят в горячем 15–20 % растворе едкого натра. Процесс очистки значительно ускоряется, если пресс-форму подвесить на аноде электролитической ванны и через раствор пропускать электрический ток, периодически меняя его направление. Затем пресс-формы погружают в 5 % раствор HCl с последующей промывкой и нейтрализацией.

Вулканизация в прессах считается самым простым способом, при котором происходит передача тепла от металла к вулканизирующему изделию. Однако и при этом способе вулканизации возникает ряд проблем, с которыми приходится считаться при разработке режимов для получения качественных изделий. Правильный выбор периода сохранения текучести, а при изготовлении крупных изделий строгое соблюдение температурного режима вулканизации, допускаемые усадки вулканизаторов, снижение времени вулканизации только путем повышения температуры недопустимо, т. к. смесь должна сохранить текучесть в формах с тем, чтобы были заполнены все пустоты, прежде чем начнется вулканизация.

Основные стадии технологии формовой вулканизации резины в прессах:

1. Выбор или подготовка резиновой смеси с требуемыми физическими, механическими и химическими свойствами. Включает в себя оценку технологических характеристик и при необходимости их доведение до требуемых значений. Смешивание компонентов резиновой смеси для получения однородного состава и равномерности физических и химических свойств.
2. Формование на прессах. Заготовкам из резины при помощи формования придают форму, размеры, плотность и механическую прочность. Процесс формования производится следующим обра-

зом: дозировка резиновой смеси, укладка ее в пресс-формы и прессование до заданной плотности.

3. Вулканизация резиновой смеси в пресс-форме под давлением. Нагрев пресс-формы необходимо осуществлять равномерно. Продолжительность спекания и последующего охлаждения определяются массой изделия. От температурно-временного режима вулканизации во многом зависят физико-механические свойства получаемого изделия.

При вулканизации обычно происходит повышение плотности изделия и его усадка, т. е. уменьшение линейных размеров. Усадку вулканизируемого изделия можно определить:

$$P_{\partial} = \frac{\Delta V}{V_{\partial}} = \frac{V_{г.ф.} - V_{изд}}{V_{г.ф.}} \cdot 100, \%$$

где  $V_{г.ф.}$  – объем гнезда пресс-формы,

$V_{изд.}$  – объем изделия.

4. Механическая обработка. Зачистка поверхностей, обрезка облоя и т.д.

### **Порядок проведения работы**

1. Подготовить пресс-форму. Рабочую поверхность пресс-формы необходимо обезжирить для нормального извлечения из нее вулканизируемого изделия.
2. Загрузить в пресс-форму резиновую смесь.
3. На гидравлическом прессе сжать пресс-форму с резиновой смесью до полного смыкания.
4. В электропечи при температуре 160 °С под давлением вулканизировать изделия в течении 20–30 мин.
5. Произвести расчет усадки при вулканизации.

### **Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Теоретические сведения.
3. Эскиз полученного изделия.
4. Расчет усадки при вулканизации.
5. Выводы по работе.

## Контрольные вопросы

1. Какие виды каучуков бывают?
2. Какие ингредиенты применяются при изготовлении резины?
3. Какие методы применяются для вулканизации резины?
4. Охарактеризуйте метод вулканизации резины на прессах.
5. Охарактеризуйте основные стадии технологии формовой вулканизации резины в прессах.
6. Как производится расчет усадки при вулканизации?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### *Изучение процесса формования полимеров методом прессования*

**Цель работы:** ознакомиться с технологическим процессом изготовления фторопластово-графитовых подшипников скольжения и уплотнений методом прессования. Определить усадку изделия после спекания.

#### Теоретическая часть

Хорошее трение и износостойкость некоторых полимеров, способность работать с незначительной смазкой или без нее явились главным фактором их все расширяющегося применения при изготовлении подшипников скольжения и зубчатых колес. Их малый вес, упругость, бесшумность, отсутствие коррозии, способность работать в воде, в химических, пищевых и питьевых средах все чаще и чаще способствуют их более широкому применению в узлах трения.

Хотя многие полимеры нашли, по меньшей мере, ограниченное применение как подшипниковые материалы, наибольшей популярностью пользуются: нейлон, текстолиты, тефлон и новые литые полимеры типа лексан и дельрин.

Требуемые при применении подшипников скольжения физические свойства приведены в таблице 1, где полимеры сравниваются с некоторыми широко распространенными металлами и неметаллами. Полимеры имеют более высокий предел прочности, чем древесина, углерод и резина, и более низкий модуль упругости, чем подшипниковые материалы. Низкий модуль упругости позволяет полимерам легко приспособляться к неточностям изготовления и отклонениям вала.

Коэффициент теплопроводности полимеров мал, что зачастую требует специального внимания к охлаждению или применения специальных конструкций, в которых полимеры используются в виде тонкого слоя. Следует соблюдать осторожность из-за большого коэффициента расширения при назначении зазора с валом и использовании полимера в любой металлической поддерживающей конструкции.

Обычно измеримые физические объемные свойства не являются важными основаниями для использования полимеров в подшипниках. Вместо этого, зачастую факторами, ведущими к их применению, являются низкий коэффициент трения, бесшумность в работе, коррози-

онная стойкость, отсутствие необходимости доводки, отличная совместимость, которая сводит к минимуму или даже исключает необходимость в смазке.

Таблица 2.1

**Требуемые физические свойства подшипников скольжения**

Полимер	HRC	Предел прочности при растяжении, кг/см <sup>2</sup>	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Модуль упругости, г/см <sup>2</sup> ·10 <sup>4</sup>	Теплопроводность, ккал/м·ч °С	Коэффициент линейного расширения, град-1·10 <sup>5</sup>
Найлон	79	770	1,14	2,8	0,006	10
Слоистые фенопласты	100	700	1,36	3,5	0,096	2,2
Тефлон	60	210	2,2	0,4	0,046	10
Лексан	70	630	1,20	2,2	0,050	12,5
Дельрин	94	700	1,43	2,8	0,060	8,1
Другие материалы:						
Оловянистый бабит	25"	770	7,4	53,4	14,7	2,3
Пористая бронза	40"	12600	6,4	—	7,8	1,9
Дерево	—	63	0,68	12,6	0,050	0,48
Углеграфитовые материалы	73"	140	1,7	14,1	4,6	0,27

" Твердость по Бринелю.

**Тефлон.** Из всех применяемых полимеров в подшипниках и уплотнениях наиболее широкое применение получил политетрафторэтилен (ПТФЭ, тефлон, фторопласт-4)  $CF_2 - [CF_2] - CF_2$ , относящийся к группе кристаллических полимеров. Кристаллическая структура фторопласта-4 нарушается при температуре 600 °К. Он становится прозрачным и переходит в высокоэластичное состояние, которое сохра-

няется до температуры 688 °К. Фторопласт-4 отличается от других полимеров низким коэффициентом трения (трение по стали в пределах 0,05-0,1), широким рабочим диапазоном температур (153–473 °К), сопротивляемостью воздействию химикатов и растворителей и способностью работать в узлах трения без смазки. Несмотря на эти преимущества, высокая стоимость и относительно низкая нагрузочная способность вынудили использовать его с добавлением менее дорогого наполнителя или с упрочняющей подложкой.

Ненаполненный фторопласт-4 обычно применяют при окружных скоростях менее 0,5 м/с. В качестве упрочняющего материала используют от 10 до 50 % по объему стекловолокна, графита, дисульфида молибдена MoS<sub>2</sub>, свинца, бронзы и асбеста. Эти добавки позволяют увеличить окружные скорости приблизительно до 5 м/с.

Подшипники из фторопласта-4 с добавками находят применение в таких областях, как текстильные и учетные машины, насосы, пищевые аппараты, приборы самолетов, авиационные системы управления, а так же при работе с жидким кислородом и жидкими коррозионными веществами.

Разрабатываются сложные подшипниковые материалы, состоящие из стальной подложки, покрытой тонким слоем пористой бронзы, в свою очередь, пропитанным и покрытым тонким поверхностным слоем смеси фторопласта-4 и приблизительно 20 % свинца. Эта композиция имеет высокую прирабатываемость, большой коэффициент теплопроводности и высокий предел прочности при сжатии.

### **Методы переработки фторопластов**

Фторопласт-4 не удается перерабатывать в изделия известными методами на стандартном оборудовании. Переработку суспензионного политетрафторэтилена осуществляют, получая из порошкообразного полимера заготовки и спекая их при высоких температурах (360-385 °С).

Заготовки формуют на гидравлических прессах последующей термической обработкой. Основное внимание при прессовании должно быть обращено на равномерное распределение порошкообразного полимера в форме. Этим методом изготавливают изделия и полуфабрикаты, предназначенные для последующей механической обработки. Полуфабрикаты из фторсодержащих полимеров легко поддаются фрезерованию, сверлению и обработке другими методами.

Для получения полых изделий из порошкообразного фторопласта-4 применяют метод формования заготовок с использованием гидравли-

ческого или воздушного давления и эластичных мембран, играющих роль пуансонов и матриц. Порошкообразный полимер вводят в пространство между пуансоном и матрицей и под давлением формируют заготовки, которые затем подвергают спеканию.

Кроме технологии, предусматривающей прессование и спекание заготовок, используют экструзию с помощью поршневых машин. Для переработки политетрафторэтилена этим методом применяют порошки, обладающие хорошей сыпучестью. Поршневой экструзией изготавливают трубы, стержни и профильные изделия.

Изделия из эмульсионного фторопласта-4 обычно получают экструзией. С этой целью предварительно подготавливают пасты из порошкообразного полимера с жидкими углеводородами. Пасту затем продавливают через головку экструдера. При изготовлении труб полученный экструдат перед спеканием подвергают сушке.

### **Стадии технологического процесса переработки полимеров**

Технология переработки порошкообразных полимеров в изделия методом прессования включает в себя следующие основные стадии:

1. Подготовка пресс-материала. Включает в себя оценку его технологических характеристик и, при необходимости, их доведение до требуемых значений. При выборе марки полимера следует исходить из назначения изделия и условий его эксплуатации. Смешивание компонентов пресс-материала для получения однородного состава и равномерности физических и химических свойств.
2. Прессование. Заготовкам из порошка при помощи формования придают форму, размеры, плотность и механическую прочность, необходимые для последующего изготовления изделий. Процесс прессования производится следующим образом: сборка пресс-формы, дозировка и засыпка порошка в матрицу пресс-формы, прессование до заданной плотности и удаление спрессованной детали.
3. Спекание. Процесс спекания производится как в самой форме, так и после извлечения заготовки из нее. В этом случае заготовку помещают в печь. Очень важен равномерный обогрев полимерного материала. Нагрев заготовки необходимо осуществлять ступенчато. При спекании происходит плавление кристаллов, затем – сплавление отдельных частиц полимера. Продолжитель-

ность спекания и последующего охлаждения определяется массой заготовки. От температурно-временного режима охлаждения во многом зависят физико-механические свойства получаемого изделия. При спекании обычно происходит повышение плотности прессовок и их усадка, т. е. уменьшение размеров по высоте и диаметру. Усадку прессовки можно определить:

$$P_{\partial} = \frac{\Delta V}{V_{\partial}} = \frac{V_{\partial} - V_c}{V_{\partial}} \cdot 100, \%$$

где  $V_{\partial}$  – объем детали до спекания,

$V_c$  – объем детали после спекания.

4. Калибровка. После спекания изделие помещают в калибровочную форму и под давлением калибруют в размер.
5. Механическая обработка. Спеченные изделия при необходимости подвергают механической обработке – шлифованию, зачистке поверхностей, обрезке облоя и т. д.

### **Выполнение работы**

1. Приготовление компонентов шихты: ПТФЭ – 90-95 %, графит – 5-10 % (ГК-1) по массе.
2. Прессование шихты в пресс-форме.
3. Спекание прессовок в электрической печи сопротивления.
4. Калибровка.
5. Определение усадки после спекания прессовки.

### **Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Материалы, применяемые для подшипников скольжения и их свойства.
3. Преимущества и недостатки фторопласта – 4.
4. Основные методы переработки фторопластов.
5. Стадии технологического процесса переработки полимеров методом прессования.
6. Эскиз полученного изделия.
7. Расчет усадки после спекания прессовки.
8. Выводы по работе.

## Контрольные вопросы

1. Какие полимерные материалы применяются для изготовления подшипников скольжения?
2. Какие требования предъявляются к свойствам материалов для изготовления подшипников скольжения?
3. Назовите преимущества и недостатки политетрафторэтилена.
4. Назовите основные методы переработки фторопластов.
5. Назовите стадии технологического процесса переработки полимеров методом прессования.
6. Для чего и как рассчитывается усадка изделия?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### *Получение изделий из термопластов методом литья под давлением*

**Цель работы:** изучить устройство и принцип работы червячной литьевой машины. Произвести расчет основных параметров литья под давлением.

#### **Общие сведения**

Литье под давлением – метод формования изделий из пластмасс и резиновых смесей в литьевых машинах, заключающийся в размягчении материала до вязкотекучего состояния и последующем перемещении его в литьевую форму, где материал затвердевает при изменении температуры, приобретая конфигурацию внутренней полости формы.

Литье под давлением позволяет получать разнообразные изделия сложной формы, обладающие массой от нескольких граммов до нескольких килограммов с толщиной стенки до 10 мм. Получают как единичные, так и крупные партии.

При литье термопластов расплав, заполнивший форму, затвердевает при охлаждении, после чего форму раскрывают и выталкивают изделие.

При формовании реактопластов полимерную композицию впрыскивают в форму, которую затем нагревают до температуры отверждения материала. После этого форму открывают и извлекают из нее готовое изделие.

#### **Оборудование, применяемое для формования полимеров литьем под давлением**

По конструкции пластикатора литьевые машины можно разделить на две основные группы: машины с пластикаторами плунжерного и червячного типов.

Известны конструкции плунжерных литьевых машин с отдельным устройством пластикатора и литьевого цилиндра. В машинах такого типа пластикация очередной порции полимерной композиции совмещается по времени с охлаждением отформованного изделия. Расплав при этом поступает из пластикатора в литьевой цилиндр, постепенно отодвигая назад литьевой плунжер. Однако пластикаторы

поршневого типа не могут обеспечить достаточно равномерного распределения температуры, т. к. нагрев осуществляется за счет теплопередачи от стенок пластикатора к расплаву.

В червячных литьевых машинах (термопласт-автоматах) плавление и пластикация полимерной композиции происходят в цилиндре с червяком.

По характеру движения червяка червячные машины делятся на три группы:

Первая группа – червяк имеет только вращательное движение.

Вторая группа – червяк вращается и одновременно совершает возвратно-поступательное движение, эти машины применяются только как смесители.

Третья группа – червяк вращается и одновременно смещается в осевом направлении к загрузочному окну, эти машины – пластикаторы-дозаторы, работающие совместно с прессами.

На рис. 3.1 приведена кинематическая схема механизма пластикации и впрыска литьевой машины. Осевое смещение червяка обусловлено самим принципом дозирования.

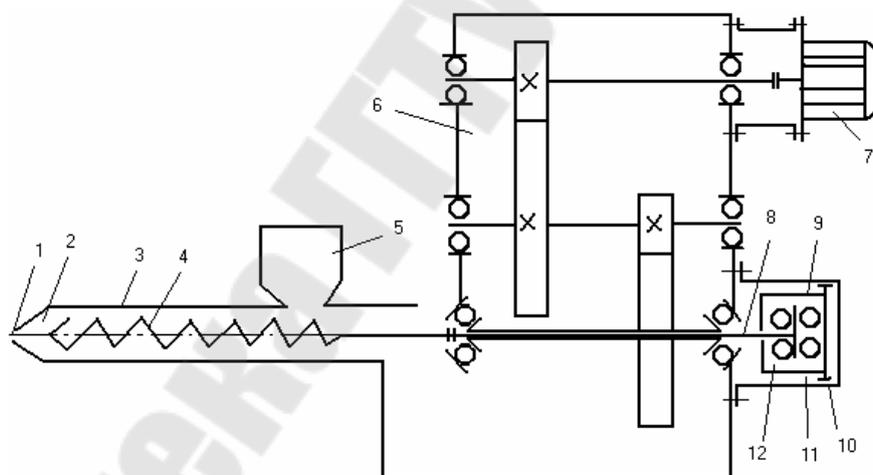


Рис. 3.1 Кинематическая схема механизма пластикации и впрыска литьевой машины:

- 1 – выходное отверстие цилиндра; 2 – подготавливаемая доля расплава;
- 3 – цилиндр; 4 – червяк; 5 – загрузочный бункер; 6 – редуктор;
- 7 – электродвигатель; 8 – шлицевой вал; 9 – поршень; 10 – гидроцилиндр;
- 11 – рабочая полость гидроцилиндра; 12 – упорный подшипник

Червяк 4, вращаясь, не выдавливает расплав из цилиндра 3 через выходное отверстие 1, а накапливает его в передней части цилиндра, смещаясь вправо высвобождая тем самым место для расплава, поступающего из винтового канала червяка. Когда требуемая доза расплава

2 накоплена, рабочая жидкость подается в полость 11 гидроцилиндра 10 и, воздействуя на поршень 9, при помощи шлицевого вала 8, смещает червяк влево, при этом накопленная доза расплава выдавливается в литьевую форму.

Формы для литья под давлением разделяют на стационарные, полустационарные и ручные.

В стационарных формах весь цикл литья изделий и их удаление из формы осуществляют непосредственно на литьевой машине-автомате. Форма не снимается с машины до окончания изготовления заданной программы выпуска изделий (или до ее ремонта – в случае необходимости).

Полустационарные формы имеют съемные оформляющие кассеты, которые после каждого цикла литья извлекают из формы и разнимают вне рабочей зоны машины. Ручные формы целиком извлекают из зоны формирования после каждого цикла литья.

## Расчет основных параметров литья под давлением

### Определение оптимального удельного объема и плотности изделия

Масса изделия и его плотность могут быть повышены увеличением давления формирования и снижения температуры впрыскиваемого материала. Зависимость между давлением, температурой и удельным объемом на стадии формирования и уплотнения расплава может быть выражена уравнением Ван-дер-Ваальса:

$$(P + \pi)(1/\rho - \omega) = 10^{-3} R'T, \quad (3.1)$$

$$(P + \pi)(\vartheta - \omega) = 10^{-3} R'T, \quad (3.2)$$

где  $P$  – давление, МПа;  $\vartheta$  – удельный объем, м<sup>3</sup>/кг;  $T$  – средняя температура, К;  $\rho$  – плотность при температуре переработки;  $\pi$  – коэффициент, характеризующий силу межмолекулярного взаимодействия, МПа;  $\omega$  – коэффициент, характеризующий величину пространства занимаемого молекулами, м<sup>3</sup>/кг;  $R' = R/M$  – коэффициент, характеризующий молекулярную структуру полимера, кДж/(кг · К);  $R = 8,31$  кДж/(кмоль · К) – универсальная газовая постоянная;  $M$  – молярная масса структурной единицы полимера, кг/кмоль (табл. 3.1).

Уравнение состояния позволяет рассчитать оптимальный удельный объем и плотность изделия, полученного при оптимальной тем-

пературе и давлении, что дает возможность контролировать качество изделия по его массе. Позволяет также определить возможную объемную усадку:

$$V_{уд} = \left[ 10^{-3} R'T / (P + \pi) \right] + \omega, \quad (3.3)$$

Таблица 3.1

**Константы уравнения состояния**

Материалы	$M$ , кг/кмоль	$\pi$ , МПа	$\omega$ , м <sup>3</sup> /кг	$R'$ , кДж/(кг · К)
Полиэтилен ВД	28,1	324	$0,875 \cdot 10^{-3}$	0,297
Полиэтилен НД	28,1	677	$1,11 \cdot 10^{-3}$	0,297
Полипропилен	41	160	$0,620 \cdot 10^{-3}$	0,197
Полистирол	104	18	$0,822 \cdot 10^{-3}$	0,0798
СФ (сополимер формальдегида)	–	566	$0,559 \cdot 10^{-3}$	0,277
Полиамид 6, 10	282	107,9	$0,738 \cdot 10^{-3}$	0,0295
Полиамид 6	113	150	$0,722 \cdot 10^{-3}$	0,0733
Полиметилметакрилат	100	213	$0,734 \cdot 10^{-3}$	0,083
Этилцеллюлозный этрол	60,5	237	$0,720 \cdot 10^{-3}$	0,137
Полиамид 12	197	71,7	$0,78 \cdot 10^{-3}$	0,0421
Ацетобутилатцеллюлозный этрол	54,4	281	$0,688 \cdot 10^{-3}$	0,153
Поликарбонат	254	67	$0,61 \cdot 10^{-3}$	0,0327
АТМ-2 (графитопласт)	113	375	$0,656 \cdot 10^{-3}$	0,0733

Пример 1. Определить удельный объем, массу, плотность, усадку и объем изделия из ПЭНП при температуре переработки и комнатной температуре. Объем формы  $V_{\phi} = 63 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ .

Решение:

Примем среднее давление в форме  $P = 30 \text{ МПа}$ ,  $T = 473 \text{ К}$ ,  $R'$  – из табл.3.1. Тогда удельный объем расплава ( $V_{уд.р.}$ ) и плотность расплава ( $\rho_p$ ):

$$V_{уд.р.} = \frac{10^{-3} \cdot 0,297 \cdot 473}{30 + 324} + 0,875 \cdot 10^{-3} = 1,27 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$V_{уд.р.} = 1/\rho_p; \rho_p = \frac{1}{1,27 \cdot 10^{-3}} = 787 \text{ кг/м}^3.$$

Масса изделия:

$$G_{изд.} = \frac{V_{\phi}}{V_{уд.р.}} = \frac{63 \cdot 10^{-6}}{1,27 \cdot 10^{-3}} = 49,6 \cdot 10^{-3} \text{ кг.}$$

При комнатной температуре и атмосферном давлении: удельный объем изделия ( $V_{удл.изд.}$ ), плотность изделия ( $\rho_{20^{\circ}C}$ ):

$$V_{удл.изд.} = \frac{10^{-3} \cdot 0,297 \cdot 293}{324} + 0,875 \cdot 10^{-3} = 1,14 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг};$$

$$\rho_{20^{\circ}C} = \frac{1}{1,14 \cdot 10^{-3}} = 877 \text{ кг/м}^3.$$

Определяем объемную и среднюю усадку изделия из уравнения состояния

$$Y_{л} = (V_{\phi} - V_{изд})/V_{\phi} = [1 - \pi/(P + \pi)] / \left[ 1 + 10^3 M \omega \pi / (RT) \right] \cdot 100, \% \quad (3.4)$$

где  $Y_{л}$  – объемная усадка;

средняя усадка:

$$Y_{л.ср} = 1 - (V_{изд} - V_{\phi})^{1/3} \text{ или } Y_{л.ср} = 1 - (\rho_p - \rho_0)^{1/3}.$$

Откуда средняя усадка равна:

$$Y_{л.ср} = 1 - \sqrt[3]{10^3 M(P + \pi) / [\rho_p RT + 10^3 M \rho_p \omega (P + \pi)]}. \quad (3.5)$$

Подставляя значения в (3.4) получим:

$$Y_{л} = \left[ 1 - \frac{324}{30 + 324} / \left[ 1 + 10^3 \cdot 28,1 \cdot 0,875 \cdot 10^{-3} \cdot 324 / (8,3 \cdot 473) \right] \right] \cdot 100 = 2,8, \%$$

$$V_{изд} = V_{\phi} (1 - Y_V) = 63 \cdot 10^{-6} (1 - 0,028) = 61,24 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$Y_{л.ср} = 1 - (V_{изд} / V_{\phi})^{1/3} \cdot 100 = 0,9, \%$$

## Определение давления, действующего на материал

Давление, действующее на материал в форме вследствие непрерывных потерь на отдельных стадиях процесса (в цилиндре, сопле, литниковых каналах), ниже давления, создаваемого первоначально шнеком.

Давление в форме обеспечивается давлением в гидросистеме машины  $P_r$  с учетом потерь давления в цилиндре и сопле. Давление литья  $P_l$ :

$$P_l = P_r D_{ц}^2 / d_{ш}^2, \text{ МПа}, \quad (3.6)$$

где  $P_r$  – давление рабочей жидкости в гидроцилиндре по манометру, МПа;

$D_{ц}$  – диаметр гидроцилиндра, м;

$d_{ш}$  – диаметр шнека, м.

ГОСТом 6540-68 установлен следующий основной ряд диаметров гидроцилиндров: 10; 12; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 60; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630; 800 и 1000 мм. Для диаметров штоков: 4; 5; 6; 8; 10; 12; 16; 20; 25; 32; 40; 50; 60; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 320; 400; 500; 630 и 800 мм.

Учитывая потери давления

$$P_l = P_m + \Delta P_m, \quad (3.7)$$

где  $P_m$  – давление впрыска, МПа.

Если литьевая машина находится в исправном состоянии, то

$$P_m = KP_l, \quad (3.8)$$

где  $K$  – коэффициент, зависящий от перерабатываемого материала (для полиолефинов  $K = 0,5 \div 0,75$ ; для полистирола  $K = 0,55 \div 0,7$ ; для полиамидов  $K = 0,85 \div 0,9$ ; для поликарбоната и сополимеров полиформальдегида  $K = 0,7 \div 0,85$ );  $d_{ш}$  – диаметр шнека (см. табл. 3.5)

Потери давления в пластикационном цилиндре могут быть с достаточной точностью подсчитаны по формуле:

$$\Delta P_{ц} = \alpha P_l + b(V_{изд}/V_{max} - 0,32) + c, \quad (3.9)$$

где  $\Delta P_{\text{ц}}$  – потери давления в пластикационном цилиндре, МПа;  $P_{\text{л}}$  – давление на материал в цилиндре, МПа;  $V_{\text{изд}}$  – объем отливаемого изделия, м<sup>3</sup>;  $V_{\text{max}}$  – максимально возможный объем отливки на данной машине, м<sup>3</sup>;  $a, b, c$  – коэффициенты, зависящие от перерабатываемого материала (табл. 3.2).

Таблица 3.2

**Значения коэффициентов в уравнении (3.9)**

Материал	$a$	$b$ , МПа	$c$ , МПа
Полиэтилен ВП	0,143	11,5	10,0
Полипропилен	0,33	4,2	6,5
Ударопрочный полистирол	0,187	3,6	10,0
Этрол	0,42	10,0	5,5

**Пример 2.** Рассчитать давление, создаваемое шнеком при впрыске расплава, если  $D_{\text{ц}} = 0,16$  м,  $d_{\text{ш}} = 0,036$  м,  $P_{\text{р}} = 5$  МПа.

Решение:  $P_{\text{л}} = P_{\text{р}} \cdot \frac{D_{\text{ц}}^2}{d_{\text{ш}}^2} = 5 \cdot \frac{0,16^2}{0,036^2} = 98,8$  МПа.

**Пример 3.** Рассчитать потери давления в пластикационном цилиндре при переработке полиэтилена, если  $P_{\text{м}} = 120$  МПа,  $V_{\text{изд}} = 45 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup>,  $V_{\text{max}} = 125 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup>.

Решение:

$$\begin{aligned} \Delta P_{\text{ц}} &= aP_{\text{л}} + b(V_{\text{изд}}/V_{\text{max}} - 0,32) + c = \\ &= 0,143 \cdot 120 + 11,5(45/125 - 0,32) + 10 = 27,6 \end{aligned} \quad , \text{ МПа}$$

Потери давления в цилиндре для поршневых машин составляют  $\Delta P_{\text{ц}} = 0,65P_{\text{л}}$ , для шнековых  $\Delta P_{\text{м}} = 0,1P$ .

Определение диаметра поршня цилиндра ( $D_{\text{п}}$ ), диаметра шнека ( $D_{\text{н.ш.}}$ ) и ход шнека ( $H_{\text{ш}}$ ).

Расчет диаметра шнека из условия необходимого объема впрыска за цикл  $v_{\text{н}}$ :

$$v_{\text{р}} = K \cdot v_{\text{н}}, \quad (3.10)$$

где  $v_{\text{р}}$  - расчетный объем полимера, подготовленного в шнековом пластикаторе к впрыску (равен объему цилиндрической камеры,

находящейся перед шнеком с диаметром  $D_1$ );  $K$  - коэффициент, учитывающий утечки и сжатие полимера при впрыске.

$$v_p = \pi \cdot D_1^2 \cdot H_{III} / 4 = \pi \cdot D_1^3 \cdot K_1 / 4. \quad (3.11)$$

где  $K_1$  - отношение хода шнека к диаметру, т. е.  $H_{III} / D_1$  (табл. 3.3);

$$D_1 = [v_H \cdot K / (0,785 \cdot K_1)]^{1/3}. \quad (3.12)$$

Кроме того, производительность

$$q_{пл} = (0,7 \div 1,4) \cdot (D_2 \cdot 10^2)^{2,5}, \quad (3.13)$$

где  $D_2$  - диаметр шнека, определяемый из условий обеспечения заданной пластикационной производительности.

Таблица 3.3

### Расчетные коэффициенты для определения геометрии шнека

Расчетный коэффициент	Объем впрыска за цикл $v \cdot 10^{-6}, м^3$						
	16	32	63	125	250	500	1000
$K$	1,2-1,5	1,25	1,25	1,3	1,3	1,35	1,35
$K_1$	1,5-1,6	1,7-2	1,7-2	2-2,5	2-2,5	2,5-3	2,5-3
$K_2$	0,13-0,18	0,13-0,18	0,13-0,16	0,125-0,15	0,125-0,14	0,12-0,13	0,11-0,125
$K_3$	0,8-1,0	(большие значения для больших значений $L / D$ )					
$K_4$	0,08-0,13	(большие значения для меньших значений $D$ )					

Диаметр поршня гидроцилиндра:

$$D_{II} = (P_L \cdot D_1^2 / P_r)^{1/2}. \quad (3.14)$$

Значение  $D_{II}$  корректируется по стандартному ряду диаметров. По значению  $D_3$  определяют:

$$D_3 = (P_r \cdot D_{II}^2 / P_L)^{1/2}. \quad (3.15)$$

По полученным значениям  $D_1$ ,  $D_2$ ,  $D_3$  устанавливают номинальный диаметр шнека  $D_H$  как наибольшее из этих трех значений диаметров, скорректированное по стандартному ряду. Затем определяют фактическое давление литья  $P_\phi$  при номинальном диаметре шнека  $D_{III}$  и диаметре поршня  $D_{PI}$ :

$$P_\phi = P_\Gamma \cdot D_{PI}^2 / D_H^2. \quad (3.16)$$

Ход шнека  $H_{III}$  уточняют по  $D_H$ :

$$H_{III} = 4 \cdot v_p / (\pi \cdot D_H^2). \quad (3.17)$$

Пример 4. Определить диаметр и ход шнека для литьевой машины с объемом впрыска за цикл  $125 \text{ см}^3$ . Исходные данные и расчетные коэффициенты:

$$V_{изд} = 115 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3, \quad q_{III} = 25 \text{ кг/ч};$$

$$P_L = 120 \text{ МПа} = 120 \cdot 10^6 \text{ Па}; \quad P_\Gamma = 5 \text{ МПа} = 5 \cdot 10^6 \text{ Па}; \quad K = 1,3; \quad K_1 = 2.$$

Решение:

1.  $D_1 = [V_{изд} \cdot K / (0,785 \cdot K_1)]^{1/3} = [115 \cdot 10^{-6} \cdot 1,3 / (0,785 \cdot 2)]^{1/3} = 4,51 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$
2.  $D_2 = (q_{III} / 1)^{1/2,5} \cdot 10^{-2} = (25 / 1)^{1/2,5} \cdot 10^{-2} = 3,62 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$
3.  $D_{PI} = (P_L \cdot D_1^2 / P_\Gamma)^{1/2} = [120 \cdot 10^6 \cdot (4,51 \cdot 10^{-2})^2 / (5 \cdot 10^6)]^{1/2} = 0,220 \text{ м}.$

По стандартному ряду диаметров принимаем  $D_{PI} = 0,225 \text{ м}.$

4.  $D_3 = (P_\Gamma \cdot D_{PI}^2 / P_L)^{1/2} = [5 \cdot 10^6 \cdot 0,225^2 / (120 \cdot 10^6)]^{1/2} = 4,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$

По найденным значениям  $D_1$ ,  $D_2$  и  $D_3$  принимаем номинальный диаметр шнека  $D_H = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}.$

5.  $P_\phi = P_\Gamma \cdot D_{PI}^2 / D_H^2$

$$P_\phi = 5 \cdot 10^6 \cdot 0,225^2 / (4 \cdot 10^{-2})^2 = 151,3 \cdot 10^6 \text{ Па} = 151,3 \text{ МПа}$$

Таблица 3.4

## Техническая характеристика литьевых машин

Параметр	Модель машины (условная)							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Диаметр шнека $D \cdot 10^{-3}$ , м								
	20	25	30	40	50	60	80	100
	25	30	40	50	60	80	100	120
	30	40	50	60	80	100	120	–
Давление литья $P_l$ , МПа								
	156	144	178	156	173	159,5	187,2	–
	100	100	100	100	120	120	120	120
	69,5	56,2	64	69,5	67,5	67,5	83,5	–
Объем впрыска за цикл $\nu \cdot 10^{-6}$ , м <sup>3</sup>								
	7,85	13,6	33,8	62	124	232	498	990
	16	32	63	125	250	500	1000	2000
	22	55,8	100	180	445	780	1420	–

## Определение время цикла литья изделий под давлением

Расчет продолжительности цикла ( $\tau_{ц}$ ) литья под давлением изделий и пластикационной способности ( $q_{пл}$ ) литьевой машины проводят следующим образом:

$$\tau_{ц} = \tau_{М} + \tau_{Т} + \tau_{П}, \quad (3.18)$$

где  $\tau_{М}$  - машинное время, с;  $\tau_{Т}$  - технологическое время, с;

$$\tau_{Т} = \tau_{выд} + \tau_{охл.б/д}, \quad (3.19)$$

где  $\tau_{выд}$  - продолжительность выдержки полимера в форме под внешним давлением, с;  $\tau_{охл.б/д}$  - продолжительность охлаждения изделия в форме без внешнего давления, с;  $\tau_{П}$  - продолжительность паузы между циклами, с.

Технологическое время ( $\tau_{Т}$ ) показывает продолжительность охлаждения до заданной температуры в центре изделия  $T_{изд}$ , при которой возможно извлечение готового изделия.

При  $f = B/h > 2,5$  для плоского изделия

$$\tau_{Т} = \ln[1,27 \cdot (T_{М} - T_{\phi} / T_{изд} - T_{\phi})] \cdot h / \pi^2 \cdot a. \quad (3.20)$$

При  $f \leq 2,5$  для плоского изделия

$$\tau_T = \ln[1,27 \cdot (T_M - T_\phi / T_H - T_\phi)] \cdot h^2 \cdot f^2 / [\pi^2 \cdot a \cdot (1 + f)]. \quad (3.21)$$

Для цилиндрического изделия

$$\tau_T = \ln[1,6 \cdot (T_M - T_\phi / T_H - T_\phi)] \cdot r^2 / (5,67 \cdot a), \quad (3.22)$$

где  $B$  - ширина изделия, м;  $h$  - толщина стенки, м;  $r$  - толщина стенки цилиндрического изделия, м;  $T_M$  - температура впрыскиваемого материала;  $T_\phi$  - температура формы;  $T_M \approx T_\phi + (10 \div 30)$  - для тонкостенных изделий ( $h \leq 3$  мм),  $T_M = T_\phi + 50$  - для толстостенных изделий ( $h \geq 5$  мм;  $a$  - коэффициент температуропроводности полимера при температуре переработки,  $\text{м}^2/\text{с}$ ).

Машинное время:

$$\tau_M = \tau_{см} + \tau_{впр} + \tau_{разм}, \quad (3.23)$$

где -  $\tau_{см}$ ,  $\tau_{разм}$ ,  $\tau_{впр}$  - время смыкания, размыкания и впуска материала.

Следовательно,

$$\tau_{ц} = \tau_{см} + \tau_{впр} + \tau_{выд} + \tau_{охл.б/\delta} + \tau_{разм} + \tau_{пл}.$$

Продолжительность пластикации

$$\tau_{пл} = \tau_{см} + \tau_{охл.б/\delta} + \tau_{разм}.$$

Обозначив  $C_1 = \tau_{выд} / \tau_T$ ;  $C_2 = (\tau_{см} + \tau_{разм}) / \tau_T$  и учитывая, что

$\tau_{охл.б/\delta} = \tau_T - \tau_{выд}$ , получим:

$$\tau_{пл} = \tau_T - \tau_{выд} + \tau_{см} + \tau_{разм} = \tau_T - C_1 \cdot \tau_T + C_2 \cdot \tau_T = \tau_T(1 - C_1 + C_2), \quad (3.24)$$

$$\tau_{охл.б/\delta} = (1 - C_1) \cdot \tau_T.$$

Пластикационная производительность литьевой машины:

$$q_{пл} = 3600 \cdot m / [\tau_T \cdot (1 - C_1 + C_2)] = 3600 \cdot v_u \cdot \rho / [\tau_T \cdot (1 - C_1 + C_2)] \text{ или}$$

$$q_{пл} = 3600 \cdot v_u \cdot \rho \cdot n \cdot k' / [(k \cdot \tau_{пл})], \quad (3.25)$$

где  $v_u$  - объем отливки,  $м^3$ ;  $m$  - масса отливки,  $кг$ ;  $\rho$  - плотность материала,  $кг/м^3$ ;  $n$  - число гнезд;  $k'=1,1 \div 1,3$  - коэффициент, учитывающий литниковую систему;  $k$  - коэффициент, учитывающий вязкость расплава ( $k = 0,7$  для вязких материалов;  $k = 0,9$  - менее вязких).

Коэффициенты  $C_1$  и  $C_2$ , а также необходимую минимальную пластикационную способность производительности литьевой машины выбираем из таблицы 3.5.

Производительность литьевых машин  $Q$  (в  $кг/ч$ ) можно рассчитать по формуле

$$Q = 3,6 \cdot m \cdot n / \tau_u, \quad (3.26)$$

где  $m$  - масса изделия,  $г$ ;  $\tau_u$  - время цикла,  $с$ ;  $n$  - количество гнезд в форме.

Таблица 3.5

### Пример пластикационной способности

Параметры и коэффициенты	Объем впрыска за цикл $v \cdot 10^6, м^3$						
	16	32	63	125	250	500	1000
$C_1$	0,3-0,5	0,3-0,5	0,3-0,5	0,3-0,5	0,3-0,4	0,3	0,3
$C_2$	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,14	0,11
$\tau_T, с$	21	27,5	27,5	30	40	55	80
Расчетная минимально необходимая пластикационная способность $q_{пл}, кг/ч$	5	7	14	25	33	43	60

Таблица 3.6

## Производительность литьевых машин

Параметр	Объем впрыска за цикл $v \cdot 10^6, \text{ м}^3$						
	16	32	63	125	250	500	1000
Среднее время охлаждения для ПС $\tau_T, \text{ с}$	21	27,5	27,5	30	40	55	80
Принятая в расчете продолжительность холостого цикла, $\text{ с}$	4	5,15	7	7,2	9	15	18
Расчетная производительность, $\text{ кг/ч}$	1,8	2,7	4,9	9,1	14	19,6	27,8
Расчетная производительность, $T$	9,8	15	28	51,4	78,2	110,3	156,3
Время впрыска, $\text{ с}$	0,4÷0,5	0,4÷1,0	0,5÷1,2	0,8÷1,5	0,8÷1,8	1÷2	1,5÷2,5

Если взять среднюю производительность литьевой машины по полистиролу (см. табл. 3.6), то с помощью поправочного коэффициента  $K_3$ , учитывающего изменение пластикационной способности машины, можно определить производительность при переработке других материалов.

Для поливинилхлорида и полиолефинов  $K_3 = 1$ ; полиамида, поликарбоната и полиформальдегида  $K_3 = 0,7$ .

Быстроходность  $B$  литьевой машины определяется числом холостых циклов за 1 час:

$$B = 3600 / \tau_m. \quad (3.27)$$

Число циклов машины за 1 час:  $N = 3600 / \tau_y$ ;

$$N = 3600 / [\tau_y + (3600 / B)]. \quad (3.28)$$

$$N_{\text{год}} = 3600 \cdot A / [\tau_T + (3600 / B)], \quad (3.29)$$

где  $A$  - годовой эффективный фонд рабочего времени машины,  $\tau$ .

Пример 5. Рассчитать производительность литьевой машины с  $v_H = 125 \text{ см}^3$ . Исходные данные: изделие “Втулка” из ПЭНП  $V_{\text{изд}} = 100 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$ ;  $m = \rho \cdot V_{\text{изд}} = 910 \cdot 100 \cdot 10^{-6} = 91,0 \cdot 10^{-3} \text{ кг}$ ;

$\rho = 910 \text{ кг/м}^3$  - плотность ПЭНП; толщина стенки  $r = 2,5 \text{ мм}$ ; температура материала при впрыске у сопла  $T_M = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $T_\Phi = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $T_{изд} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $n = 1$ .

### Решение.

$Q = 3,6 \cdot m \cdot n / \tau_u$ ;  $\tau_u = \tau_{см} + \tau_{впр} + \tau_T + \tau_{разм} + \tau_{II}$ ;  $\tau_{см} + \tau_{разм} = \tau_{хол.х}$  - берем по таб. 6;  $\tau_{хол.х} = 7,2 \text{ с}$ ;  $\tau_{впр} = 1 \text{ с}$ ;  $\tau_{II} = 3 \text{ с}$ .

$\tau_T$  для цилиндрического изделия определяем по (3.22);

$$\tau_T = \ln[1,6 \cdot (T_M - T_\Phi) / (T_{изд} - T_\Phi)] \cdot r^2 / 5,67 \cdot a = \\ = \ln[(1,6 \cdot (200 - 50) / (70 - 50))] \cdot (2,5 \cdot 10^{-3})^2 / 5,67 \cdot 0,102 \cdot 10^{-6} = 26,4 \text{ с}.$$

$$\tau_u = 7,2 + 1 + 3 + 26,4 = 37,6 \text{ с};$$

$$Q = 3,6 \cdot 91,0 \cdot 1 / 37,6 = 8,75 \text{ кг/ч}.$$

### **Порядок проведения работы**

1. Изучить устройство и принцип работы червячной литьевой машины.
2. Определить удельный объем, массу, плотность и усадку изделия.
3. Рассчитать давление, создаваемое шнеком при впрыске расплава.
4. Рассчитать продолжительности цикла.
5. Рассчитать производительность литьевой машины.

### **Содержание отчета**

1. Цель работы.
2. Теоретические сведения.
3. Расчет основных параметров литья под давлением.
4. Выводы по работе.

### **Контрольные вопросы**

1. Какое оборудование применяется для формования изделий из пластмасс методом литья под давлением?
2. Расскажите устройство и принцип работы червячной литьевой машины.
3. Как определить удельный объем, массу, плотность и усадку изделия?
4. Приведите расчет давления, создаваемое шнеком при впрыске расплава.
5. Приведите расчет продолжительности цикла.
6. Приведите расчет производительности литьевой машины.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### *Расчет гнездности формы при прессовании и литниковой системы при литьевом прессовании и литье под давлением.*

#### *Расчет размеров загрузочной камеры*

**Цель работы:** изучить методику расчета гнездности формы и литниковой системы при литьевом прессовании и литье под давлением, ознакомиться с конструктивными типами оформляющих гнезд, практически рассчитать гнездность формы и литниковую систему.

#### **Расчет гнездности формы для прямого прессования**

Многогнездную форму нецелесообразно проектировать в следующих случаях: количество разъемов больше двух; для изделий, имеющих много арматуры; если изделие имеет сложную конфигурацию.

При условии, что этих ограничений нет, гнездность формы определяют из соотношения номинального усилия ( $P_n$ ) мощности того пресса или литьевой машины, на который проектируется форма и усилия прессования или литья ( $P_{np,лит}$ ).

$$n = \frac{P_n}{P_{np}} = \frac{P_n}{k p_0 f}, \quad (4.1)$$

где  $p_0$  – удельное давление прессования, МПа;

$f$  – площадь прессования, м<sup>2</sup>;

$k$  – коэффициент, учитывающий потери давления при преодолении сил трения в уплотнениях и гидросистеме.

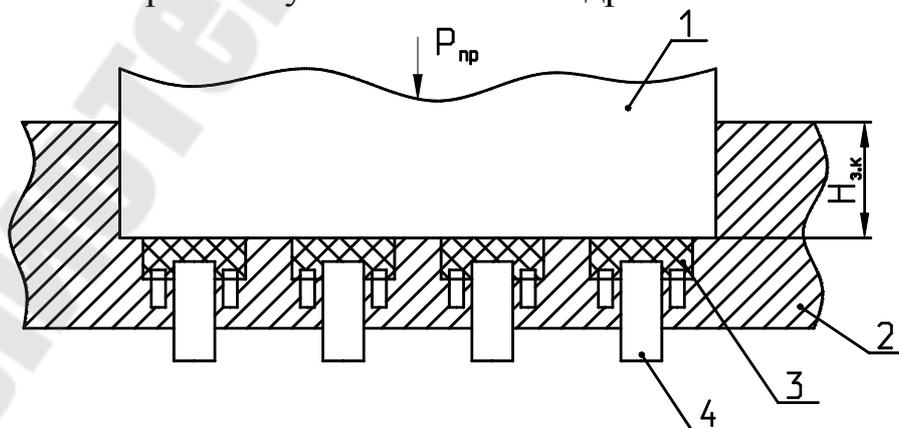


Рис.4.1 Схема оформляющих гнезд и загрузочной камеры:  
1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – гнезда формы; 4 – выталкиватели

Величину удельного давления прессования определяют по манометрическому давлению в гидроцилиндре пресса при прессовании:

$$P_o = \frac{P_m \cdot k_{np} \cdot f_{плж}}{f_{з.к}}, \quad (4.2)$$

где  $k_{np} < 1$  – коэффициент полезного действия пресса;

$f_{плж}$  – площадь поперечного сечения плунжера, мм<sup>2</sup>;

$f_{з.к}$  – площадь горизонтальной проекции загрузочной камеры, мм<sup>2</sup>.

Площадь сечения полости загрузочной камеры для прямого прессования определяется по формуле:

$$F_{з.к} = 1,1F_{изд} \cdot \Pi_{изд}, \quad (4.3)$$

где  $F_{изд}$  – площадь изделия;

$\Pi_{изд}$  – количество одновременно прессованных изделий.

Объем загрузочной камеры формы определяется по формуле:

$$V_{з.к} = V_{изд} \cdot K \cdot \Pi_{изд}, \quad (4.4)$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий вид загружаемого материала ( $K = 1,45$  – таблетированный и порошкообразный;  $K = 2.75$  – волокнистый и тканевый);  $V_{изд}$  – объем изделия.

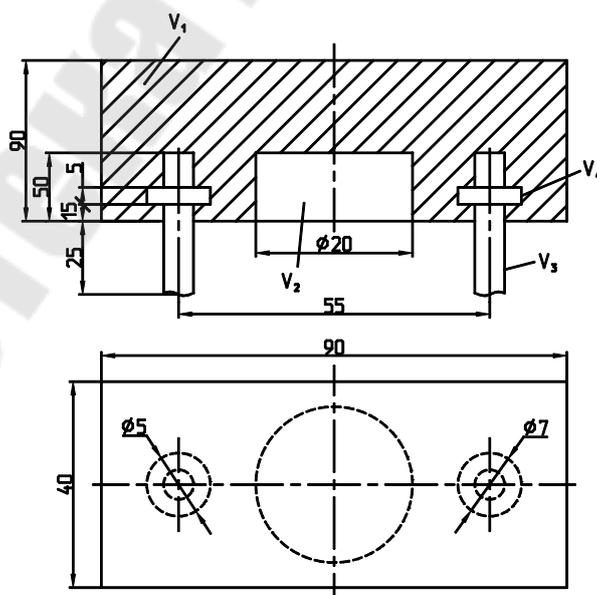


Рис.4.2. Соединительная вилка

**Пример 1.** Рассчитать размеры загрузочной полости формы (рис.4.2) для прямого прессования:

а) Объем прессуемого изделия равен:

$$V_{изд} = V_1 - V_2 - 2 \cdot V_3 - 2 \cdot V_4 = \\ = 9 \cdot 9 \cdot \frac{3 \cdot 14}{4} \cdot (2^2 \cdot 5 + 0,7^2 \cdot 0,5 \cdot 2 + 0,5^2 \cdot 4,5 \cdot 2) = 298,36 \text{ см}^3 ;$$

б) Площадь сечения полости загрузочной камеры для прямого прессования определяется по формуле (4.3):

$$F_{з.к.} = 1,1 \cdot 36 \cdot 4 = 158,4 \text{ см}^2 ,$$

где  $F_{изд} = 36 \text{ см}^2$  – площадь изделия;

$\Pi_{изд} = 4$  – количество одновременно прессованных изделий.

в) Объем загрузочной камеры формы определяется по формуле (4.4):

$$V_{з.к.} = 298,36 \cdot 1,45 \cdot 4 = 1730,5 \text{ см}^3 ;$$

г) Высоту загрузочной камеры формы:

$$V_{з.к.} = F_{з.к.} \cdot H_{з.к.}, \text{ откуда}$$

$$H_{з.к.} = V_{з.к.} / F_{з.к.} = 1730,5 / 158,4 = 10,92 \text{ см} = 109,2 \text{ мм} .$$

### **Оценка гнездности формы**

#### **по экономико-техническим параметрам**

Оценку осуществляют путем сравнения фактического фонда рабочего времени с техническим временем выполнения задания по выпуску изделия в данной пресс-форме:

$$n = (\tau^1 \cdot \delta \cdot z \cdot k_{cn}) / c, \quad (4.5)$$

где  $\tau^1$  – время выдержки изделия в пресс-форме на 1 мм толщины изделия, мин;

$\delta$  – половина наибольшей толщины изделия, мм;

$z$  – месячное задание по выпуску изделия, шт;

$c$  – месячный фонд рабочего времени, мин;

$k_{cn}$  – коэффициент, зависящий от типа пресс-формы (съемная или стационарная) и наличия арматуры в изделии. Съемная, полустационарная – 1,3 без арматуры; 1,8 – до 3 единиц арматуры; 2,5 больше трех единиц арматуры. Стационарная: 1,1 – без арматуры; 1,2 – до трех единиц арматуры; 1,5 – больше трех единиц арматуры.

## Технико-экономическая оптимизация гнездности формы

Оптимальная гнездность формы должна обеспечивать наименьшую себестоимость изготовления изделия. Общая стоимость программы изделия складывается:  $c_1$  – стоимость материала изделия;  $c_2$  – электроэнергии;  $c_3$  – оснастки;  $c_4$  – оборудования;  $c_5$  – масла и вспомогательных материалов;  $c_6$  – производственных площадей;  $c_7$  – заработной платы обслуживающего персонала;  $c_8$  – амортизационных и прочих расходов.

Известно, что себестоимость изготовления пластмассовых изделий складывается из двух переменных величин: зарплаты прессовщика и себестоимости формы. При этом с увеличением числа гнезд зарплата прессовщика снижается, а себестоимость формы увеличивается. В общем виде эта зависимость запишется:

$$C_{д} = \frac{C_{np}}{n \cdot K_1} + \frac{C_{\phi} \cdot K_2 \cdot n}{\Pi}, \quad (4.6)$$

где  $C_{д}$  – себестоимость изготовления одной детали;  $C_{np}$  – себестоимость прессования с накладными расходами;  $C_{\phi}$  – себестоимость одного гнезда формы;  $n$  – число гнезд в форме;  $\Pi$  – количество деталей на годовую программу;  $K_1$  – коэффициент, учитывающий снижение себестоимости прессования с увеличением количества гнезд;  $K_2$  – коэффициент, учитывающий себестоимость формы с увеличением числа гнезд.

Оптимальное число гнезд  $n$  получаем тогда, когда себестоимость детали ( $C_{д}$ ) – наименьшая.

Дифференцируя уравнение (4.6), можно определить оптимальное число гнезд:

$$n = \sqrt{\frac{C_{np} \cdot \Pi}{K_1 \cdot K_2 \cdot C_{\phi}}}, \quad (4.7)$$

где  $K_1 = 0,6$ ;  $K_2 = 0,75$ .

Подставляя значения  $K_1$  и  $K_2$  в (4.8) получаем:

$$n = \sqrt{\frac{C_{np} \cdot \Pi}{0,45 \cdot C_{\phi}}}. \quad (4.8)$$

Следовательно, зная готовую программу, себестоимость прессования и себестоимость одного гнезда формы, можно определить оптимальное число гнезд.

$$n = \sqrt{\frac{150 \cdot 10000}{0,45 \cdot 200000}} = 4,1 \text{ шт.}$$

Принимаем  $n = 4$  гнезда.

После определения экономически целесообразного числа гнезд, аналитическим путем проверяется возможное число гнезд с технической точки зрения путем сопоставления его с полезной площадью формовкладыша группового блока. Правильность выбора оптимальной гнездности формы может быть подтверждена подсчетом себестоимости детали ( $C_d$ ), которая до известного предела находится в обратной зависимости от числа гнезд.

При одногнездной форме:

$$C_d = \frac{C_\phi \cdot \kappa_2 \cdot n}{\Pi} + \frac{C_{np}}{n \cdot \kappa_1} = \frac{200000 \cdot (1 \cdot 0,75)}{10000} + \frac{150}{1 \cdot 0,6} = 265 \text{ р.}$$

При двухгнездной форме:

$$C_d = \frac{200000 \cdot (2 \cdot 0,75)}{10000} + \frac{150}{2 \cdot 0,6} = 155 \text{ р.}$$

При трехгнездной форме:

$$C_d = \frac{200000 \cdot (3 \cdot 0,75)}{10000} + \frac{150}{3 \cdot 0,6} = 128,3 \text{ р.}$$

При четырехгнездной форме:

$$C_d = \frac{200000 \cdot (4 \cdot 0,75)}{10000} + \frac{150}{4 \cdot 0,6} = 122,5 \text{ р.}$$

При пятигнездной форме:

$$C_d = \frac{200000 \cdot (5 \cdot 0,75)}{10000} + \frac{150}{5 \cdot 0,6} = 125 \text{ р.}$$

Из расчета следует, что минимальная себестоимость детали обеспечивается четырехгнездной формой.

### **Расчет литниковой системы пресс-формы**

В пресс-формах для литьевого прессования литниковая система (ЛС) предназначена для перетекания пресс-массы из загрузочной камеры в оформляющее гнездо. К литниковой системе относятся:

1) Основной литник – для подачи пресс-массы из загрузочной камеры в формирующую полость. Литник выполняется в основном круглого сечения, а в форме с вертикальной линией разъема – прямоугольного сечения;

2) Разводящий литник – канал прямоугольного или трапецеидального сечения, отходящий от основного литника в сторону оформляющей полости (гнезда);

3) Впускной литник – канал прямоугольного или трапецеидального сечения, через который масса поступает в гнездо.

На рис.4.3 представлена литниковая система, применяемая в многогнездовых формах.

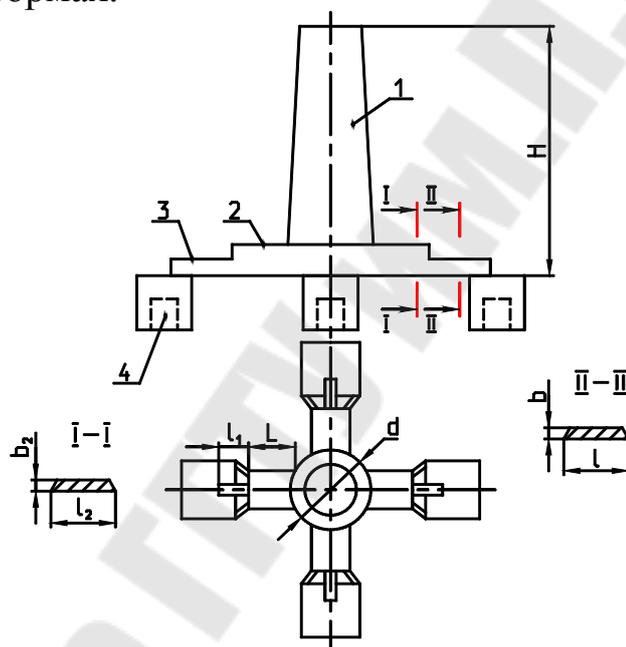


Рис.4.3. Схема разветвленной литниковой системы:

- 1 – центральный литник; 2 – разводящий литник; 3 – впускной литник;  
4 – пластмассовое изделие

Литниковая система состоит из основного или центрального литника диаметром  $d$ , разводящего и впускного литников размерами  $l_2 \times b_2$  и  $l \times b$ , вентиля-канала.

Литниковая система должна удовлетворять следующим требованиям:

1. Пресс-масса не должна преждевременно затвердевать в литниковой системе, поэтому расстояние от нижней части загрузочной камеры до оформляющего гнезда не должно превышать:  
 $H + l_1 + L \leq 60 - 100$  мм.

2. При прохождении литника через две плиты необходимо применять литниковые втулки.

3. Если основных литников несколько, то их следует располагать симметрично оформляющему гнезду, что позволяет равномерно распределить поток массы.

4. Для создания соответствующего напора в литниковой системе площадь наименьшего поперечного сечения основного или разводящего литника должна быть больше или равна площади поперечного сечения впускного литника (или суммы площадей поперечного сечения впускных литников в многогнездной форме).

5. Подвод впускных литников следует располагать у наиболее крупных элементов прессуемого изделия.

6. Длину впускного литника  $l$  следует принимать не более 8 мм, а в месте перехода впускного литника в оформляющее гнездо необходимо предусматривать фаску  $(0,3 - 0,5) \text{ мм} \times 45^\circ$ .

Диаметр отверстия основного литника  $d$  определяют после установления площади сечения впускного литника.

Размеры впускного литника и вентиляционных каналов определяют по таблице (Приложение П1), исходя из рассчитанной площади поперечного сечения.

### **Расчет площади поперечного сечения элементов литниковой системы (ЛС) и размеров загрузочной камеры при прессовании**

Площадь поперечного сечения впускных литников зависит от объема и конструкции изделия, габаритных размеров, наличия отверстий и арматуры, наполнителя, давления в процессе прессования, температуры прессования.

Площадь поперечного сечения впускного литника определяется по формуле:

$$F_{вп} = K \cdot V_{изд} / n_{в.л.} \quad (4.9)$$

где  $K$  – коэффициент зависящий от вида наполнителя:  $K = 0,6$  – древесный и минеральный наполнители;  $K = 1$  – волокнистый наполнитель;  $K = 1,25$  – при наличии большого числа знаков или арматуры;  $n_{в.л.}$  – количество впускных литников к изделию.

Площадь вентиляционного канала определяется по формуле:

$$F_{в-к} = 0,05 \cdot V_{изд} / n, \quad (4.10)$$

где  $V_{изд}$  – объем прессуемого изделия;  
 $n$  – количество вентиляционных каналов.

Площадь поперечного сечения разводящего литника должна быть больше в 1,3 раза суммы поперечных сечений впускных литников:

$$F_{р.л} = 1,3 \cdot n_{в.л} \cdot F_{в.л}. \quad (4.11)$$

**Площадь наименьшего сечения основного литника равна сумме площадей поперечных сечений разводящих литников:**

$$F_{осн.л.} = n_{р.л} \cdot F_{р.л}. \quad (4.12)$$

Площадь верхней загрузочной камеры для литьевого прессования определяется:

$$F_{з.к} = 1,1 \cdot (F_{изд} \cdot n + F_{л.с}), \quad (4.13)$$

где  $F_{изд}$  – площадь изделия в плане,  $см^2$ ;  $n$  – количество изделий;  
 $F_{л.с}$  – суммарная площадь литниковой системы в плане,  $см^2$ .

Объем загрузочной камеры определяется по формуле:

$$V_{з.к} = K \cdot V_{изд} \cdot n + V_{л.с}, \quad (4.14)$$

где  $K$  – коэффициент, учитывающий вид загружаемого материала  
( $K = 1,45$  – таблетированный и порошкообразный;  
 $K = 2,75$  – волокнистый и тканевый).

Пример 2. Рассчитывать ЛС для литьевого прессования изделий в четырехгнездной форме. Пресс-масса 04-010-12 ГОСТ 5689-79 (наполнитель – древесная мука).

Объем прессуемого изделия (рис.4.2) равен:

$$V_{изд} = V_1 - V_2 - 2V_3 - 2V_4 =$$

$$9 \cdot 4 \cdot 9 - \frac{3,14}{4} (2^2 \cdot 5 + 0,7^2 \cdot 0,5 \cdot 2 + 0,5^2 \cdot 4,5 \cdot 2) = 298,36 \text{ см}^3$$

Определяем площадь поперечного сечения впускного литника (4.9):

$$F_{вн} = 0,6 \cdot 298,36 / 3 = 59,6 \text{ мм}^2$$

Принимаем  $K = 0,6$ ,  $n_{вн} = 3$ .

Тогда из Приложения П1 выбираем размеры поперечного сечения впускного литника:

$$l_2 \times b_2 = (2,5 \times 2,4) \text{ мм, или } F_{в.л} = 60 \text{ мм}^2.$$

Площадь вентиляционного канала (4.10):

$$F_{в.к.} = 0,05 \cdot 298,36 / 2 = 7,5 \text{ мм}^2,$$

где  $n$  – 2 принятых вентиляционных канала.

Из Приложения П1 находим размер вентиляционного канала:

$$l_3 \times b_1 = 22 \times 0,35 \text{ мм, или } F_{в.к.} = 7,7 \text{ мм}.$$

Площадь поперечного сечения разводящего литника (4.11):

$$F_{р.л.} = 1,3 \cdot 3 \cdot 60 = 234 \text{ мм}^2.$$

Выбираем размеры поперечного сечения разводящего литника из Приложения П1:

$$l_1 \times b_1 = (63 \times 3,9) \text{ мм, или } F_{р.л.} = 245,7 \text{ мм}^2$$

Площадь наименьшего сечения основного литника (4.12):

$$F_{осн.л.} = 4 \cdot 245,7 = 982,8 \text{ мм}^2.$$

Следовательно, диаметр входного сечения основного литника

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{осн.л.}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 982,8}{3,14}} = 35,38 \text{ мм}.$$

Округленно:  $d = 36 \text{ мм}$ .

Определяем площадь верхней загрузочной камеры для литьевого прессования, исходя из требований, что расстояние от нижней части загрузочной камеры до оформляющего гнезда не должно превышать  $H + l_1 + h \leq 60 \dots 100 \text{ мм}$ , где  $H$  – высота основного литника;  $h$  – длина разводящего литника;  $l_1 = 8 \text{ мм}$  – длина впускного литника.

Принимаем  $H = 60 \text{ мм}$ ;  $h = 20 \text{ мм}$ ;  $l_1 = 8 \text{ мм}$ ;  $d_{осн.л.} = 35 \text{ мм}$ , откуда

$$F_{осн.лит} = \frac{\pi \cdot d_{осн.л.}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 3,6^2}{4} = 10,17 \text{ см}^2;$$

$$F_{р.л.} = l_2 \cdot h = 6,3 \cdot 2 = 12,6 \text{ см}^2;$$

$$F_{в.л.} = l_2 \cdot l_1 = 2,5 \cdot 0,8 = 2 \text{ см}^2.$$

Следовательно, площадь загрузочной камеры будет равна:

$$F_{з.к.} = 1,1(36 \cdot 4 + 10,17 + 12,6 + 2) = 185,65 \text{ см}^2.$$

Определяем объем литниковой системы:

$$V_{л.с} = F_{осн.л} \cdot H + F_{р.л.} \cdot b_1 + F_{в.к} \cdot l_2 = 10,17 \cdot 6 + 12,6 \cdot 0,39 + 2 \cdot 0,24 = 66,41 \text{ см}^3.$$

Объем загрузочной камеры определяется по формуле (4.14), изделие изготавливается из порошкообразного материала, поэтому принимаем  $K = 1,45$ .

$$V_{з.к} = 1,45 \cdot 298,36 \cdot 4 + 66,41 = 1796,91 \text{ см}^3$$

Определяем высоту загрузочной камеры:

$$V_{з.к} = H_{з.к} \cdot F_{з.к},$$

откуда,

$$H_{з.к} = \frac{V_{з.к}}{F_{з.к}} = \frac{1796,91}{185,65} = 9,7 \text{ см} = 97 \text{ мм}.$$

### Расчет литниковой системы для литья под давлением

Основное назначение литниковой системы – это транспортирование расплава от сопла литьевой машины к форме как возможно более коротким путем с минимальными потерями давления, интенсивного и количественного заполнения расплавом оформляющей полости. Как указывалось выше, структура литниковой системы состоит из трех элементов: основного центрального литника, впускного литника и разводящего литника.

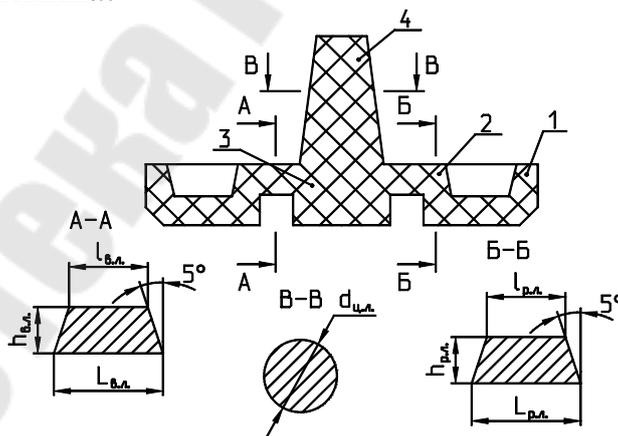


Рис.4.4 Схема разветвленной литниковой системы: 1 – изделие; 2 – впускной литник; 3 – разводящий литник; 4 – центральный литник

Предварительно размеры впускного канала рассчитывают из соотношения:

$$f_{в.к.} \leq f_0 / n_{в.к.},$$

где  $f_{в.к.}, f_0$  – площадь поперечного сечения впускного и основного центрального каналов соответственно;  $n_{в.к.}$  – количество впускных каналов.

Глубина впускного канала  $h_{в.к.}$ , от которой зависит время уплотнения массы, определяется по соотношению:

$$h_{в.к.} = k \cdot \delta, \quad (4.15)$$

где  $\delta$  – толщина изделия;  $k$  – постоянная материала (0,6 – полиэтилен;

0,7 – поликарбонат; 0,8 – полиамид; 0,9 – поливинилхлорид).

**Длина впускных каналов должна быть малой и ее назначают в пределах 0,5 – 1,2 мм.**

Поперечное сечение каналов выполняют обычно в виде трапеции с углом наклона боковых стенок  $10 - 15^\circ$  и шириной

$$b \approx 1,25 \cdot h, \quad (4.16)$$

$$B = l + 2 \cdot h \cdot \operatorname{tg} 5^\circ. \quad (4.17)$$

Обычно глубина разводящих каналов ( $h_{р.л.}$ ) должна быть больше толщины стенки изделия ( $\delta$ ):

$$h_{р.л.} > 1,5 \cdot \delta. \quad (4.18)$$

Средний радиус центрального литника должен быть таким, чтобы площадь поперечного сечения центрального литника равнялась сумме площадей разводящих каналов (рис.4.4).

Длина трапециевидного впускного литника:

$$L_{в.л.} = (0,5 \div 1) \cdot h_{в.л.} \quad (4.19)$$

Длина цилиндрического впускного литника:

$$L_{в.л.} = (0,5 \div 1) \cdot d_{в.л.} \quad (4.20)$$

Длина разводящего канала:

$$L_{р.к.} = (5 \div 10) \cdot h_{р.л.} \quad (4.21)$$

Длина центрального литникового канала определяется:

$$L_{ц.л.} \leq (5 \div 9) \cdot d_{ц.л.} \quad (4.22)$$

Площадь поперечного сечения впускного литникового канала определяется:

$$F_{в.л.} = 1/2 \cdot h_{в.л.} \cdot (B_{в.л.} + b_{в.л.}) \quad (4.23)$$

Площадь поперечного сечения разводящего литникового канала

$$F_{р.л.} = 1/2 \cdot h_{р.л.} \cdot (B_{р.л.} + b_{р.л.}) \quad (4.24)$$

Пример 1. Рассчитать размеры поперечного сечения и длину литниковых каналов при изготовлении «пластины» из ПЭНП в четырехгневной форме. Общий объем отливки  $V = 62.4 \text{ см}^3$ . Поперечное сечение  $3,25 \times 49 \text{ мм}$  и длина  $120 \text{ мм}$ .

Исходные данные и коэффициенты:

$$\tau_m = 7 \text{ с}; \quad a = 0,102 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \quad K = 1,15.$$

Глубина впускного канала определяется по (4.15):

$$h_{в.к.} = K \cdot \delta = 0,6 \cdot 3,25 = 1,95 \text{ мм}.$$

Поперечное сечение впускных каналов в виде трапеции с углом наклона боковых сторон  $10^\circ$  и шириной определяется по (4.16), (4.17):

$$b_{в.л.} = 1,25 \cdot h_{в.л.} = 1,25 \cdot 1,95 = 2,44 \text{ мм};$$
$$B_{в.л.} = b_{в.л.} + 2 \cdot h_{в.л.} \cdot \text{tg} 5^\circ = 2,44 + 2 \cdot 1,95 \cdot 0,0875 = 2,78 \text{ мм}.$$

Площадь поперечного сечения впускного литника определяется по (4.23):

$$F_{в.л.} = 1/2 \cdot 1,95 \cdot (2,78 + 2,44) = 5,1 \text{ мм}^2$$

Длина впускного канала определяется по (4.19):

$$L_{в.л.} = 0,5 \cdot h_{в.л.} = 0,5 \cdot 1,95 = 0,975 \text{ мм}.$$

Глубина разводящих каналов определяется по (4.18):

$$h_{р.л.} = 1,5 \cdot \delta = 1,5 \cdot 3,25 = 4,88 \text{ мм}$$

Поперечное сечение разводящих каналов в виде трапеции с углом наклона боковых сторон  $10^\circ$  и шириной определяется по (4.16), (4.17):

$$b_{p.l} = 1,25 \cdot h_{p.l} = 1,25 \cdot 4,88 = 6 \text{ мм};$$

$$B_{p.l} = b_p + 2 \cdot h_{p.l} \cdot \operatorname{tg} 5^\circ = 6 + 2 \cdot 4,88 \cdot 0,0875 = 6,85 \text{ мм}.$$

Длина разводящего канала определяется по (4.21):

$$L_{p.x} = 8 \cdot 4,88 = 40 \text{ мм}.$$

Площадь поперечного сечения разводящего литникового канала определяется по (4.24):

$$F_{p.l} = 1/2 \cdot 4,88 \cdot (6,85 + 6) = 31,35 \text{ мм}^2.$$

Площадь поперечного сечения центрального литникового канала должна быть равна сумме площадей разводящих каналов. Следовательно, для четырехгнездной формы

$$d_{ц.л} = \sqrt{\frac{4F_{p.l}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 31,35}{3,14}} = 6,32 \text{ мм}$$

Длина центрального литникового канала определяется по (4.22):

$$L_{ц.л} = 7 \cdot 6,32 = 44,24 \approx 44 \text{ мм}.$$

### Выполнение работы

1. Определить область применения и условия эксплуатации пластмассового изделия.
2. По годовой программе и мощности применяемого оборудования определить гнездность формы:
  - а) для прямого прессования;
  - б) для литьевого прессования;
  - в) для литья под давлением.
3. Рассчитать литниковую систему формы для литьевого прессования изделий из реактопластов.
4. Рассчитать литниковую систему литьевой формы для изготовления изделий под давлением из термопластов.

## Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Теоретические сведения.
3. Определение области применения и условия эксплуатации пластмассового изделия.
4. Определение гнездности формы: для прямого прессования; для литьевого прессования; для литья под давлением.
5. Расчет литниковой системы формы для литьевого прессования изделий из реактопластов.
6. Расчет литниковой системы литьевой формы для изготовления изделий под давлением из термопластов.
7. Выводы по работе.

## Контрольные вопросы

1. Как рассчитывается гнездность формы для прямого прессования?
2. Как рассчитывается гнездность формы по экономико-техническим параметрам?
3. Как рассчитывается гнездность формы по технико-экономическим параметрам?
4. Как рассчитывается литниковая система для литьевого прессования изделий из реактопластов?
5. Как рассчитывается литниковая система для литья под давлением изделий из термопластов?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

### *Изучение методов расчета усилия прессования, смыкания формы, выталкивания изделия, прочности оформляющих изделий и выбора оборудования*

**Цель работы:** овладеть методами расчета усилия прессования, смыкания формы, выталкивания изделия, прочности оформляющих изделий и выбора оборудования.

#### **Назначение, устройство и принцип действия формы для прессования**

В формах для прессования получают изделия массой от нескольких граммов до 10 килограммов, простой, сложной конфигурации с металлической арматурой, плоские, объемные и т. д.

Пресс-форма должна обеспечить перевод массы в вязкотекучее состояние; деформирование массы и придание ей требуемой конфигурации; фиксацию этой конфигурации; извлечение и удаление готового изделия из рабочей формы.

В пресс-форме изготавливают изделия из всех видов реактопластов. Форму нагревают и деформирование массы, отвержение расплава в полости формы происходит под действием высоких температур, кроме прессования термопластов. В последнем случае для фиксации конфигурации и затвердевания изделия форму охлаждают.

Следовательно, конструкция пресс-формы должна обеспечивать равномерную степень отвердевания в объеме изделия, чтобы уменьшить градиент напряжения по объему изделия, неоднородность. Поэтому требуется эффективно поддерживать однородное температурное поле в формирующей полости на стадии ее заполнения и уплотнения, а также во время выдержки при отвержении (при температурах от 130 до 180–190 °С).

Давление, создаваемое на прессуемый материал, затрачивается: на уплотнение дозы его в полости формы или в загрузочной камере; на преодоление сопротивления течения расплава в полости формы или из загрузочной камеры через литники в полость формы; на достижение требуемой степени уплотнения. На стадии отвердевания в течение выдержки давление должно быть максимально возможным в зависимости от вида материала, метода прессования, температурных

параметров и давление может быть от 15 МПа до 200 МПа: для пресс-порошков 15–50 МПа, для волокнитов 40–70 МПа, для литьевого прессования 150–200 МПа.

Время заполнения формы зависит от конструктивных, материальных и технологических факторов и обычно составляет 3–5 с.

Время выдержки под давлением от начала нагрева материала от стенок формы до полного отверждения оценивается типом пресс-формы и вида материала (продолжительности вязкотекучего состояния  $\tau$  - время предварительного нагрева) время для загрузки, а также формование и конструкции изделия.

### **Исходные данные для проектирования пресс-форм**

Проектирование формы начинается, исходя из технического задания. Исходными данными являются: чертеж изделия, технические требования к изготовлению и эксплуатации изделия, тип производства (массовое, серийное, опытное и т. д.), программа выпуска (годовая и всего), тип оборудования, тип нагревателей, вид материала (для реактопластов, порошок, жгут, таблетки) и его технические требования.

**В пресс-формах для прямого прессования можно получать изделия из любого реактопласта, любой конфигурации и габаритов. Исключения составляют изделия со сквозной арматурой, выступающей с двух сторон, которая под действием давления может формироваться.**

Литьевым прессованием можно получить изделия повышенной точности из реактопластов с хорошей прочностью.

### **Типовые конструкции формы для работы под давлением**

Формы классифицируют по основным признакам конструктивно-технологического исполнения: связи с машиной; направления разъему; числа оформляющих гнезд; способу удаления изделия из формы; конструктивному типу оформляющих гнезд и т. д.

По связи с машиной различают формы стационарные, полустационарные, съемные блочные и сменные блочные.

В стационарных формах весь цикл изготовления изделий вплоть до их выталкивания из формы осуществляется на машине.

Полустационарные формы предусматривают установку резьбовых знаков, которые вынимаются после каждого цикла и устанавливаются перед выполнением следующего цикла формования изделия.

Съемные блочные формы снимаются с пресса после каждого цикла формования, чтобы извлечь изделие или отделить от изделия деталь формы (резьбовые знаки, знаки перпендикулярных отверстий направлению разъема формы).

Сменные блочные формы не снимаются с блока в течение всего периода формования определенной части изделия.

По направлению разъема оформляющих деталей относительно оси горизонтальной машины различают формы с горизонтальным разъемом (оформляющие детали формы раскрываются параллельно оси машины) и с комбинированным разъемом (оформляющие детали формы раскрываются параллельно и перпендикулярно оси машины). Последние применяются для деталей с боковыми отверстиями и др. геометрическими плоскостями.

По числу оформляющих гнезд формы бывают одногнездочные и многогнездочные.

По конструктивному типу оформляющего гнезда формы разделяют на открытые – полость гнезда является одновременно и загрузочной камерой (рис. 5.1, а); закрытые или поршневые – плоские гнезда продолжают загрузочную камеру (рис. 5.1, б); полузакрытые, у которых имеется отжимная кромка или кант на стыке пуансона и матрицы (рис. 5.1, в).

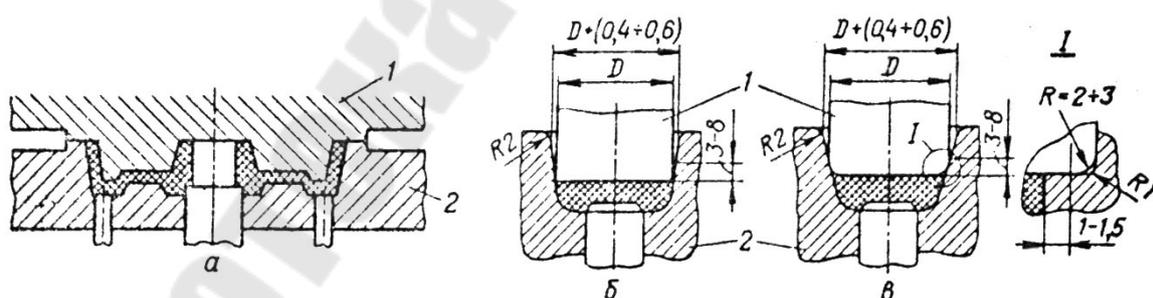


Рис. 5.1. Конструктивные типы оформляющих гнезд пресс-формы:  
 а - открытые; б - закрытые; в - полузакрытые

## Расчет усилия прессования в пресс-формах различной конструкции

1. Усилие прессования в закрытых пресс-формах:

$$P_{пр} = 1,1 \cdot P_{уд} \cdot F_{изд} \cdot n, \quad (5.1)$$

где  $P_{уд}$  – давление прессования (фенопластов 30 – 40 МПа; волокниста 40 – 50 МПа; текстолита 40 – 70 МПа; аминопластов 25 – 30 МПа);

$F_{изд}$  – площадь изделия в плоскости разъема;

$n$  – число гнезд в пресс-форме.

Усилие прессования в полузакрытых пресс-формах

$$P_{пр} = P_{уд} \cdot F_{зк} \cdot m, \quad (5.2)$$

где  $F_{зк}$  – площадь загрузочной камеры,  $м^2$ ;

$m$  – число загрузочных камер

2. Расчет усилия прессования при литьевом прессовании со скрытой загрузочной камерой

$$P_{пр} = P_{уд} \cdot F_{з.к.}, \quad (5.3)$$

где  $P_{уд}$  – удельное давление прессования, МПа.

При литьевом прессовании с нижней загрузочной камерой такое усилие должно создаваться гидроцилиндром выталкивателя пресса.

## Расчет усилия смыкания формы

Усилие смыкания  $P_{см}$  формы исключает раскрытие ее от давления материала, создается верхним гидроцилиндром и должно быть равно для прессования в закрытых пресс-формах:

$$P_{см} = p_{уд} (F_{изд} \cdot n) \cdot 1,25. \quad (5.4)$$

Усилие смыкания формы при литьевом прессовании:

$$P_{см} = p_{уд} (F_{изд} \cdot n + F_{л.с.}) \cdot 1,25. \quad (5.5)$$

## Расчет усилия выталкивания

$$P_{\text{выт}} = n \cdot p_{\text{адг}} \cdot f_{\sigma}, \quad (5.6)$$

где  $p_{\text{адг}} = 0,1 \div 0,4$  МПа – адгезионная прочность связи отвержденного реактопласта с металлической стенкой пресс-формы;  
 $f$  – боковая поверхность матрицы, м<sup>2</sup>.

Пример 1. Рассчитать усилие прессования, смыкания формы и выталкивания для 4-х изделий из фенопласта с площадью поперечного сечения в плане  $F_{\text{уз}} = 36 \text{ см}^2 = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$  (рис.4.2). Удельное давление прессования  $p_{\text{yd}} = 35$  МПа. Режимы прессования выбираются от природы материала (Приложение П2) в соответствии с общими машиностроительными нормативами времени на изготовление изделий из пластмасс. Время выдержки для тонкостенных деталей (с толщиной стенок до 1 мм) нужно подбирать опытным путем.

Во время выдержки необходимо подготовить пресс-материал и арматуру для следующей запрессовки, произвести визуальную разбраковку отпрессованных деталей, проверить точность размеров, параллельных плоскости прессования; уложить детали в тару или в бункер транспортера.

1. Усилие прессования в закрытой пресс-форме определяем по (5.1):

$$P_{\text{np}} = 1,1 p_{\text{yd}} \cdot F_{\text{уз}} \cdot n = 1,1 \cdot 35 \cdot 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 4 = 0,554 \text{ МН} = 554 \text{ кН} = (55,4 \text{ т})$$

2. Усилие смыкания пресс-формы определяем по (5.4):

$$P_{\text{см}} = 1,25 p_{\text{yd}} \cdot F_{\text{уз}} \cdot n = 0,63 \text{ МН} = 630 \text{ кН} = (63 \text{ т}).$$

3. Усилие выталкивания изделий определяем по (5.6):

$$\begin{aligned} P_{\text{выт}} &= n \cdot p_{\text{адг}} \cdot f_{\sigma} = 4 \cdot 0,25 \cdot (0,04 \cdot 0,09 + 2 \cdot 0,09 + 2 \cdot 0,04) = \\ &= 0,2636 \text{ МН} = 263,3 \text{ кН} = (27 \text{ т}) \end{aligned}$$

Выбираем пресс (Приложение П3) в зависимости от усилия прессования и усилия выталкивания, размеров стола. В данном примере выбираем пресс по усилию выталкивания со следующими техническими характеристиками:  $P_{\text{np}} = 160 \text{ т}$ ;  $P_{\text{выт}} = 31,5 \text{ т}$ ; ход ползуна – 630 мм; наибольшее расстояние между столом и ползуном – 1000 мм; размер стола (длина, ширина, мм) – 800×719; номинальное усилие

выталкивания – 31,5 м; ход выталкивателя – 250 мм; скорость ползуна: холостой ход – 200 мм/с, рабочий ход – 5 мм/с, возвратный ход – 100 мм/с.

**Пример 2.** Расчет усилия прессования смыкания формы при литьевом прессовании с верхней загрузочной камерой для 4-х изделий из фенопласта площадью поперечного сечения в плане  $F_{изд} = 36 \text{ см}^2 = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ .

а) усилие прессования определяем по (5.3):

$$P_{пр} = p_{уд} \cdot F_{з.к.} = 35 \cdot 1,877 \cdot 10^{-3} = 0,657 \text{ МН} = 657 \text{ кН} = (65,7 \text{ т}),$$

где по (4.13)  $F_{з.к.} = 1,1(F_{изд} \cdot n + F_{л.е.}) = 187,68 \text{ см}^2 = 1,877 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ .

б) усилие смыкания пресс-формы определяем по (5.5):

$$P_{см} = 1,25 p_{уд} \cdot (F_{изд} \cdot n + F_{л.е.}) = 1,25 \cdot 35(36 \cdot 4 + 26,62) = 0,746 \text{ МН} = 746 \text{ кН} = 74,6$$

в) усилие выталкивания изделий определяем по (5.6):

$$P_{выт} = n \cdot p_{адг} \cdot f_{\sigma} = 4 \cdot 0,25 \cdot (0,04 \cdot 0,09 + 2 \cdot 0,09 + 2 \cdot 0,04) = 0,2636 \text{ МН} = 263,6 \text{ кН} \approx (27 \text{ т}).$$

Выбираем пресс (Приложение П2) аналогично, как и в примере 1.

### Расчет оформляющих деталей на прочность и жесткость

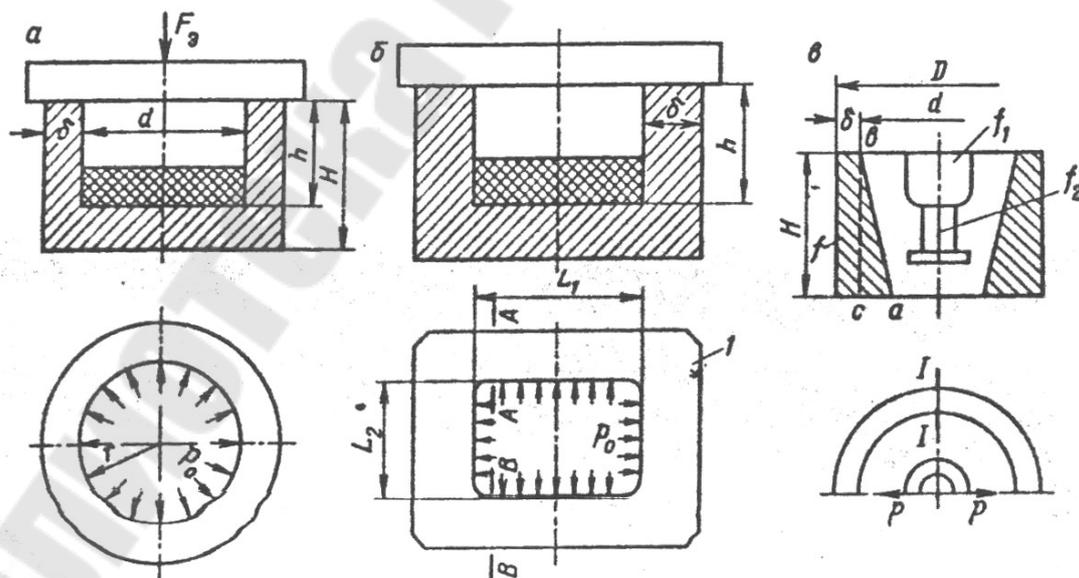


Рис. 5.2 Схемы действия сил на стенки матрицы (к расчету на прочность): а – круглая матрица; б – прямоугольная; в – клиновья

а) в круглой цельной матрице толщина стенки определяется по формуле (рис. 5.2, а):

$$\delta = 0,5d \left\{ \left[ \frac{(\sigma_B + 0,4p_{y0})}{(\sigma_B - 1,3p_{y0})} \right]^{1/2} - 1 \right\} \quad (5.7)$$

б) толщина стенок матрицы или обоймы прямоугольной формы проверяется в опасных сечениях А-А или В-В (рис. 5.2, б) по формуле:

$$0,5P_2/f + M/W \leq \sigma_B, \quad (5.8)$$

где  $P_2 = p_{y0} \cdot b_i \cdot L_2$  – растягивающие усилия в стенках 1;

$f = H \cdot \delta$  – площадь сечения стенки 1;

$H$  – высота стенки матрицы или обоймы;

$M = \frac{P_1 L_1}{12}$  – изгибающий момент;

$P_1 = p_{y0} \cdot L_1 \cdot h$  – поперечное усилие от удельного давления ( $p_{y0}$ )

действующее на стенку 1;

$W = H \cdot \delta^3/6$  – момент сопротивления сечения стенки 1.

Следовательно, толщина стенки матрицы будет определяться по формуле:

$$\frac{0,5 \cdot p_{y0} \cdot h \cdot L_2}{H \cdot \delta} + \frac{p_{y0} \cdot h \cdot L_1}{2H \cdot \delta^3} \leq \sigma_B; \quad (5.9)$$

в) в круглой клиновой обойме с жесткими полуматрицами (рис. 5.2, в) усилие  $p$ , разрывающее обойму, определяется по формуле:

$$P = 0,5p_{y0} \sum f_i, \quad (5.10)$$

где  $\sum f_i = f_1 + f_2$  – расчетная площадь обоймы, которую можно принять  $f = H(D - d)/2 = H\delta$ .

Тогда условие прочности выраженное через толщину стенки обоймы, будет иметь вид:

$$\delta = p_{y0} \sum f_i / [H\sigma_B]. \quad (5.11)$$

Пример 3. Рассчитать на прочность и жесткость обойму для 4-гнездной пресс-формы при изготовлении пластмассового изделия из фенопласта (рис. 4.2) литьевым прессованием по рассчитанному усилию смыкания ( $p_{см} = 74,6 \text{ т} = 0,746 \text{ МН}$ ). Эскиз обоймы прямоугольной формы для изготовления 4-х изделий показан на рис. 5.3.

Решение. Для изготовления обоймы выбираем сталь 5ХНМ (Приложение П4), работающую в области температур,  $T \leq 500 \div 550$  °С, упрочняемых закалкой в массе при 850 °С и отпуском при 520 °С и обладающих  $\sigma_B = 1570$  МПа.

Растягивающее усилие в стенке 1:

$$P_2 = p_{y\delta} \cdot h_{изд} \cdot L_2,$$

где  $p_{y\delta} = 35$  МПа,  $h_{изд} = 98$  мм = 0,098 м,  $L_2 = 100$  мм = 0,1 м,  
 $P_2 = 35 \cdot 0,098 \cdot 0,1 = 0,343$  МН.

Поперечное усилие, действующее на стенку 1:

$$P_1 = p_{y\delta} \cdot h_{изд} \cdot L_1,$$

где  $L_1 = 200$  мм = 0,2 м,  $P_1 = 35 \cdot 0,098 \cdot 0,2 = 0,686$  МН.

Площадь сечения стенки 1:

$$f = h_{изд} \cdot \delta = 0,098 \cdot 0,02 = 0,00196 \text{ м}^2.$$

Изгибающий момент:

$$M = \frac{P_1 L_1}{12} = \frac{0,686 \cdot 0,2}{12} = 0,01143 \text{ МН} \cdot \text{м}.$$

Момент сопротивления стенки матрицы:

$$W = \frac{h_{изд} \cdot \delta^3}{6} = \frac{0,098 \cdot 0,02^3}{6} = 0,784 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

Проверяем выполнение условия прочности стенок матрицы при толщине  $\delta = 20$  мм для принятой марки стали 5ХНМ при допуске напряжении на растяжение  $\sigma_B = 900$  МПа:

$$\frac{0,5P_2}{f} + \frac{M}{W} \leq \sigma_B: \frac{0,5 \cdot 0,343}{0,00196} + \frac{0,0114}{0,784 \cdot 10^{-6}} = 875,4 \text{ МПа}.$$

Следовательно, условия прочности стенок матрицы выполняются, т. к.  $\sigma_p \leq \sigma_B$ , т. е.  $875,4 \leq 900$  МПа.

Следовательно, толщину стенки можно принять меньшей толщины, т. к. большая зона прочности.

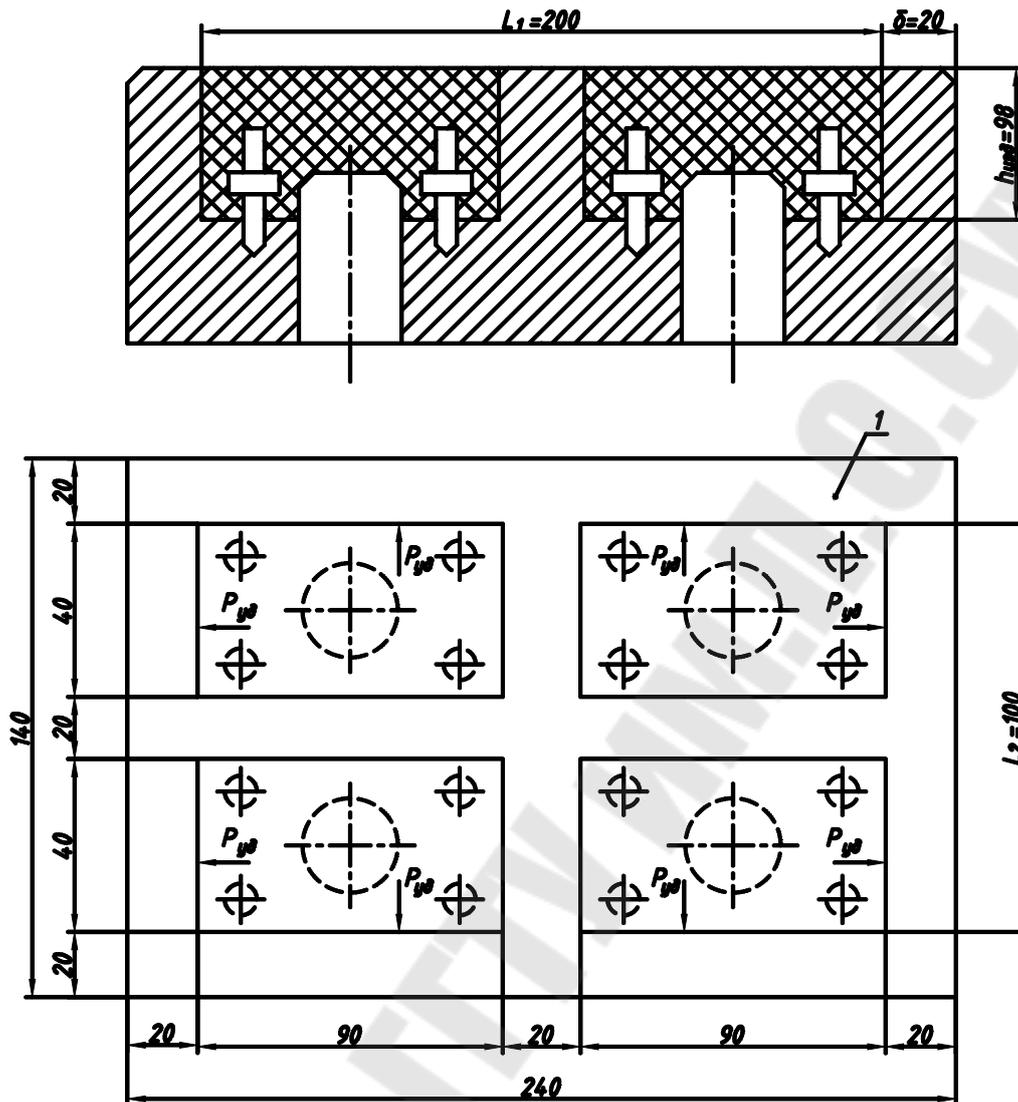


Рис. 5.3. Эскиз пресс-формы для расчета стенок матрицы на прочность и жесткость

### Выполнение работы

1. Изучить типовые формы для прессования.
2. Рассчитать усилия прессования пластмассового изделия (форма, размеры изделия выдаются преподавателем).
3. Рассчитать усилие смыкания формы.
4. Рассчитать усилие выталкивания изделий.
5. Выбрать тип пресса по максимальному усилию расчета.
6. Выбрать марку стали для оформляющих деталей формы.
7. Рассчитать оформляющие детали на прочность по допускаемому напряжению растяжения.

## Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Теоретические сведения.
3. Расчет усилия прессования пластмассового изделия.
4. Расчет усилия смыкания формы.
5. Расчет усилия выталкивания изделий.
6. Выводы по работе.

## Контрольные вопросы

1. Какие бывают пресс-формы по направлению прессования и по типу оформляющего гнезда?
2. По каким признакам классифицируются пресс-формы?
3. От каких технологических параметров зависит усилие прессования?
4. Как ведется расчет усилия прессования для различных типов пресс-форм?

# Приложение 1

## Таблица П.1.1

### Размеры литниковой системы и вентиляционных каналов

№	Разводящий литник		Впускной литник		Вентиляционный литник	
	Площадь поперечного сечения, мм <sup>2</sup>	Размер поперечного сечения, мм	Площадь поперечного сечения, мм <sup>2</sup>	Размер поперечного сечения, мм	Площадь поперечного сечения, мм <sup>2</sup>	Размер поперечного сечения, мм
1	до 3,25	5,5 × 0,6	До 2,5	5 × 0,5	До 0,2	5 × 0,04
2	3,25 – 4,55	6,0 × 0,9	2,5 – 3,5	5 × 0,7	0,2 – 0,4	5 × 0,08
3	4,55 – 6,5	6,5 × 1	3,5 – 5	7 × 0,7	0,4 – 0,6	6 × 0,1
4	6,5 – 8	7 × 1,15	5 – 6	6 × 1	0,6 – 0,8	8 × 0,1
5	8 – 10	8 × 1,3	6 – 8	8 × 1	0,8 – 1	10 × 0,1
6	10 – 13	10 × 1,3	8 – 10	10 × 1	1 – 1,5	10 × 0,15
7	13 – 19,6	11,5 × 1,7	10 – 15	10 × 1,5	1,5 – 2	10 × 0,2
8	19,6 – 26	11,55 × 2,25	15 – 20	10 × 2	2 – 2,5	10 × 0,25
9	26 – 39	17 × 2,3	25 – 30	15 × 2	2,5 – 3	10 × 0,3
10	39 – 45,5	18 × 2,5	30 – 35	15 × 2,35	3 – 3,5	12 × 0,3
11	45,5 – 52	21 × 2,5	35 – 40	20 × 2	3,5 – 4	14 × 0,3
12	52 – 65	26 × 2,5	40 – 50	25 × 2	4 – 4,5	15 × 0,3
13	65 – 78	31 × 2,5	50 – 60	25 × 2,4	4,5 – 5	17 × 0,3
14	78 – 91	35 × 2,6	60 – 70	28 × 2,5	5,5 – 6	17 × 0,35
15	91 – 104	38,5 × 2,7	70 – 80	30 × 2,67	6,5 – 7	20 × 0,35
16	104 – 117	43 × 2,7	80 – 90	35 × 2,6	7,5 – 8	22 × 0,35
17	117 – 130	45 × 2,9	90 – 100	37,5 × 2,7	8,5 – 9	24 × 0,35
18	130 – 142	49 × 2,9	100 – 110	38 × 2,9	9,5 – 10	27 × 0,35
19	142 – 156	52 × 3	110 – 120	40 × 3	10 – 10,5	26 × 0,4
20	156 – 169	52 × 3,25	120 – 130	42,5 × 3,1	10,5 – 11	27,5 × 0,4
21	169 – 182	55 × 3,3	130 – 140	44 × 3,2	11,5 – 12	30 × 0,4
22	182 – 196	56 × 3,5	140 – 150	45 × 3,3	12,5 – 13	32,5 × 0,4
23	196 – 207	56 × 3,7	150 – 160	47,5 × 3,4	13,5 – 14	32,9 × 0,425
24	207 – 222	60 × 3,7	160 – 170	49 × 3,47	14,5 – 15	35 × 0,425
25	222 – 233	63 × 3,7	170 – 180	50 × 3,6	15,5 – 16	37 × 0,425
26	233 – 246	63 × 3,9	180 – 190	50 × 3,8	16,5 – 17	40 × 0,425
27	246 – 260	65 × 4	190 – 200	50 × 4	17,5 – 18	42 × 0,425
28	260 – 276	66,5 × 4,15	200 – 210	52,5 × 4	18,5 – 19	44 × 0,43
29	276 – 285,6	68 × 4,2	210 – 220	55 × 4	19,5 – 20	50 × 0,43
30	285,6 – 300	69,5 × 4,3	220 – 230	56 × 4,1	20,5 – 21	47 × 0,44
31	300 – 312	72,5 × 4,3	230 – 240	57 × 4,2	21,5 – 22	50 × 0,44
32	312 – 326	74 × 4,4	240 – 250	58 × 4,3	22,5 – 23	52 × 0,44
33	326 – 333	74 × 4,5	250 – 260	59 × 4,4	23,5 – 24	54 × 0,44
34	333 – 350	74,5 × 4,7	260 – 270	60 × 4,5	24,5 – 25	56 × 0,44
35	350 – 370	77 × 4,8	270 – 280	61 × 4,6	25,5 – 26	57 × 0,45
36	370 – 380	79 × 4,8	280 – 290	62 × 4,66	26,5 – 27	60 × 0,45

## Окончание табл. П.1.1

37	380 – 390	81 × 4,8	290 – 300	63 × 4,75	27,5 – 28	62 × 0,45
38	390 – 400	83 × 4,8	300 – 310	64 × 4,8	28,5 – 29	64 × 0,45
39	400 – 420	84 × 5	310 – 320	65 × 4,9	29,5 – 30	66 × 0,45
40	420 – 430	86 × 5	320 – 330	66 × 5	30,5 – 31	67 × 0,46
41	430 – 440	88 × 5	330 – 340	67 × 5	31,5 – 32	69 × 0,46
42	440 – 460	90 × 5,1	340 – 350	68 × 5,1	32,5 – 33	71 × 0,46
43	460 – 470	90 × 5,2	350 – 360	69 × 5,2	33,5 – 34	73 × 0,46
44	470 – 480	90 × 5,3	360 – 370	70 × 5,25	34,5 – 35	76 × 0,46
45	480 – 490	91,5 × 5,35	370 – 380	71 × 5,35	35,5 – 36	76,5 × 0,46

## Приложение 2

Таблица П.2.1

### Режимы прессования и пресс-литья для терморезактивных материалов

Наименование материала или марки	Предварительный подогрев пресс-материала в термостате		Прямое прессование			Пресс-литье		Выдержка материала под давлением (мин) на 1 мм толщины детали		Термическая обработка отпрессованных деталей в воздушной среде		Дополнительные операции
	Температура, °С	Выдержка, мин	температура пресс-порошка, °С		Удельное давление, кгс/см <sup>2</sup>	Температура пресс-формы, °С	Удельное давление, кгс/см <sup>2</sup>	С предварительным подогревом	Без предварительного подогрева	Температура, °С	Выдержка, ч	
			С предварительным подогревом	Без предварительного подогрева								
Аминопласты Класс А, гр.: А1; А2; >> В, гр.: В1, В2 КФ-9	100-110	5-10	140-150	135-145	250-400	130-145	500-1000	0,8-1,0	1,0-1,5	70-80	10-12	—
	—	—	—	160-165	300	170-180	500-700	—	1,0-1,5	160	5	Про- грев в пресс- форме без дав- ления (40 с)
КФ-10 Пресс- материалы с во- локнистым на- полнителем	130-150	5	165-175	—	300	175-185	500-700	2,0-4,5	—	160-250	10-18	—

Окончание табл. П.2.1

Наименование материала или марки	Предварительный подогрев пресс-материала в термостате		Прямое прессование			Удельное давление, кгс/см <sup>2</sup>	Пресс-литье		Выдержка материала под давлением (мин) на 1 мм толщины детали		Термическая обработка отпрессованных деталей в воздушной среде		Дополнительные операции
			температура пресс-порошка, °С										
	Температура, °С	Выдержка, мин	С предварительным подогревом	Без предварительного подогрева	Температура пресс-формы, °С	Удельное давление, кгс/см <sup>2</sup>	С предварительным подогревом	Без предварительного подогрева	Температура, °С	Выдержка, ч			
Фенопласты:													
У2-301-07	130-140	3-5	160-170	150-160	400-500	160-170	750-1200	0,8-1,0	—	—	—	—	
У5-301-41	120-130	3-4	170-180	160-170	400-500	170-180	750-1200	0,8-1,6	1,0-1,2	—	—	—	
К-Ф-3	110-130	3-4	185-195	175-185	350-450	—	—	0,8-1,3	1,5	—	—	—	
ПСК-1	—	—	—	120-140	100-200	—	—	—	2,0	150	4	—	
ПСК-2	—	—	—	120-140	100-200	—	—	—	1,5-3,0	150	4	—	
ПСК-3	—	—	—	120-140	150-300	—	—	—	1,5-3,5	150	4	—	
ДСВ-2-Р-2М	110-120	3-7	145-175	145-175	300-600	145-175	350-1200	1,0-1,5	1,5-2,0	150-170	2-4	—	
ДСВ-4-Р-2М	—	—	145-175	145-175	300-600	145-175	700-1000	1,0-1,5	1,5-2,0	150-170	2-4	—	
АГ-4 В	130-145	3-7	145-175	145-175	300-600	145-175	700-1200	1,0-1,5	1,5-2,0	140-150	2-3	—	
АГ-4 С	—	—	—	150-170	300	—	—	—	1,0-1,5	160	5	—	
КМС-9	100-110	8-10	155-165	150-160	300-350	160-165	700-1200	1,0-1,2	1,0-1,5	160	5	—	
КМК-218	—	—	—	150-160	450-550	—	—	—	1,0-1,5	160	5	—	
КМК-218Л	140	—	160-170	—	250-350	—	—	10,0-15,0	—	90-100	18-20	—	
РТП-170													

## Приложение 3

Таблица П.3.1

### Техническая характеристика гидравлических полуавтоматических прессов для пластмасс с индивидуальным и групповым приводом ГОСТ 8200-70

Наименование показателей		Номинальное усилие пресса, тс									
		10	16	25	40	63	100	160	250	400	630
Ход ползуна, мм		320		450			560	630	710	800	
Наибольшее расстояние между столом и ползуном, мм		500		700		800	900	1000	1250	1400	1600
Размер стола (длина×ширина), мм		320		560		630	710	800	1120	1250	1400
		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
		250		510		560	639	719	1000	1120	1250
Номинальное усилие выталкивания, тс		2	3,15	5	8	12,5	20	31,5	50	63	100
Ход выталкивателя (номинальный), мм		100		160			200	250	360	400	450
Скорость ползуна, мм/с (не менее)	Холостой ход	100				200			100		
	Рабочий ход	10				5			4	2,5	
	Возвратный ход	100				100		60	50	40	

**Приложение 4**  
**Таблица П.4.1**

**Рекомендуемые марки сталей для изготовления ФОД**

Наименование ФОД	Марка стали	Твердость рабочих частей ФОД		Термообработка		Ударная вязкость КСУ, Дж/см <sup>2</sup>
		Для прямого и литевального пресования	Для литья под давлением	Закалка, °С	Отпуск, °С	Предел прочности при растяжении $\sigma_B$ , МПа
Матрицы, пуансоны, вставка матриц и пуансонов простой конфигурации	У8А У10А	56...61 HRC <sub>Э</sub>	45-55 HRC <sub>Э</sub>	790	150-160	1950
Матрицы, пуансоны, вставки сложной конфигурации без тонких выступов и ослаблений сечений	40Х	—				
	40Х13	50-55 HRC <sub>Э</sub>		1000 м	200	1840
	95Х18	54-58 HRC <sub>Э</sub>		1070 м - 80°	150-160	1980-2300
	12ХН3А 20Х	Цементировать 56-61 HRC <sub>Э</sub>		910	200	830
	5ХНМ	56-61 HRC <sub>Э</sub>	Зап 850	850 м	460-520	1570
	ХВГ	56-61 HRC <sub>Э</sub>		890 м	180-220	КСУ 85
	9ХС	56-61 HRC <sub>Э</sub>		870 м	180-240	КСУ 78
	4Х5МФ С	56-61 HRC <sub>Э</sub>		1020 м	580	1670
Матрицы, пуансоны, вставки сложной конфигурации с тонкими выступами и ослабленными сечениями	20Х	Цементировать 50-61 HRC <sub>Э</sub>	45-55 HRC <sub>Э</sub>	920-950 Зак. 800 м	190	640
	12ХН3А	Цементировать		910 м	200	830
	20ХН3А	53-57 HRC <sub>Э</sub>		1000-1050	200	1000

Окончание табл. П.4.1

	38X2M ЮА	Азоти- ровать 53-57 HRC <sub>3</sub>		520- 540 930- 950	640- 680	1030
	7XГ2В М	56-61 HRC <sub>3</sub>		850 м	200	KCU 137- 157
	X6BФ	56-61 HRC <sub>3</sub>		1000 м	180	KCU 69-98
	20X13	Азоти- ровать 50-61 HRC <sub>3</sub>		1000- 1050	200	1000
	30X13	50-55 HRC <sub>3</sub>		1000 возд.	650	800
Знаки гладкие и резьбовые, кольца резьбовые, выталки- ватели	40X XBГ	50-61 HRC <sub>3</sub>	41-55 HRC <sub>3</sub>	840- 860	200 600	1760 860
	9XC 4X5MФ С			870 1020	180- 240 580	KCU 78 1670
	65Г 30X13			830 1000	350 350	1670 800
	У8А 40X13			790 1000	160 200	1950 1840
	У10А 95X18			790 1070	150 160	1950 1980-2300
	X12M			1000- 1030	200- 550	KCU 43-58
	38X2M ЮА	Азоти- ровать 50-61 HRC <sub>3</sub>		520- 540 930- 950	640- 680	1030
Тонкие знаки и тон- кие плоские вкла- дыши	65Г	32-42 HRC <sub>3</sub>		830	350 600	1670 880
	У8А			790	550	880
	У10А			790	550	860
Матрицы, пуансоны таблетформ	X12M	60-63		1030	200	KCU 43
	X12Ф1	HRC <sub>3</sub>		1050	200	KCU 24

## Содержание

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1	
Изучение метода формовой вулканизации резины в прессах .....	3
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2	
Изучение процесса формования полимеров методом прессования.....	9
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3	
Получение изделий из термопластов методом литья под давлением.....	15
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4	
Расчет гнездности формы при прессовании и литниковой системы при литьевом прессовании и литье под давлением. Расчет размеров загрузочной камеры.....	29
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5	
Изучение методов расчета усилия прессования, смыкания формы, выталкивания изделия, прочности оформляющих изделий и выбора оборудования.....	43
Приложения.....	53

# **ОБРАБОТКА ДАВЛЕНИЕМ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

## **Лабораторный практикум для студентов специальности 1-36 01 05 «Машины и технология обработки материалов давлением»**

Автор-составитель: **Бобарикин** Юрий Леонидович  
**Рыженко** Михаил Михайлович  
**Швецов** Александр Николаевич

Подписано в печать 10.11.07.  
Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Цифровая печать. Усл. печ. л. 3,5. Уч. - изд. л. 3,8.  
Изд. № 220.  
E-mail: [ic@gstu.gomel.by](mailto:ic@gstu.gomel.by)  
<http://www.gstu.gomel.by>

Отпечатано на МФУ XEROX WorkCentre 35 DADF  
с макета оригинала авторского для внутреннего использования.  
Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П.О. Сухого».  
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48, т. 47-71-64.

