

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра "Лазерная техника и технология"

ТЕХНОЛОГИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ (ПРАКТИКУМ)

для студентов специальности 1-38 01 02
«Оптико-электронные и лазерные приборы и системы»
специализаций 1-38 01 02 01
«Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы
и 1-38 01 02 02 «Лазерные системы и технологии»

Минск 2004

УДК 678.5:62-229.4.001.2(035)

Составители:

А.С. Козерук, А.Ю. Луговик

Рецензенты:

Р.В. Федорцев, В.О. Кузнечик

В лабораторном практикуме приведены сведения по конструкционным пластмассам, видам их переработки и даны рекомендации по технологичности пластмассовых изделий. Рассмотрена методика расчета отдельных функциональных узлов пресс-формы, ее индукционного нагревателя и формообразующих деталей. Изложены требования к оформлению отчета и контрольные вопросы.

Авторы выражают благодарность студентам групп 113121 и 113111 за помощь при подготовке рукописи.

© А.С. Козерук, А.Ю. Луговик,
составление, 2004

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПОЛУЧЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПЛАСТМАСС

1. Полимерные материалы для получения изделий методами литья и прессования

Большая часть пластических масс состоит из двух основных компонентов: высокомолекулярного органического вещества – смолы, являющейся связующим материалом пластмассы и определяющей ее основные свойства; различного рода наполнителей, изменяющих в нужном направлении свойства пластмасс.

Кроме наполнителей в состав пластмасс часто вводят пластификаторы, стабилизаторы, смазывающие вещества, красители и др. Введение, например, асбеста, талька, стекла повышает теплостойкость; графита, фторопласта, дисульфидмолибдена уменьшает коэффициент трения и увеличивает износостойкость; асбеста, барита улучшает фрикционные свойства; слюды, кварцевой муки, стекла, шпата повышает электроизоляционные свойства; цветных металлов улучшает теплопроводность и т. д.

Однако следует заметить, что введение наполнителей, как правило, приводит к увеличению давления переработки и площади сечения литниковых каналов при литье, а также способствует интенсификации изнашивания формы и литьевой машины. При конструировании формы эти факторы необходимо учитывать.

По химической природе смолы пластмассы подразделяют на два вида: термореактивные и термопластичные.

Термореактивными называют пластмассы, которые при их получении претерпевают необратимые физико-химические превращения, преобразуются в твердые неплавкие материалы и повторной переработке не поддаются. Термопластичные пластмассы в процессе нагрева претерпевают только физические превращения, затвердевают при охлаждении и допускают повторную переработку.

2. Виды переработки пластмасс методами прессования и литья под давлением

Прямое прессование без предварительного подогрева. Подготовленную по массе или объему дозу пресс-порошка загружают в

нагретую форму (рис. 1, а), где под действием температуры и давления материал принимает заданную форму и выдерживается до отверждения. Такой технологический процесс можно эффективно применять при изготовлении изделий малой высоты, а также изделий с толщиной стенок до 2 мм и несложной конфигурации.

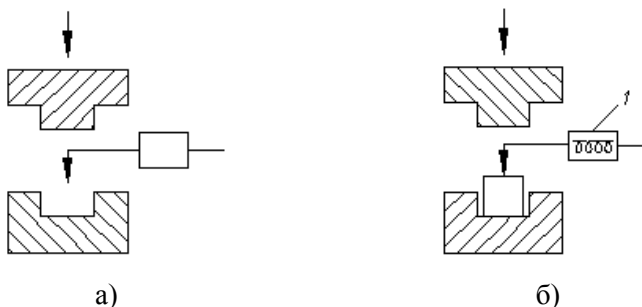


Рис. 1

В процессе прессования давление передается непосредственно на прессуемое изделие; в начале запрессовки оно достигает 25 – 50 МПа (в зависимости от материала) и снижается в процессе выдержки до 2,0 – 2,5 МПа.

Процесс легко автоматизировать для безарматурных изделий. Производительность можно увеличить при повышении температуры формы. К недостаткам данного метода следует отнести образование облоя по линии разъема формы, необходимость создания повышенных усилий прессования, трудность формования изделий сложной конфигурации и изделий с арматурой.

Прямое прессование с предварительным подогревом таблетированного материала. Таблетированный на гидравлических или механических таблет-машинах материал разогревается, например, в генераторах 1 током высокой частоты до требуемой температуры и загружается в форму, где происходит процесс прессования аналогично предыдущему (рис. 1, б).

Этот метод более производителен по сравнению с предыдущим, так как предварительный подогрев пресс-материалов уменьшает время отверждения изделия в форме в 1,5-2,0 раза, позволяет получать детали более сложной конфигурации и более высокого качества.

Литьевое прессование. При этом методе предварительно подогретый в нагревательном устройстве (рис. 2) таблетированный материал загружается не непосредственно в форму, а в специальную камеру, откуда под давлением плунжера масса перетекает через литниковую систему в оформляющие полости предварительно сомкнутой формы; здесь при дальнейшей выдержке под давлением материал отверждается.

Так как при этом методе давление в момент запрессовки не передается непосредственно на стенки оформляющих полостей, а повышается в них после их заполнения, появляется возможность получения изделий с тонкой и сложной арматурой. Необходимо учитывать, что поток материала из литника не следует направлять на арматуру (ее можно располагать в различных направлениях и обеспечивать двустороннее закрепление). Кроме того, метод позволяет получать изделия сложной формы с глубокими отверстиями малого диаметра. По плоскости разъема формы облой образуется в небольшом количестве либо отсутствует.

К недостаткам метода следует отнести: повышенный расход материала из-за больших необратимых отходов на литники и неизбежный технологический избыток материала в литьевой камере; большие сложность и стоимость форм, чем при прямом прессовании.

Существуют два основных варианта литьевого прессования: в формах с верхней (рис. 2, а) и с нижней (рис. 2, б) загрузочными камерами.

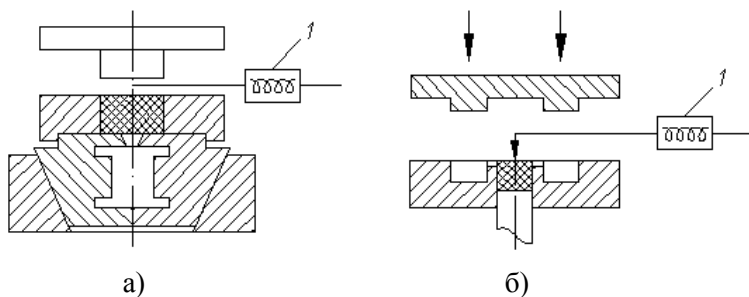


Рис. 2

Прямое прессование с предварительной пластикацией пресс-порошка. Сущность способа заключается в том, что предварительный подогрев материала, пластикация и дозировка осуществляются в

цилиндре с вращающимся шнеком. Подготовленная и дозированная порция материала, как правило, автоматически подается в форму (рис. 3, а). Этот процесс позволяет полностью отказаться от таблетирования и нагревания материала в генераторах токов высокой частоты.

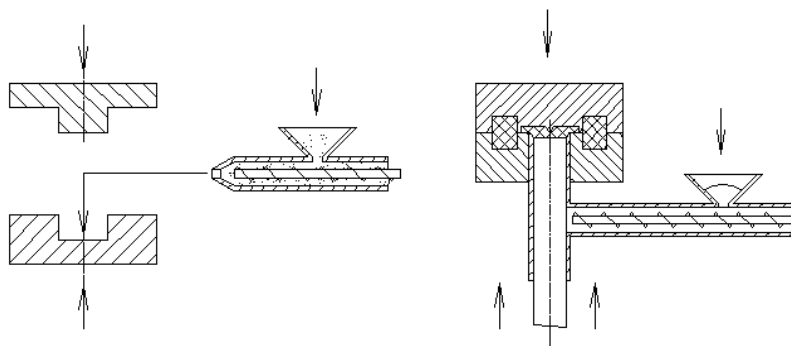


Рис. 3

Благодаря достижению высокой температуры материала перед прессованием значительно повышается производительность переработки гранулированных и порошкообразных материалов, причем эффективность процесса повышается с увеличением толщины стенки изделия.

Литьевое прессование с предварительной пластикацией отличается от предыдущего метода тем, что подготовленный материал подается не в форму, а в литьевой цилиндр (рис. 3, б), из которого он впрыскивается в закрытую форму плунжером.

Процесс эффективен при изготовлении толстостенных, сложных по форме армированных изделий. Существенные недостатки способа – большая сложность и увеличенные размеры оборудования и оснастки, значительный объем наладочных работ при переходе с одного изделия на другое.

Литье под давлением реактопластов. Исходный материал (гранулят) из бункера 1 подается в цилиндр 2 литьевой машины, где переводится в вязкотекучее состояние, а затем в сомкнутую форму 3 (рис. 4). При прохождении через отверстия в мундштуке, канале литниковой втулки и по литниковой системе формы материал за короткое время дополнительно равномерно прогревается до темпе-

ратуры прессования, благодаря чему значительно уменьшается время выдержки в форме; эта температура почти не зависит от толщины стенки изделия. Процесс эффективен для деталей массивных, толстостенных, сложных по конфигурации, а также для деталей с арматурой, при изготовлении которых метод прямого прессования особенно неэкономичен.

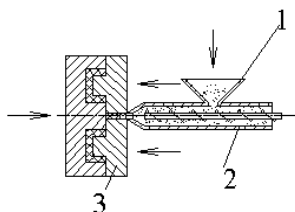


Рис. 4

В отдельных случаях используют усовершенствованный способ литья реактопластов с допрессовкой, при котором материал предварительно подвергается подготовке в цилиндре машины и впрыскивается в не полностью замкнутую форму. По окончании впрыска форма полностью смыкается – происходит прессование. Благодаря этому значительно снижается анизотропия свойств и появляется возможность получать тонкостенные изделия с минимальным короблением. Другие преимущества метода: хорошая вентиляция формы, улучшенная поверхность изделия по сравнению с получаемой другими методами. К недостаткам метода следует отнести высокую стоимость формы, повышенный износ формообразующих поверхностей по линии смыкания формы и, как следствие, образование грата.

Литье под давлением термопластов является основным способом переработки термопластичных материалов в изделия. Он позволяет изготавливать высококачественные изделия с высокой степенью точности из самых различных материалов. Процесс литья под давлением ведут на литейных машинах при температуре литейного цилиндра 160 – 280 °С (в зависимости от применяемого материала) выдавливанием расплавленной пластмассы в охлаждаемую форму (см. рис. 4), где материал остывает и отверждается.

3. Технологичность пластмассовых изделий

Конструкция пластмассового изделия существенно влияет на конструкцию формы для его получения. В связи с этим изделие следует конструировать одновременно с анализом его технологичности.

Необходимо учитывать, что в ряде случаев ошибки, заложенные при разработке изделия, не возможно исправить выбором конструкции формы. Типичной ошибкой является механический перенос конструктивных элементов деталей, изготовленных из металла, на пластмассовые детали, что, как правило, приводит к ухудшению технологических и конструкционных свойств пластмассового изделия.

При конструировании пластмассовых изделий необходимо стремиться к обеспечению рациональных условий течения материала в форме, повышению точности изготовления, уменьшению внутренних напряжений, коробления, цикла изготовления.

Требования к конструкции пластмассовых изделий сводятся к следующим: допуски должны быть технически обоснованными; изделия должны иметь технологические уклоны; по возможности необходимо избегать поднутряющих выступов и впадин; изделия должны иметь закругления для увеличения механической прочности и облегчения процесса формообразования; стенки изделия по возможности должны быть равной толщины без резких переходов; для увеличения прочности отдельных элементов пластмассового изделия, обеспечения специальных свойств (электрическая, магнитная проводимость и др.), повышения износостойкости, улучшения декоративных свойств в конструкцию изделия допускается вводить металлическую или другую арматуру; конструкция изделия должна предусматривать место подвода литника, положение выталкивателей, следов от вставок и расположение линии разъема формообразующих элементов.

Ниже рассмотрены наиболее общие принципы конструирования технологичных изделий из пластмасс. При специальных требованиях к изделию необходимо обращаться к соответствующей литературе или эксперименту.

Допуски на изделия из пластмасс. Точность пластмассовых изделий зависит от многих факторов: разброса технологических свойств материала от партии к партии, чувствительности материала к изменениям технологического режима и способности оборудова-

ния поддерживать постоянные технологические параметры и др. Поскольку эти показатели, особенно два первых, меняются в довольно широких пределах, то нельзя механически переносить допуски металлических изделий на пластмассовые.

При сопряжении пластмассовых деталей с металлическими или пластмассовыми следует руководствоваться ГОСТ 11710-71 и ГОСТ 11709-81.

Форма изделия. Внешняя форма изделия должна по возможности обеспечивать применение неразъемных матриц и пуансонов, так как стоимость форм при разъемных оформляющих элементах значительно возрастает, а износостойкость снижается. Кроме того, увеличивается трудоемкость изготовления самих изделий.

Конфигурация изделия не должна препятствовать свободному течению массы при заполнении формообразующей полости, поэтому при разработке изделия следует всегда стремиться к максимальному упрощению его формы, придавать ему плавные очертания с закругленными углами (без ущерба для эксплуатационных свойств).

Выбор плоскости разреза во многом определяет точность различных элементов пластмассовой детали при прямом прессовании.

Следует стремиться к тому, чтобы наиболее ответственные элементы изделия не попадали в плоскость разреза пуансона и матрицы, так как на их точность будет влиять погрешность, зависящая от толщины обля.

Необходимо, чтобы линия разреза совпадала с участками простой конфигурации и находилась в одной плоскости для упрощения операции обработки обля.

Приливы и выступы. Конструкция пластмассового изделия по возможности не должна иметь значительных выступов или приливов.

К технологическим выступам относят выступы, предназначенные для размещения выталкивателей. Они могут отсутствовать на достаточно прочных, но желательны на тонкостенных изделиях. При размещении выталкивателей на краю изделия толщину его боковой стенки в этом месте при необходимости увеличивают.

Конструктивные выступы на боковых стенках изделия образуют поднутрения, препятствующие его извлечению из формы, и, как правило, требуют применения подвижных или съемных элементов оформления. Иногда при незначительном изменении изделия можно существенно упростить конструкцию формы. Например (рис. 5, а),

продолжением выступа до торцевой поверхности стенки (для внешних выступов), до дна изделия (для внутренних выступов) или введением технологического отверстия (рис. 5, б) можно избежать поднутрений.

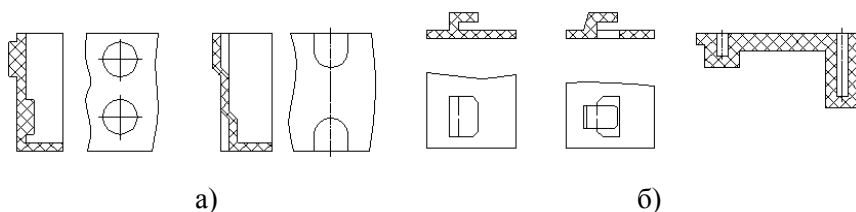


Рис. 5

Стенки и днища. Толщина сечения стенки определяется в первую очередь конструктивными требованиями, однако технологические особенности формования пластмасс накладывают определенные ограничения.

Минимально возможная толщина стенки зависит от способности материала заполнять форму, т.е. от его вязкости, высоты стенки и конфигурации изделия, места подвода литника.

Минимальная рекомендуемая толщина стенок изделий из термопластов, мм: полиэтилен – 0,5; полистрол – 0,75; полиамид – 0,7; поликарбонат – 1,2; полиметилметакрилат – 0,7; этрол – 0,7.

Указанные значения не являются идеальными: изделия малых размеров и простой формы можно изготавливать с толщиной стенки 0,3 мм. Рекомендуемая максимальная толщина стенок 3 – 4 мм. Превышение над указанной резко снижает ударную вязкость изделия, увеличивает внутренние напряжения и склонность к растрескиванию. В связи с этим для увеличения прочности изделия следует прибегать к специальным конструктивным приемам (рис. 6): изменять конфигурацию изделия, вводить арматуру, ребра жесткости и другие усиливающие элементы.

Для изделий из реактопластов минимально допустимая толщина стенок зависит от текучести материала, высоты изделия, ударной вязкости применяемой пластмассы. Максимальная величина местных утолщений не должна превышать 10 – 12 мм.

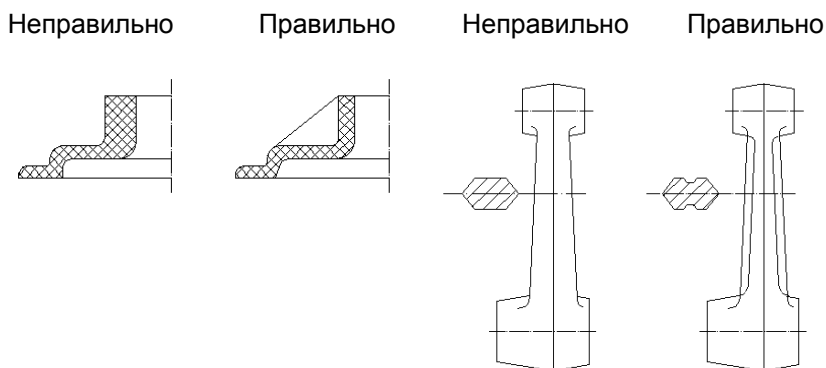


Рис. 6

Наиболее важное требование при конструировании изделия – обеспечение равнотолщинности стенок и дна. Если это обеспечить не удастся, то допускаемая разнотолщинность не должна превышать следующих отношений дна к стенке: при прессовании 2:1, при литье реактопластов 5:1, при литье термопластов 1,5:1 (максимум 2:1). Переходы от большего сечения к меньшему необходимо выполнять плавными, вводя закругления и конические участки с конусностью не менее 1:3 (рис. 7).

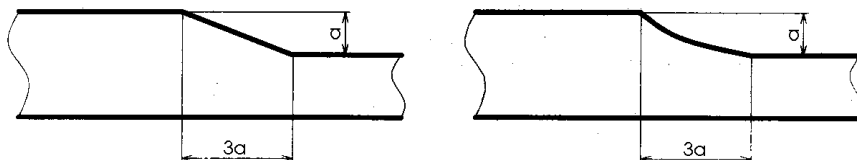


Рис. 7

Технологические уклоны. Для обеспечения свободного (без повреждений) извлечения отливки из формы на внешней и внутренней поверхностях изделия, ребрах, отверстиях, пазах в направлении разъема оформляющих элементов формы необходимо предусматривать технологические уклоны (на рис. 8 стрелками показано направление разъема формы).

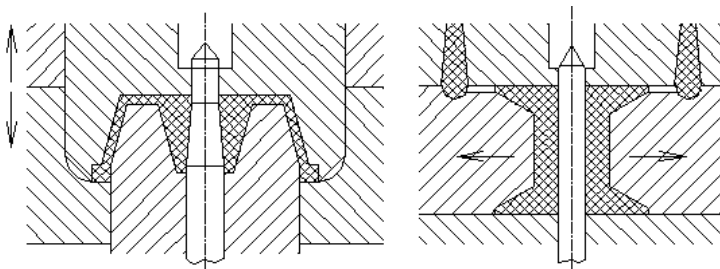


Рис. 8

На чертежах оформляющих элементов форм рекомендуют указывать не угол конуса в угловых единицах, а половину разности размеров наибольшего A (у основания конической поверхности) и наименьшего a (у вершины).

Ребра. Правильно спроектированные ребра позволяют увеличить жесткость и прочность изделия, уменьшить толщину стенки, массу изделия и соответственно сократить цикл изготовления, улучшить условия заполнения формы (ребра выполняют функции дополнительных литниковых каналов) и при этом снизить коробление.

Толщину, длину и расположение ребер следует принимать на раннем этапе проектирования. Толстые тяжелые ребра приводят к образованию пузырей или утяжин в местах сопряжения ребра со стенкой.

Максимальная толщина ребер не должна превышать 1,3 толщины стенки.

Острые углы в местах соединения стенок способствуют их короблению в процессе охлаждения (рис. 9, а) и являются одной из главных причин, вызывающих концентрацию напряжений, которые резко снижают несущую способность изделия. Это необходимо учитывать при разработке изделий. Оптимальный вариант сопряжения стенок показан на рис. 9, б.

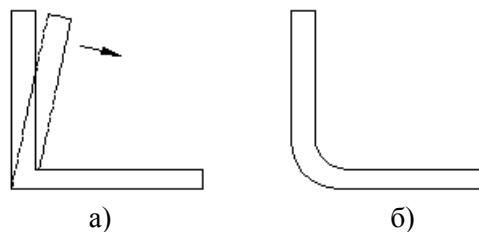


Рис. 9

Резьбы. Среди многообразия изделий из пластмасс большую группу составляют изделия, имеющие наружную, внутреннюю или и ту и другую резьбу, которую получают как в процессе формования, так и нарезанием механическим способом. Возможность непосредственного получения резьбы в процессе формования, несмотря на усложнение конструкции формы, дает значительные преимущества, так как исключает операции механической обработки. При этом необходимо руководствоваться следующими рекомендациями:

- для волокнистых материалов не рекомендуется применять резьбы диаметром менее 4 мм, для других материалов – резьбы диаметром менее 3 мм;

- не допускается применять резьбы с мелким шагом при диаметре менее 4 мм, шаг 0,5 мм при диаметре более 16 мм, шаг 0,75 мм при диаметре более 18 мм, шаг 1 мм при диаметре более 36 мм;

- прочность резьбы из термореактивных материалов максимальна при шаге 1,5 мм;

- для сильно нагруженных резьб с мелким шагом (менее 1,0 мм) следует использовать металлическую арматуру;

- длина свинчивания не должна превышать диаметр более чем в 1,5 – 2 раза.

Арматура. В зависимости от требований, предъявляемых к изделию, оно может быть армировано металлической, керамической, стеклянной, пластмассовой (другого вида), резиновой и другой арматурой.

Арматуру можно закреплять в изделии непосредственно в процессе формования (заливка, запрессовка), устанавливать в изделие сразу после формования и извлечения из формы, когда закрепление осуществляется за счет температурной и структурной усадки, закреплять в охлажденном изделии на клею или механическим способом (на резьбе, заклепках и т.п.).

Чаще всего используют металлическую арматуру, которая придает изделию прочность, износостойкость, размерную точность, улучшает его магнитную и электрическую проводимость, декоративные свойства. Применение керамических колец, втулок повышает износостойкость изделий. Резиновая арматура (рис. 10, а) придает изделию амортизирующие свойства и может использоваться для быстрого и простого крепления детали. Пластмассовую арматуру (рис. 10, б) используют для улучшения механических свойств ос-

нового материала изделия и придания ему декоративных свойств, получения изображения различных знаков на поверхности изделия (например, клавиш с изображением цифр и букв) и т.п. Кроме того, резиновая и пластмассовая арматура позволяют в ряде случаев резко уменьшить расход дефицитного материала и сократить выдержку на данной операции уменьшением толщины стенки.

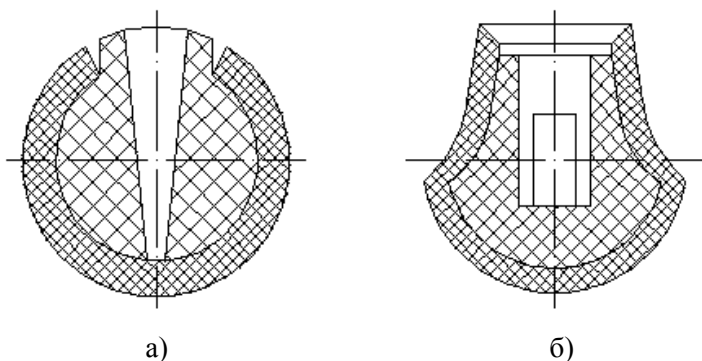


Рис. 10

Общий недостаток изделий с арматурой – увеличенное количество брака, дополнительные затраты на изготовление и закрепление арматуры. К недостаткам изделий с арматурой, закрепляемой в процессе формования, следует отнести возникновение внутренних напряжений в слое пластмассы, усложнение оснастки и процесса формования. Недостатки клеевых соединений: старение клеев, необходимость воздействия повышенных температур, зависящих от марки клея, недостаточная долговечность таких соединений. Недостаток соединений с натягом – уменьшение прочности соединений во времени в результате ползучести и релаксации напряжений пластмасс.

В зависимости от назначения арматура может быть стержневая, втулочная, клеммная, кольцевая и др. В качестве арматуры можно использовать стандартные изделия (болты, винты, гайки) с доработкой или без нее, а также специально изготовленные для конкретного изделия детали (рис. 11). Специально изготовленную арматуру, как правило, используют для изделий с повышенными эксплуатационными требованиями.

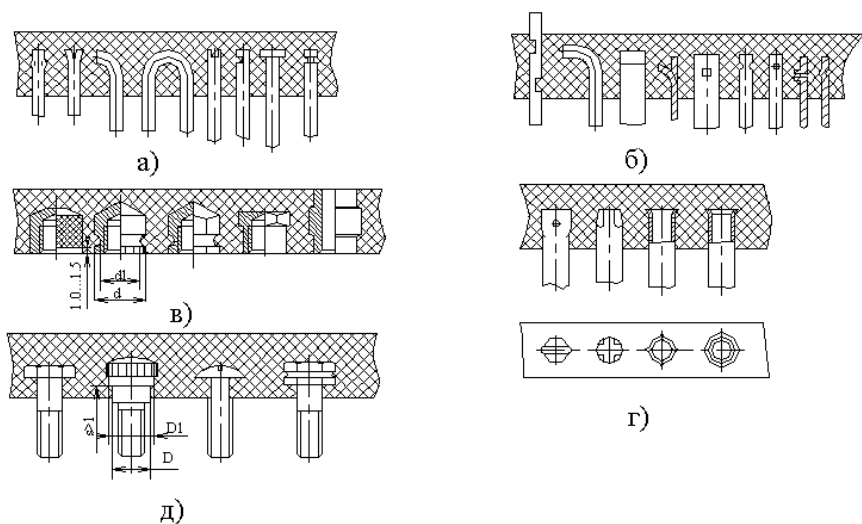


Рис. 11

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Лабораторная работа №1

РАСЧЕТ ЦЕНТРАЛЬНОГО, РАЗВОДЯЩИХ И ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ КАНАЛОВ ФОРМ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

1.1. Теоретическая часть

Литниковая система

Литниковая система – это система каналов формы, служащая для передачи материала из сопла литьевой машины в оформляющие гнезда формы. Застывший в литниковых каналах полимер называется литником.

Литниковая система должна обеспечивать поступление расплава полимера в формообразующую полость формы с минимальными потерями температуры и давления после пластицирующего цилиндра литьевой машины. Литниковая система решающим образом влияет на качество изготавливаемого изделия, расход материала, производительность процесса и др. Неправильно спроектированная литниковая система является причиной повышенных напряжений в

изделии, его коробления, образования на поверхности изделия следов течения материала, неполного заполнения формообразующей полости, неравномерной усадки материала.

В общем виде литниковая система включает три основных элемента: центральный литниковый канал, по которому расплав из материального цилиндра поступает в форму; разводящий канал, ответвляющийся от основного центрального; впускной канал, по которому расплав непосредственно поступает в оформляющую полость.

Центральный литниковый канал – наиболее простой элемент. Этот канал должен иметь достаточно большое сечение, возрастающее с увеличением вязкости расплава и толщины стенки изделия для сохранения жидкотекучести расплава в литниковой системе. Однако сечение центрального литникового канала 1 (рис. 1.1) не должно быть слишком большим, так как это увеличивает время охлаждения, расход материала и может ухудшить внешний вид изделия (появляются утяжины под литником при литье в одногнездные формы). Диаметр d_1 отверстия центрального литникового канала на входе в литниковую втулку 2 можно принять по зависимости d_1 от массы m отливки (в заштрихованной зоне – рис. 1.2). Для развитой литниковой системы размеры следует выбирать ближе к верхнему краю зоны, для менее развитой системы – ближе к нижнему краю.

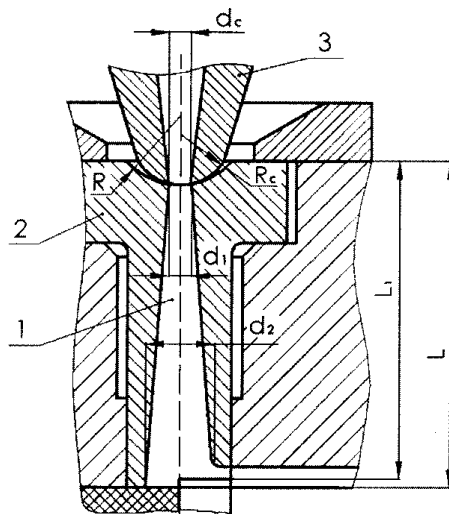


Рис. 1.1

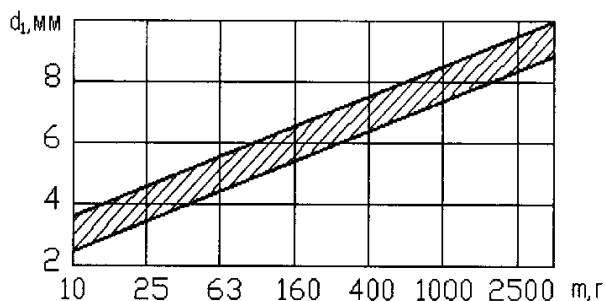


Рис. 1.2

Диаметр d_1 канала рекомендуется выполнять на 0,4 – 0,6 мм больше диаметра сопла $3 d_c$ (см. рис. 1.1, где радиус сопла $R_c = (R - 1)$, мм; R – радиус литниковой втулки; $d_c = d_1 - (0,4 \dots 0,6)$, мм; $L_1 \leq (L - 0,2)$, мм; L – длина центрального литникового канала.

Диаметр d_1 на входе в литниковую втулку можно определить аналитически, вычислив расчетный диаметр, мм:

$$d_p = \sqrt{V / (\pi v \tau)}, \quad (1.1)$$

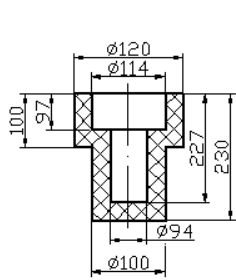
где V – объем впрыска отливки, см^3 (равен объему материала, необходимого для получения конкретной детали, показанной на рис. 1.3);

v – средняя скорость течения материала в литниковой втулке, см/с ;

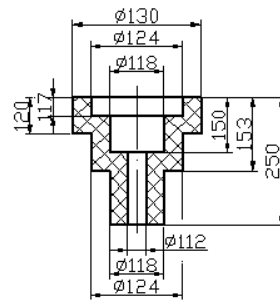
τ – продолжительность впрыска, с.

Рекомендуемые значения средней скорости: для отливок объемом до 100 см^3 – $v = 300 \text{ см/с}$; для отливок объемом до 500 см^3 – $v = 450 \text{ см/с}$; для отливок объемом более 500 см^3 – $v = 550 \dots 600 \text{ см/с}$.

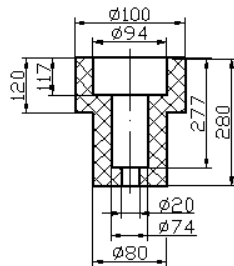
Время впрыска (выбирают в соответствии с технической характеристикой литейной машины) должно быть увязано с массой и толщиной S_n отливки: для тонкостенных отливок и отливок малой массы время впрыска меньше, для толстостенных отливок и отливок большой массы время впрыска больше.



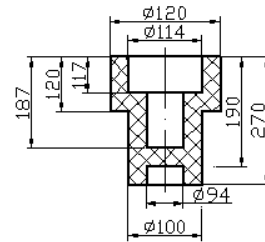
a)



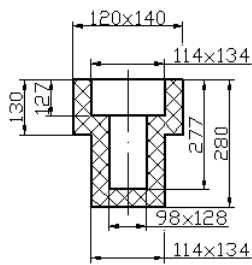
б)



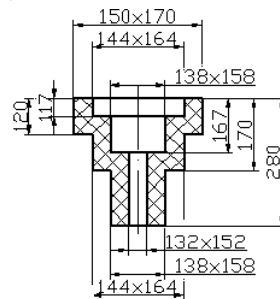
в)



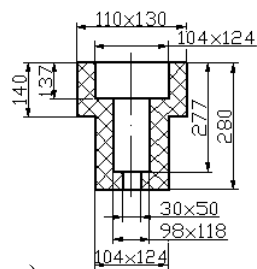
г)



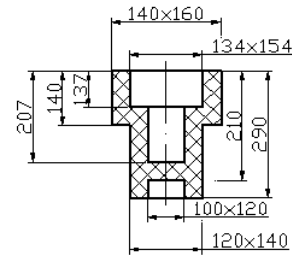
д)



е)



ж)



з)

Рис. 1.3

Диаметр d_2 центрального литникового канала на выходе и его максимально допустимую длину L выбирают по табл. 1.1.

Таблица 1.1

Значения диаметра d_2 центрального литникового канала на выходе и максимально допустимой длины L при различных углах α конуса (линейные размеры, мм)

Диаметр d_1 центрального литникового канала на входе	d_2	L	d_2	L	d_2	L	d_2	L	d_2	L
	$\alpha = 2^\circ$		$\alpha = 3^\circ$		$\alpha = 4^\circ$		$\alpha = 5^\circ$		$\alpha = 6^\circ$	
	2,5	4,2	50	5,1	50	6,0	50	6,9	50	7,7
3,0	4,7	50	5,6	50	6,5	50	7,4	50	8,2	50
3,5	5,9	70	7,2	70	8,4	70	9,6	70	10,8	70
4,0	6,4	70	7,7	70	8,9	70	10,1	70	11,3	70
4,5	6,9	70	8,2	70	9,4	70	10,6	70	11,8	70
5,0	7,8	80	9,2	80	10,5	80	12,0	80	13,4	80
5,5	8,3	80	9,7	80	11,1	80	12,5	80	13,9	80
6,0	8,8	80	10,2	80	11,6	80	13,0	80	14,4	80
6,5	9,3	80	10,7	80	12,1	80	13,5	80	14,9	80
7,0	10,1	90	11,7	90	13,3	90	14,9	90	16,4	90
7,5	10,6	90	12,2	90	13,8	90	15,4	90	16,9	90
8,0	11,1	90	12,7	90	14,3	90	15,9	90	17,4	90
8,5	12,0	100	13,7	100	15,5	100	17,3	100	19,0	100
9,0	12,5	100	14,2	100	16,0	100	17,8	100	19,5	100
9,5	13,0	100	14,7	100	16,5	100	18,3	100	20,0	100
10,0	13,5	100	15,2	100	17,0	100	18,8	100	20,5	100
10,5	14,0	100	15,7	100	17,5	100	19,3	100	21,0	100
11,0	14,5	100	16,2	100	18,0	100	19,8	100	21,5	100
11,5	15,0	100	16,7	100	18,5	100	20,3	100	22,0	100
12,0	15,5	100	17,2	100	19,0	100	20,8	100	22,5	100

Центральный литниковый канал обязательно выполняют коническим (см. рис. 1.1). Угол конуса определяется усадкой полимера и его адгезионными свойствами. Рекомендуемый угол конуса α (кроме поликарбоната и стеклонаполненных полимеров) 3° . Для поликарбоната и стеклонаполненных полимеров $\alpha = 4 \dots 6^\circ$.

Если основной литник подводится непосредственно к изделию, то его больший диаметр d_2 (со стороны изделия), во избежание образования утяжин на изделии, не должен превышать максимально допустимой величины $d_{2\max}$, мм:

$$d_2 \leq d_{2\max} = S_{\text{и}} + 1,5, \quad (1.2)$$

где $S_{\text{и}}$ – толщина отливаемого изделия в месте подвода литника. В противном случае возможны два решения.

1. Выполнить канал, как показано на рис. 1.4. Такая форма сечения канала предотвращает или значительно уменьшает возможность образования утяжин на изделии.

2. Увеличить время впрыска и по формуле (1.1) определить новый меньший диаметр литникового канала.

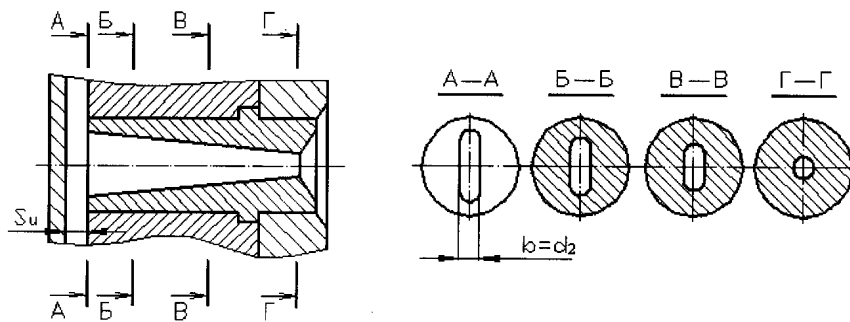


Рис. 1.4

Пример. Рассчитать диаметр центрального литникового канала. Масса отливки $m = 1200$ г; материал – полистирол ударопрочный; время впрыска $\tau = 2$ с; литниковая система с разводящими каналами; толщина изделия $S_{\text{и}} = 2,5$ мм.

Решение. Объем отливки $V = m/\rho = 1200/1,07 = 1121 \text{ см}^3$, где $\rho = 1,07 \text{ г/см}^3$ – плотность ударопрочного полистирола.

Расчетный диаметр центрального литникового канала (см. формулу (1.1), где $v = 550 \text{ см/с}$)

$$d_p = \sqrt{1121/(3,14 \cdot 550 \cdot 2)} \approx 6 \text{ мм.}$$

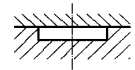
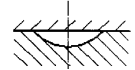
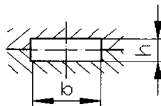
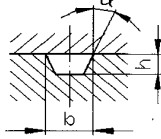
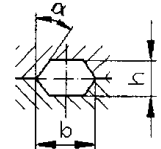
По табл. 1.1 $d_2 = 10,2$ мм (для $\alpha = 3^\circ$); по соотношению (1.2) $d_{2 \max} = 2,5 + 1,5 = 3,5$ мм. Получено $d_2 > d_{2 \max}$. Но так как центральный литник не примыкает к изделию, останавливаемся на этом варианте и принимаем $d_1 = d_p = 6$ мм, $d_2 = 10,2$ мм, $L = 80$ мм.

Разводящие каналы являются частью литниковой системы, соединяющей оформляющие полости формы с центральным литниковым каналом. Во всех случаях надо укорачивать разводящие каналы, так как увеличение их длины ведет к возрастанию расхода материала, потере давления, а также ориентационных напряжений в изделиях.

Формы сечения разводящих каналов и рекомендации по применению даны в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Рекомендации по применению каналов с различной формой сечения

Вариант	Эскиз	Форма сечения разводящего канала	Характеристика канала	Примечание
1		плоская	Расположены в одной плите. Способствуют быстрому охлаждению расплава. На изделиях возможны спай, утяжины, следы потока и т.д.	Не допускаются
2		сегментная		
3		прямоугольная	Прямоугольный канал выполнен в двух плитах, трапецидальный – в одной плите	Нежелательны
4			трапецидальная	
5		трапецидальная	Трапецидальный канал выполнен в двух плитах, сегментный – в одной плите	

1	2	3	4	5
6		сегментная $b = 1,25 h$ $h = (2/3) d$ $d = S_{\text{У}} + 1,5 \text{ мм}$	Обеспечивают хорошее течение расплава и небольшие потери теплоты	Рекомендуются
7		-	Форма оптимальная	Предпочтительны

Поверхность разводящих каналов для большей части перерабатываемых полимерных материалов не полируют для удержания на стенках затвердевшего слоя полимера и предотвращения уноса затвердевших частиц в оформляющую полость формы. Для переработки таких материалов, как ПВХ, поликарбонат, полиметилметакрилат, поверхность разводящих каналов следует полировать и хромировать.

При заполнении каналов расплавом полимера прилегающие к стенкам слои материала интенсивно охлаждаются и затвердевают, уменьшая эффективное сечение канала. В связи с этим разводящие каналы редко изготавливают с площадью поперечного сечения меньше 7 мм^2 ($\varnothing 3 \text{ мм}$). В то же время площадь поперечного сечения разводящего канала не должна быть слишком велика, чтобы не изменялась продолжительность цикла литья, что возможно при литье очень тонких изделий. По этой причине нежелательно изготавливать разводящие каналы с сечением более 80 мм^2 ($\varnothing 10 \text{ мм}$).

В общем случае диаметр d разводящего канала круглого сечения или эквивалентный диаметр d_3 канала некруглого сечения можно определить по диаграмме на рис. 1.5 в зависимости от массы отливаемого изделия и длины L пути течения материала в центральном канале.

Для непластифицированного поливинилхлорида, поликарбоната, полиметилметакрилата расчетную площадь сечения разводящего канала необходимо увеличить на 25 %.

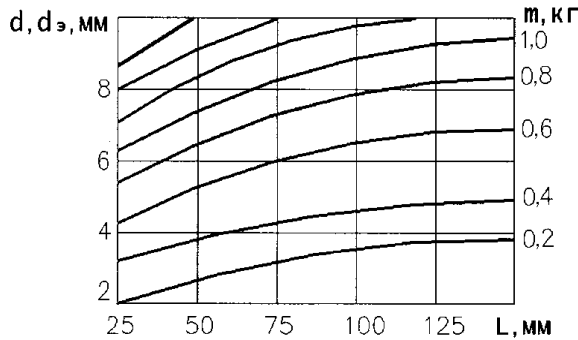


Рис. 1.5

Размеры разводящих каналов некруглого сечения (см. табл. 1.2) находят по определенному значению d_3 (см. рис. 1.5):

Вариант 3 в табл. 1.2

$$h = 0,5d_3 \sqrt[3]{\pi(1+k)/k^2},$$

где $k = b/h$. При $k = 1$, $h = 0,92d_3$.

Вариант 4 в табл. 1.2

$$h = 0,5d_3 \sqrt[3]{\pi(1 + \sin \alpha + k \cos \alpha)/(k + \operatorname{tg} \alpha)^2 \cos \alpha}.$$

При $\alpha = 10^\circ$ и $k = 1$, $h = 0,85d_3$.

Вариант 5 в табл. 1.2

$$h = 0,5d_3 \sqrt[3]{4\pi \left(k + \frac{1}{\cos \alpha} \right) / (2k + \operatorname{tg} \alpha)^2}.$$

При $\alpha = 10^\circ$ и $k = 0,84$ (условие вписанной окружности) $h \approx 0,95d_3$.

Как указано выше, расплав при заполнении канала охлаждается. Попадание в оформляющее гнездо охлажденного переднего фронта расплава может привести к появлению дефектов на поверхности изделий (муар, следы течения). Для уменьшения этих явлений разводящий канал перед поворотом следует снабжать специальными

сборниками охлажденного расплава, т. е. удлинять каналы на величину b (рис. 1.6; $b_1 = (1,0 \dots 1,5) d_1$; $b = (1,0 \dots 1,5) d$).

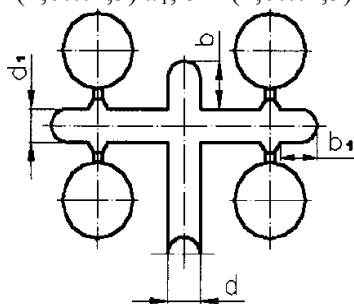


Рис. 1.6

Необходимо добиваться такого расположения разводящих каналов, которое обеспечивает идентичные условия заполнения оформляющих гнезд расплавом полимера.

Проще всего эту задачу решить при таком расположении каналов (рис. 1.7), когда пути течения (показаны утолщенными линиями) до каждого гнезда равны.

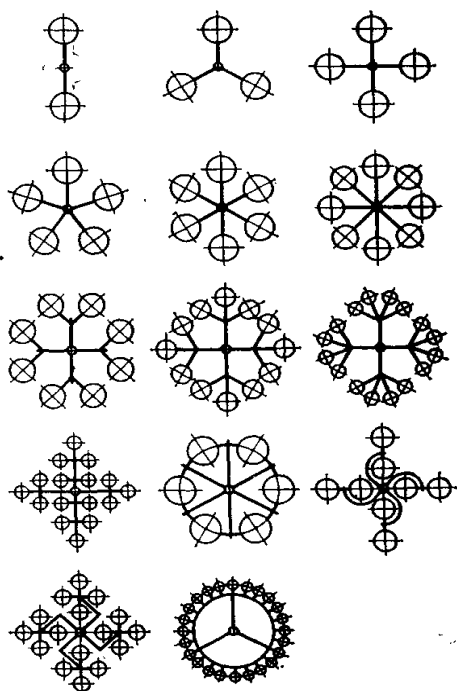


Рис. 1.7

На рис. 1.8 приведены примеры нерекондуемого расположения литниковых каналов, при котором хотя и обеспечиваются одинаковые условия заполнения, но увеличиваются путь течения и расход материала.

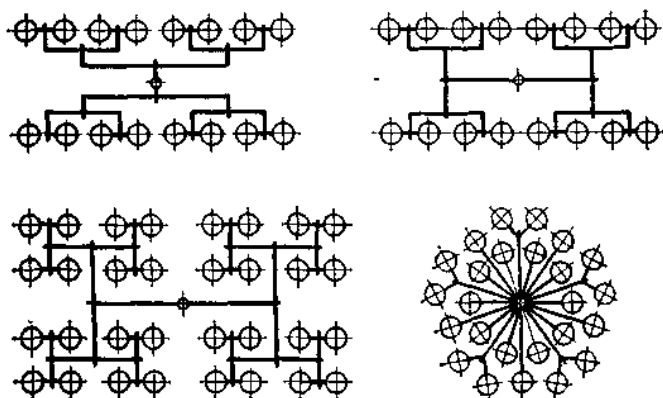


Рис. 1.8

Вентиляционные каналы. При заполнении оформляющей полости находящийся в ней воздух, а также выделяющиеся из полимера газы (особенно из поливинилхлорида, полиметилметакрилата, сополимеров формальдегида и др.) сжимаются, препятствуя заполнению формы. При этом температура газа может достигь 300 – 400 °С. На изделия могут появиться дефекты в виде резко выраженных спаев в местах встречи потоков расплава, недоливов, прижогов (при литье толстостенных изделий). Кроме того, происходит растворение газа в отливке, приводящее к уменьшению прочности и к деформации изделий. В связи с этим для отвода газов из оформляющего гнезда в форме предусматривают вентиляционные (газоотводящие) каналы в местах, заполняемых расплавом в последнюю очередь. Это, как правило, наиболее удаленные от места впуска участки полости с максимальным сопротивлением течению, где происходят защемление и сжатие газа. Площадь f удельного сечения вентиляционных каналов выбирают (рис. 1.9) в зависимости от времени впрыска τ . Площадь сечения вентиляционного канала одного гнезда, мм²:

$$F = f \cdot V_p,$$

где f – мм²/см³;

V_p – объем гнезда, см³.

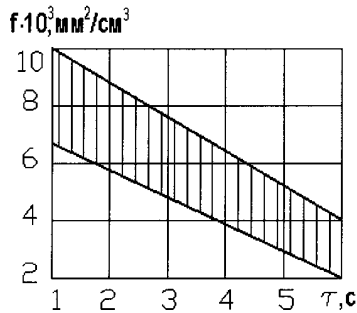


Рис. 1.9

Для тонкостенных изделий с большой длиной течения расплава значения f принимают по верхней границе диаграммы, для толстостенных изделий с малой длиной течения – по нижней границе.

Максимальную глубину e каналов принимают в зависимости от материала изделия:

	e , мм
Полистирол ударопрочный	0,04
Полипропилен	0,03
Полиамид 610	0,015
Поливинилхлорид	0,05
Полиметилметакрилат	0,055
Полиформальдегид	0,035
Поликарбонат	0,06

Число n каналов выбирают по конструктивным соображениям. Суммарная ширина каналов равна расчетной ширине

$$F/l = \sum_1^n b,$$

где b – текущая ширина канала.

Длина вентиляционного канала 1,5 – 2,0 мм. Он переходит в соединительный канал глубиной 1,0 – 2,0 мм, который соединяет его с атмосферой (рис. 1.10, а).

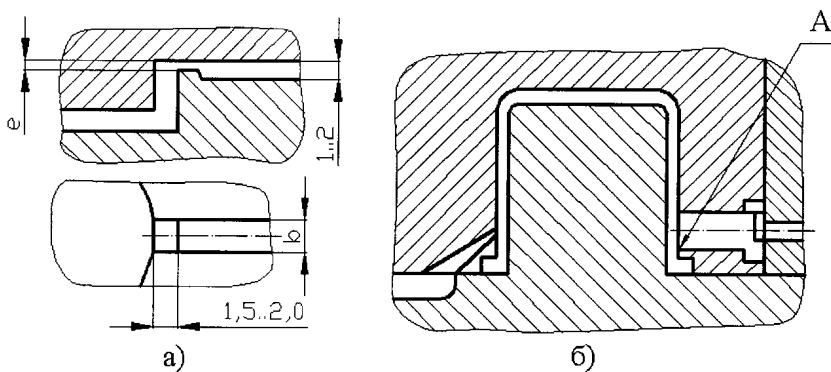


Рис. 1.10

Часто роль вентиляционных каналов могут играть зазоры в толкателях, вставках, подвижных и разъемных элементах оформления или специальных знаках (рис. 1.10, б), устанавливаемых в месте *A* заземления газа.

При литье вспенивающихся термопластичных композиций вентиляционным каналам следует уделять особое внимание, так как в этом случае давление заполнения формы значительно меньше, чем при литье невспенивающихся материалов.

Суммарная ширина каналов должна быть не менее 50 % периметра оформляющей полости в плоскости разреза. Число и ширину каналов выбирают конструктивно.

Прикладная часть

Используя методику, изложенную в п. 1, и данные табл. 1.3, рассчитать размеры центрального, разводящих и вентиляционных каналов форм для литья под давлением.

Таблица 1.3

Данные для расчета центрального,
разводящих и вентиляционных каналов

Вариант	Материал	Время впрыска, с	Насыпная плотность пресс-массы, кг/м ³	Усадка пластмассы, %	
				S_{\min}	S_{\max}
1	Полипропилен	2,0	500	0,6	0,8
2	Поливинилхлорид	3,5	800	0,5	0,7
3	Поликарбонат	4,5	600	0,4	0,6
4	Полистирол ударопрочный	6,8	400	0,8	1,0
5	Полиметилметакрилат	6,4	500	0,7	1,0
6	Поликапролактан	4	700	0,5	0,8
7	Полиамид 610	5,2	600	0,6	1,0
8	Полиформальдегид	7	400	0,4	0,7

Примечания:

1. Литник подводится к детали.
2. Плотность материала см. в табл. 5.1 лабораторной работы № 5.

Требования для получения допуска к выполнению работы

Знать методику расчета центрального, разводящих и вентиляционных каналов форм для литья под давлением.

Требования к оформлению отчета

Привести расчеты практической части.

Контрольные вопросы

1. Что такое литниковая система? Назначение центрального, разводящих и вентиляционных каналов и требования к ним.
2. Методика расчета центрального, разводящих и вентиляционных каналов форм для литья под давлением.
3. Требования к центральному каналу, подведенному к изделию.
4. Рекомендуемая форма сечений разводящих каналов и требования к величине площади их поперечного сечения и боковой поверхности.
5. Требования к расположению разводящих каналов и их конструктивные особенности, способствующие уменьшению дефектов на поверхности детали.
6. Рекомендации по выбору места в форме для вентиляционного канала.

Лабораторная работа № 2

РАСЧЕТ ВПУСКНЫХ КАНАЛОВ ФОРМ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

2.1. Теоретическая часть

Впускные каналы (питатели) имеют особое значение при литье под давлением. Они представляют собой последнее звено в системе литниковых каналов, подводящих материал к оформляющей полости формы. От их размеров и расположения в значительной степени

зависит качество отливаемых изделий, поэтому определение оптимальных размеров впускных каналов, их числа и расположения является весьма ответственной задачей.

При определении размеров впускных каналов необходимо руководствоваться следующими общими соображениями:

- для уменьшения потерь давления при заполнении формы длина впускных каналов должна быть возможно малой;

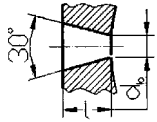
- площадь сечения канала не должна быть слишком мала, так как это приводит к большим потерям давления, затрудняет заполнение формы и способствует возникновению внутренних и наружных усадочных дефектов и дефектов в зоне впуска (полосы, складки и пр.); кроме того, возможна термическая деструкция материала из-за его перегрева при прохождении с высокой скоростью через канал малого сечения;

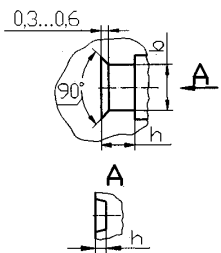
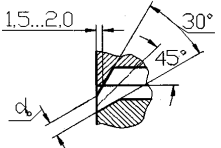
- площадь сечения канала не должна быть слишком велика; это усложняет отделение литников и ухудшает внешний вид изделия (следы от литника), а также приводит к излишнему уплотнению расплава, увеличению степени ориентации полимера в детали и возникновению больших внутренних напряжений в зоне впуска.

При литье термопластов наиболее распространены впускные каналы с круглым (точечным) и прямоугольным поперечным сечениями (табл. 2.1).

Таблица 2.1

Конструкция и размеры, мм, впускных каналов

Исполнение	Конструкция впускного канала	H	d_b	$H = b$ (пред. откл. по H11)	l (пред. откл. по h14)
1		До 0,6	0,5	_____	0,6 при $d_b=0,5 \dots 0,6$ 0,7 при $d_b=0,6 \dots 0,7$ 0,8 при $d_b=0,7 \dots 0,8$ 0,9 при $d_b=0,8 \dots 1,0$ 1,0 при $d_b=0,8 \dots 1,0$ 1,1 при $d_b=1,0 \dots 1,2$ 1,2 при $d_b=1,2 \dots 1,5$ 1,3 при $d_b=1,5 \dots 2,0$ 1,4 при $d_b=2,0 \dots 2,8$
		Свыше 0,6 до 3,3	$0,85H$	_____	
		Свыше 3,3	2,8	_____	

2		До 0,6 Свыше 0,6 до 3,3 Свыше 3,3		0,5 $a \cdot H$ 2,0 – 3,0 (в зависимости от материала)	0,6 при $h=0,5 \dots 0,6$ 0,7 при $h=0,6 \dots 0,7$ 0,8 при $h=0,7 \dots 0,8$ 0,9 при $h=0,8 \dots 0,9$ 1,0 при $h=0,9 \dots 1,0$ 1,1 при $h=1,0 \dots 1,2$ 1,2 при $h=1,2 \dots 1,5$ 1,3 при $h=1,5 \dots 2,0$ 1,4 при $h=2,0 \dots 3,0$
3		До 0,6 Свыше 0,6 до 2,4 Свыше 2,4	0,5 $0,85H$ 2,0		

Характеристический размер H (см. табл. 2.1) для равностенного изделия принимают равным его толщине, в остальных случаях вычисляют по формуле

$$H = 2V_{\text{и}} / S_{\text{и}}, \quad (2.1)$$

где H – характеристический размер изделия, см;

$V_{\text{и}}$ – объем изделия, см³;

$S_{\text{и}}$ – площадь поверхности изделия, см².

Объем изделия следует определять алгебраическим суммированием элементарных объемов, составляющих объем изделия, площадь полной поверхности изделия – алгебраическим суммированием элементарных площадей, составляющих поверхность изделия.

Диаметр $d_{\text{в}}$ следует округлять до 0,05 мм.

Число n_0 впускных каналов одного гнезда формы определяют по рис. 2.1 следующим образом:

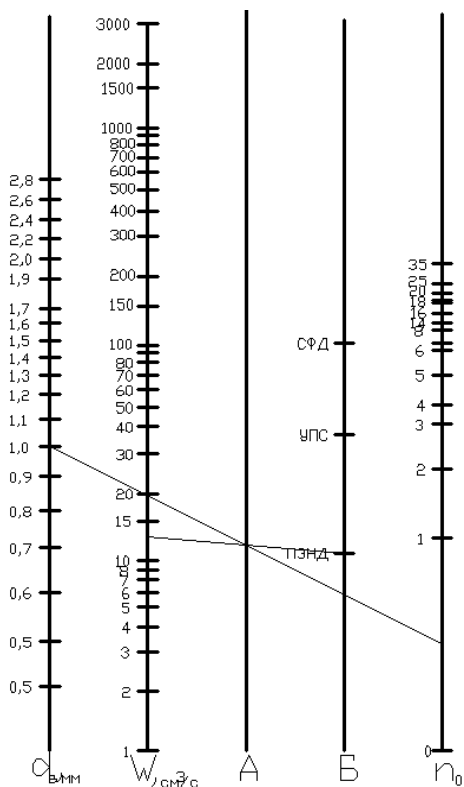
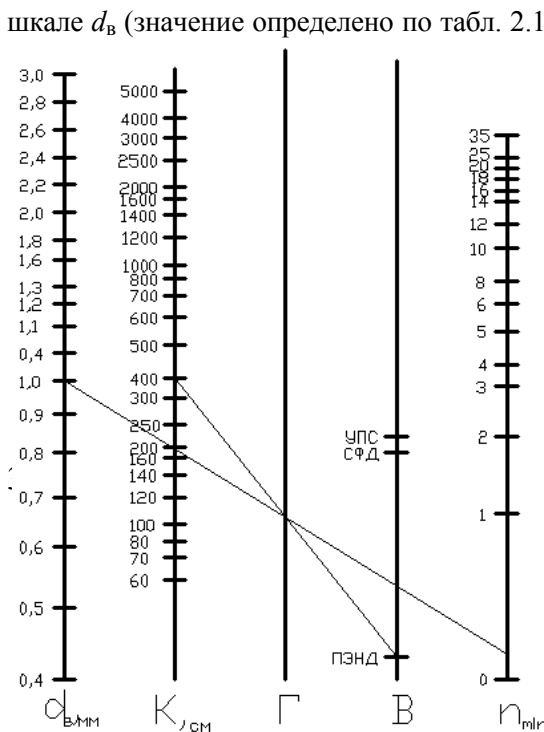


Рис. 2.1



а) вычисляют номинальную объемную скорость впрыска в одно гнездо формы, $\text{см}^3/\text{с}$:

$$W = W_M V_{\text{и}} / V_c, \quad (2.2)$$

где W_M – номинальная (паспортная) объемная скорость впрыска литейной машины, $\text{см}^3/\text{с}$;

V_c – сумма объемов одновременно отливаемых изделий или гнезд в форме, см^3 ;

б) через точку на шкале W , соответствующую вычисленному значению W , и точку на шкале A , соответствующую выбранному термопласту (СФД – сополимер формальдегида с диоксоланом, УПС – ударопрочный полистирол; ПЭНД – полиэтилен низкого давления), проводят прямую. Через точку пересечения этой прямой со шкалой B и точку на

шкале n_0 (значение определено по табл. 2.1) проводят прямую, пересекающую шкалу n_0 . Полученная точка соответствует значению n_0 .

Максимально допустимое число впускных каналов следует определять по рис. 2.2 следующим образом:

а) вычисляют

$$K = V_{\text{и}} / H^2 ; (2.3)$$

б) через точку на шкале K , соответствующую вычисленному значению, и точку на шкале B , соответствующую выбранному термoplastу, проводят прямую. Точку пересечения этой прямой со шкалой Γ и точку на шкале $d_{\text{в}}$ (значение определено по табл. 2.1) соединяют прямой. Продолжение последней пересекает шкалу n_{min} в точке, соответствующей значению n_{min} ;

в) при $n_0 > n_{\text{min}}$ число впускных каналов выбирается равным ближайшему большему, чем n_{min} целому числу. При $n_0 < n_{\text{min}}$ необходимо принять $n_0 = n_{\text{min}}$, по рис. 2.1 в обратном порядке определить новое значение W и по нему выбрать тип литьевой машины с большей объемной скоростью впрыска или новое значение $V_{\text{с}}$ (т.е. меньшее число гнезд в форме), после чего повторить расчет n_0 .

Пример расчета впускных каналов. Рассчитать размеры и число впускных каналов для изделий (рис. 2.3) из полиэтилена низкого

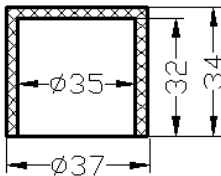


Рис. 2.3

давления, изготавливаемых в форме с двумя плитами, горячеканальной литниковой системой, пятью гнездами на машине с объемной производительностью 60 см³/с.

Объем изделия

$$V_{\text{и}} = 0,25\pi (34 \cdot 37^2 - 35^2 \cdot 32) = 5,77 \text{ см}^3.$$

Площадь поверхности изделия

$$S_{\text{и}} = 0,25\pi \cdot 37^2 + \pi 37 \cdot 34 + 0,25\pi(37^2 - 35^2) + \pi 35 \cdot 32 + 0,25\pi \cdot 35^2 = 96,2 \text{ см}^2.$$

Характеристический размер (см. формулу (2.1))

$$H = 2 \cdot 5,77 / 96,2 = 0,12 \text{ см.}$$

По табл. 2.1 угол выхода впускного канала 30°; при $H = 1,2$ мм диаметр впускного канала $d_{\text{в}} = 0,85H = 0,85 \cdot 1,2 = 1,02$ мм.

Принимаем $d_{\text{в}} = 1,00$ мм.

Для диаметра 1,00 мм по четвертому классу точности допуск составляет +0,06 мм. Исполнительный размер $d_B = 1^{+0,06}$. Параметр шероховатости поверхности впускного канала $R_a = 0,16$ мкм; длина впускного канала $l = 1$ мм.

Сумма объемов одновременно отливаемых деталей $V_c = V_i \cdot 5 = 5,77 \cdot 5 = 28,85$ см³.

Номинальная объемная скорость впрыска в одно гнездо (см. формулу (2.2))

$$W = 60 \cdot 5,77 / 28,85 = 12 \text{ см}^3/\text{с}.$$

По рис. 2.1 при $W = 12$ см³/с и $d_B = 1,0$ мм определяем $n_0 < 1$. Принимаем $n_0 = 1$. По формуле (2.3) $K = 5,77 / (1,2^2 \cdot 10^{-2}) = 400$ см.

По рис. 2.2 при $K = 400$ см и $d_B = 1,0$ мм определяем $n_{min} < 1$. Так как $n_0 = n_{mi}$, принимаем $n_0 = 1$.

Размеры впускных каналов для других полимерных материалов рекомендуют рассчитывать по следующим эмпирическим соотношениям.

Глубина канала

$$H = aH,$$

где a – постоянная, зависящая от материала;

H – характеристический размер.

Для практических расчетов различные термопласты можно разделить на несколько групп по значению a :

	a
Полистирол, полиэтилен	0,6
Полипропилен, поликарбонат, полиформальдегид	0,7
Полиметилметакрилат, полиамиды	0,8
Поливинилхлорид непластифицированный	0,9

Ширина впускного канала $b = a \sqrt{A/30}$, где A – площадь поверхности матрицы, мм².

Длину l канала принимают в пределах 0,6 – 1,4 мм.

При конструировании литниковой системы следует внимательно относиться к выбору места расположения впускного литникового канала. Необходимо придерживаться следующих основных правил.

Впуск должен быть расположен так, чтобы по возможности обеспечить равномерное заполнение и одновременное достижение расплавом краев формирующей полости. Полость должна заполняться в направлении потока прямолинейным фронтом, а не свободной струей. При формировании длинных плоских сплошных изделий расплав нужно подводить не параллельно большей стороне изделия, а перпендикулярно ей.

Впуск должен быть расположен в местах наибольшей толщины изделия и максимально удален от участков с тонкими стенками. Если впуск расположен не на самом толстостенном участке отливки, то для нее обычно характерны раковины, утяжины и большой разброс размеров, так как время подпитки толстостенных участков уменьшается из-за быстрого затвердевания тонкостенного участка. Исключение составляет переработка пенопластов, когда впуск рекомендуют размещать в самом тонком сечении отливки. В этом случае форма заполняется под давлением выделяющихся при вспенивании газов. При этом сопротивление формы по мере ее заполнения должно уменьшаться, так как снижается давление газов.

Тоннельные литниковые каналы отличаются тем, что расплав подводится в оформляющую полость не по поверхности разъема формы, а через тоннель, выполненный в стенке матрицы. Рекомендуемые размеры тоннеля даны на рис. 2.4 (для хрупких материалов $\alpha < 20^\circ$, для эластичных $\alpha < 50^\circ$). Размеры впускного канала см. в табл. 2.1.

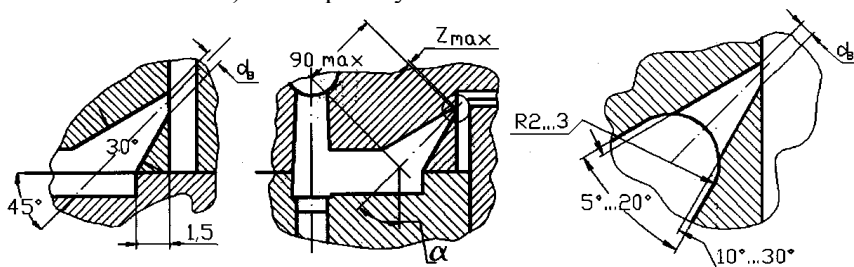


Рис. 2.4

Специальные виды литниковых систем. Развитие вопросов конструирования форм для литья термопластов привело к разработке

и использованию таких форм, которые поддерживают расплав в литниковой системе в состоянии текучести. В результате появилась возможность получать отливки без литников и отпала необходимость их отделения, уменьшился расход материала, сократился цикл литья.

В зависимости от способа поддержания температуры текучести расплава в литниках такие литниковые системы можно разделить на следующие виды: система с самоизолирующимися каналами; системы с частично обогреваемыми разводящими каналами; системы с горячими каналами.

Литниковые системы с самоизолирующимися каналами являются самыми простыми и дешевыми из всех систем с неотверждаемыми литниками. Их отличительная особенность – подача расплава через каналы увеличенного диаметра, расположенные в необогреваемых элементах формы. При коротких циклах литья литник не успевает полностью затвердеть. На стенках канала образуется толстая корка, играющая роль изолятора и поддерживающая материал в расплавленном состоянии, так что он может свободно протекать к оформляющим полостям формы.

Системы с частично обогреваемыми разводящими каналами являются модификацией систем с самоизолирующимися каналами. Отличительная особенность – наличие встроенного во впускное сопло и (или) в центральный литниковый канал сердечника из медного сплава с размещенным в нем ТЭНом (мощностью 40 – 100 Вт). Сердечник поддерживает необходимую температуру расплава в сопле и впускном канале. Благодаря наличию таких нагревателей цикл литья может быть несколько увеличен.

Литниковые системы с горячими каналами – самые сложные и трудоемкие и в то же время наиболее надежные среди систем с неотверждаемыми литниками. Они позволяют перерабатывать достаточно широкий круг материалов (полиэтилен, полипропилен, полистирол, полиамиды, стеклонанполненные материалы и др.).

Наиболее распространены эти системы при литье крупногабаритных изделий, особенно тонкостенных, и в многогнездных формах, где большая доля массы отливки (при холодных литниковых каналах) приходится на литники.

Горячеканальная литниковая система состоит из двух основных частей: обогреваемого коллектора с центральной литниковой втулкой и сопла (сопл) без индивидуального обогрева или с ним.

Для обогрева коллектора можно использовать нагревательные элементы (ТЭНы). ТЭНы необходимо располагать в коллекторе таким образом, чтобы по возможности создать в нем равномерное температурное поле.

2.2. Практическая часть

Используя методику, изложенную в п. 2.1, и данные табл. 2.2 и 2.3 рассчитать размеры и число впускных каналов форм для литья под давлением.

Таблица 2.2

Технические характеристики термопластоавтоматов

Параметр	Значения параметра для модели							
	ДБ 3121- 16П	ДБ 3124- 32П	ДА 3127 63	Д 3130 225	ДА 3130 125	Д 3132 250П	Д 3134 500П	Д 31361 000
Диаметр шнека, мм	22	26	36	40	40	50	60	80
Номинальный объем впрыска, см ³	16	32	63	125	125	250	500	1000
Номинальное давление литья (в материальном цилиндре), МПа	112	112	132	1132	1132	1132	1132	132
Номинальная объемная скорость впрыска, см ³ /с	30	47	60	78	104	150	192	400
Номинальное усилие запирания формы, кН	125	250	500	1000	1000	1600	2500	4000
Высота формы, мм								
наибольшая	230	250	250	320	320	400	500	630
наименьшая	110	125	140	160	160	200	250	320

Таблица 2.3

Данные для расчета числа впускных каналов форм для литья под давлением

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
Модель термопластоавтомата	ДБ 3121- 16П	ДБ 3124- 32П	ДА 3127- 63	Д 3130- 225	ДА 3130- 125	ДА 3132- 250П	Д 3134- 500П	Д 3136- 1000
Количество гнезд на машине	1	1	2	2	2	3	3	3
Марка термо-	СФД	УПС	ПЭНД	СФД	УПС	ПЭНД	СФД	УПС

пласта								
Позиция детали на рис. 1.3 лаб. раб. № 1	а	б	в	г	д	е	ж	з

Требования для получения допуска к выполнению работы

Знать методику определения размеров и числа впускных каналов форм для литья под давлением.

Требования к оформлению отчета

Привести расчеты практической части.

Контрольные вопросы

1. Методика расчета размера и числа впускных каналов форм для литья под давлением.
2. Характерные требования к впускным каналам.
3. Основные требования к выбору места расположения впускных каналов в форме.
4. Особенность тоннельных литниковых каналов.
5. Специальные виды литниковых систем.

Лабораторная работа №3

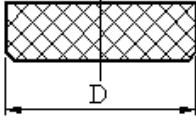
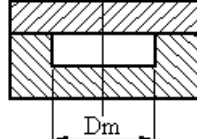
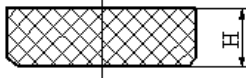
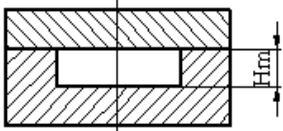
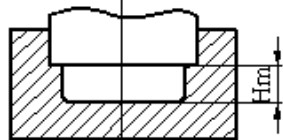
РАСЧЕТ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ГЛАДКОЙ ФОРМООБРАЗУЮЩЕЙ ДЕТАЛИ

3.1. Теоретическая часть

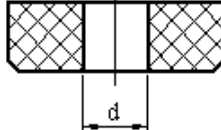
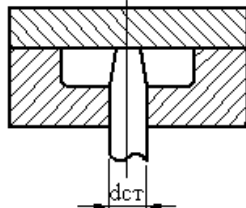
Исполнительные размеры формообразующих элементов назначают в зависимости от допуска на размеры изделия и усадки формируемого материала. Методика расчета гладких формообразующих элементов приведена в табл. 3.1.

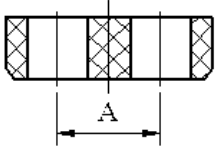
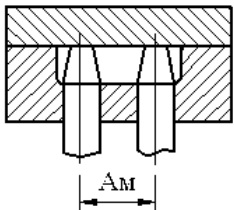
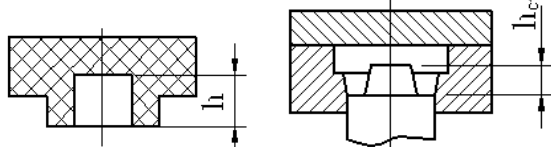
Таблица 3.1

Расчет гладких формообразующих элементов

Размеры		Расчетная формула
изделия	формообразующих деталей	
1	2	3
<p>Охватываемые диаметральные</p> 	<p>Охватывающие диаметральные</p> 	$D_M = D_{\max} + D_{\max} \cdot 0,01S_{\text{ср}} - T_{\text{и}}$
<p>Охватываемые высотные</p> 	<p>Охватывающие высотные, не зависящие от толщины обля</p> 	$H_M = H_{\max} + H_{\max} \cdot 0,01S_{\text{ср}} - 0,5(T_{\text{и}} + T_{\Phi})$
	<p>Охватывающие высотные, зависящие от толщины обля (пресс-формы прямого прессования)</p> 	$H_{M1} = H_{\max} + H_{\max} \cdot 0,01S_{\text{ср}} - c - 0,5(T_{\text{и}} - T_{\Phi})$

Окончание табл. 3.1

1	2	3
<p>Охватываемые диаметральные</p> 	<p>Охватывающие диаметральные</p> 	$d_{\text{ст}} = d_{\min} + d_{\min} \cdot 0,01S_{\text{ср}} + T_{\text{и}}$

<p>Межосевые</p> 	<p>Межосевые</p> 	$A_M = A + A \cdot 0,01 S_{cp}$
<p>Прочие, не относящиеся к охватываемым, охватывающим и межосевым (глубина паза, высота уступа и т.д.)</p> 		$h_{ст} = h_{min} + h_{min} \cdot 0,01 S_{cp} + 0,5(T_{и} + T_{ф})$

Примечание. D_{max}, H_{max} – наибольшие предельные размеры изделия, мм; d_{min}, h_{min} – наименьшие предельные размеры изделия, мм; S_{cp} – средняя усадка пластмассы, %; $T_{и}$ – допуск на размер изделия, мм; $T_{ф}$ – допуск на размер формообразующих деталей (табл. 3.5); c – поправочный коэффициент, учитывающий толщину облоя в формах прямого прессования (для древесного наполнителя пресс-массы $c = 0,1$ мм, минерального – $c = 0,2$ мм, волокнистого – $c = 0,3$ мм).

Углы конусов поверхностей формообразующих деталей, предусматриваемые для съема изделий, нужно располагать в пределах поля допуска размера изделия и назначать не менее приведенных в табл. 3.2. Уклоны должны быть направлены в сторону увеличения охватывающих размеров и в сторону уменьшения охватываемых размеров формообразующих деталей.

Таблица 3.2

Минимально допустимые углы α конусов
формообразующих элементов

Пластмасса	α для поверхностей
------------	---------------------------

	внутренних	наружных
Реактопласты и термопласты, кроме стекловолоконистого пресс-материала и полиэтилена	0°10'	0°20'
Стекловолоконистый пресс-материал	0°15'	0°30'
Полиэтилен	0°30'	1°

Исполнительные размеры гладких формообразующих деталей, рассчитанные по формулам табл. 3.1, следует округлять с кратностью, указанной в табл. 3.3 (охватывающие размеры – в сторону увеличения, а охватываемые, межосевые и прочие – в сторону уменьшения).

Таблица 3.3

Кратность округления исполнительных размеров формообразующих деталей

Номинальные размеры, мм	Кратность округления при качестве		
	6 – 7	9	11 – 12
От 1 до 3	0,005	0,01	0,02
Свыше 3 до 6			
Свыше 6 до 10			0,05
Свыше 10 до 18			
Свыше 18 до 30	0,010	0,02	0,10
Свыше 30 до 50			
Свыше 50 до 80			
Свыше 80 до 120		0,05	
Свыше 120 до 180			
Свыше 180 до 260			
Свыше 260 до 360	---	0,05	
Свыше 360 до 500			

Пример расчета исполнительных размеров гладких формообразующих деталей. Рассчитать исполнительные размеры гладких формообразующих деталей для изделия из полистирола блочного (рис. 3.1, а). Усадка $S = 0,4 \dots 0,8 \%$.

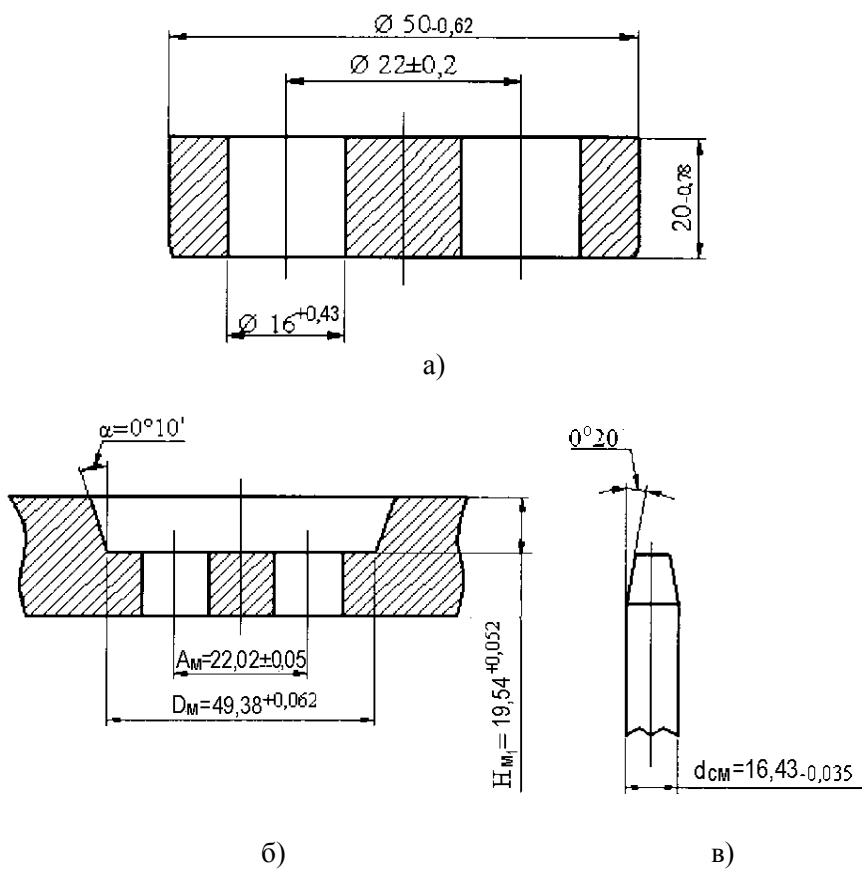


Рис. 3.1

Последовательность расчета

1. Допуски на размеры детали рассчитать по формулам табл. 3.4.

Таблица 3.4

Достижимая точность размеров изделий из пластмасс,
получаемых прессованием и литьем под давлением

Размеры	Расчетные формулы
---------	-------------------

Охватываемые, кроме высотных	$T_{и} \geq T_{S} + T_{\phi} + 2T_{y}$, где $T_{S} = D \cdot 0,01(S_{\max} - S_{\min})$
Охватывающие	$T_{y} = H \cdot \operatorname{tg}\alpha$
Охватываемые высотные, зависящие от толщины облоя; межосевые; прочие, не относящиеся к охватываемым и охватывающим	$T_{и} > T_{S} + T_{\phi}$
Охватываемые высотные, зависящие от толщины облоя (пресс-формы прямого прессования)	$T_{и} \geq T_{S} + T_{\phi} + T_{c}$

Примечание. $T_{и}$ – допуск на размер изделий, мм; T_{S} – часть допуска на размер изделия, учитывающая колебания усадки пластмассы, мм; T_{ϕ} – допуск на размер формообразующей детали, мм (согласно табл. 3.5); T_{y} – часть допуска на размер изделия, учитывающая уклон поверхности формообразующей детали, мм; D – номинальный размер изделия, мм; S_{\max}, S_{\min} – максимальная и минимальная усадка пластмассы, %; H – высота элемента изделия, оформляемого с уклоном, мм; α – угол конуса поверхности формообразующей детали (см. табл. 3.2); T_{c} – часть допуска, учитывающая колебание толщины облоя (принимают $T_{c} = 0,01$ мм).

Т а б л и ц а 3.5

Поле допуска на размеры формообразующих деталей
в зависимости от качества формируемого изделия

Квалитет	Поле допуска размеров		
	охватывающих	охватываемых и прочих	межосевых*
6 – 7	$H7$	$h6$	$\pm \frac{T_{и}}{10}$
9	$H9$	$h9$	
11	$H11$	$h11$	
12	$H12$	$h12$	

* Предельные отклонения межосевых размеров следует назначать не менее $\pm 0,02$ мм.

2. Исполнительные диаметральный, высотный и межосевой размеры матрицы (см. рис. 3.1, б и табл. 3.1)

$$D_M = 50 + 50 \cdot 0,01 \cdot 0,006 - 0,62 = 49,38 \text{ мм.}$$

$$H_{M1} = 20 + 20 \cdot 0,01 \cdot 0,006 - 0,1 - 0,5(0,78 - 0,052) = 19,537 \text{ мм.}$$

$$A_M = 22 + 22 \cdot 0,01 \cdot 0,006 = 22,00132 \text{ мм.}$$

С учетом кратности округления по табл. 3.3 принимаем (по 9-му качеству) $H_{M1} = 19,54$ мм, $A_M = 22,02$ мм.

3. Исполнительный размер знака (см. рис. 3.1, в и табл. 3.1)

$$d_{\text{ст}} = 16 + 16 \cdot 0,01 \cdot 0,006 + 0,43 = 16,43 \text{ мм.}$$

Предельные отклонения размеров матрицы (см. рис. 3.1, б) и стержня (см. рис. 3.1, в) принимать по табл. 3.5, углы конусов α – по табл. 3.2.

3.2. Практическая часть

Используя методику, изложенную в п. 3.1, а также рис. 3.2 и данные табл. 3.6, рассчитать исполнительные размеры формообразующей детали.

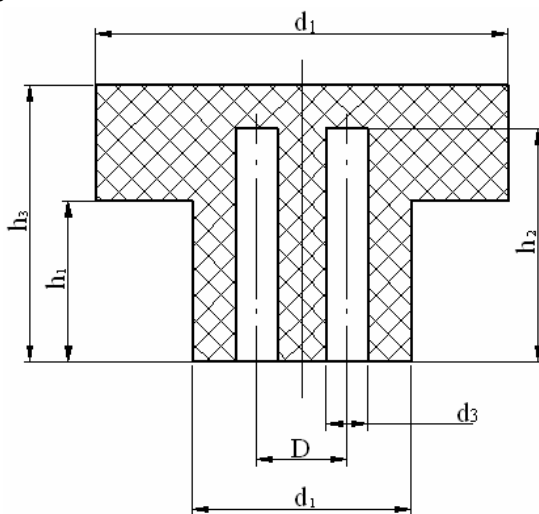


Рис. 3.2

Таблица 3.6

Размеры, мм, детали для различных вариантов (см. рис. 3.2)

Вариант	d_1	d_2	d_3	a	h_1	h_2	h_3
1	60	42	8	18	15	20	25
2	58	40	10	20	17	22	27
3	62	44	12	22	13	18	23
4	59	41	9	19	16	21	24
5	61	43	11	21	14	19	26
6	63	45	13	23	18	23	28
7	58	41	11	20	14	18	23
8	62	43	12	22	15	20	25

Примечание. Материал детали взять из табл. 1.3 лабораторной работы № 1.

Требования для получения допуска к выполнению работы

Знать методику расчета исполнительных размеров гладких формообразующих деталей.

Требования к оформлению отчета

1. Изложить расчеты практической части.
2. Привести фрагмент чертежа формообразующей детали.

Контрольные вопросы

1. Методика расчета исполнительных размеров гладких формообразующих деталей.
2. Полимерные материалы для получения деталей методами литья и прессования («Общие сведения о получении деталей из пластмасс», п. 1).
3. Назначение технологических уклонов на формообразующей детали и требования к ним, ребра, острые углы («Общие сведения о получении деталей из пластмасс», п. 3).

Лабораторная работа №4

РАСЧЕТ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ РЕЗЬБООФОРМЛЯЮЩИХ ДЕТАЛЕЙ

4.1. Теоретическая часть

Расчет исполнительных размеров резьбоформирующих деталей (колец и знаков) в соответствии с ГОСТ 15948-76 для формования резьбы по ГОСТ 11709-81 в пластмассовых изделиях следует выполнять в соответствии с рис. 4.1 и табл. 4.1.

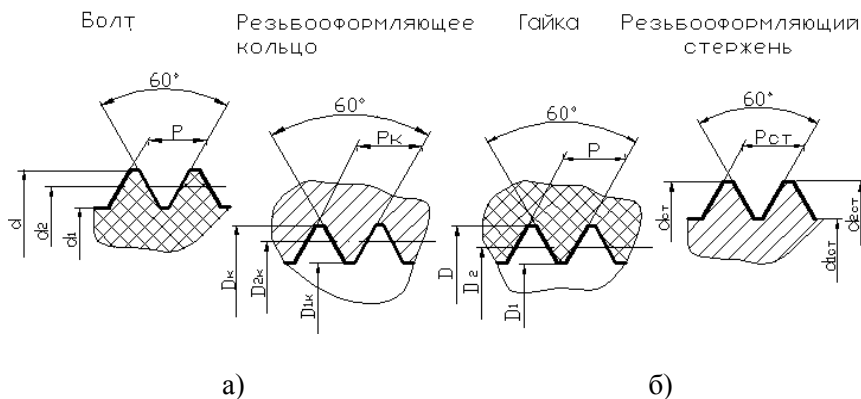


Рис. 4.1

Таблица 4.1

Расчет резьбоформирующих элементов

Размер	Расчетная формула
1	2
Резьбоформирующее кольцо (рис. 4.1, а)	
Наружный диаметр	$D_K = d + d \cdot 0,01S_{\max} - T_d - es$
Средний диаметр	$D_{2K} = d_2 + d_2 \cdot 0,01S_{\max} - T_{d2} - es$
Внутренний диаметр	$D_{1K} = d_1 + d_1 \cdot 0,01S_{\max} - T_{d2} - es - 0,144P$
Шаг	$P_K = P(1 + 0,01S_{\text{cp}})^*$

Окончание табл. 4.1

1	2
Резьбооформляющий стержень (рис. 4.1, б)	
Наружный диаметр	$d_{\text{ст}} = D + D \cdot 0,01S_{\text{min}} + T_{D_2} + E1$
Средний диаметр	$d_{2\text{ст}} = D_2 + D_2 \cdot 0,01S_{\text{min}} + T_{D_2} + E1$
Внутренний диаметр	$d_{1\text{ст}} = D_1 + D_1 \cdot 0,01S_{\text{min}} + T_{D_1} + E1$
Шаг	$P_{\text{ст}} = P_{\text{к}} = P(1 + 0,01S_{\text{cp}})^*$

* Допускается применять резьбооформляющие детали с номинальным (нескорректированным) шагом при условии выполнения рекомендаций ГОСТ 11709-81.

Примечание. d , d_2 , d_1 – соответственно наружный, средний и внутренний номинальный диаметр резьбы болта, мм; D_1 , D_2 и D – соответственно наружный, средний и внутренний номинальный диаметр резьбы гайки, мм; P – шаг резьбы, мм; T_d и T_{d2} – допуски наружного и среднего диаметров резьбы болта, мм, T_{D_2} и T_{D_1} – допуски среднего и внутреннего диаметров резьбы гайки, мм; es – верхнее отклонение диаметров резьбы болта, мм; $E1$ – нижнее отклонение диаметров резьбы гайки, мм; S_{max} , S_{min} , S_{cp} , – соответственно наибольшая, наименьшая и средняя усадка пластмассы, %.

Диаметры резьбы резьбооформляющих деталей, рассчитанные по формулам табл. 4.1, следует округлять в соответствии с данными табл. 4.2 (диаметры резьбы кольца в сторону увеличения, а диаметры резьбы стержня в сторону уменьшения).

Т а б л и ц а 4.2

Кратность округления исполнительных размеров
резьбооформляющих деталей

Диаметр резьбы, мм	Кратность округления при качестве	
	6-7	8-10
До 10	0,005	0,02
Свыше 10 до 50	0,010	
–"– 50 –"– 180	0,020	0,05

Предельные отклонения диаметров резьбы резьбоформирующих деталей нужно назначать в соответствии с полями допусков, приведенными в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Поле допуска на диаметр резьбы резьбоформирующих деталей

Квалитет	Поле допуска	
	для кольца	для стержня
6 – 7	H 7	h7
8 – 10	H 9	h9

Шаг резьбы резьбоформирующих деталей, рассчитанный по формулам табл. 4.1, округлять до сотых долей миллиметра. Предельные отклонения Δ_p шага резьбы резьбоформирующих деталей следует назначать в зависимости от длины l резьбы в соответствии со следующими данными (предельные отклонения шага относятся к расстояниям между любыми витками резьбы резьбоформирующих деталей):

l , мм	До 12	12-32	32-40	Свыше 50
Δ_p , мм	$\pm 0,008$	$\pm 0,010$	$\pm 0,012$	$\pm 0,014$

Ниже приведены предельные отклонения $\Delta'_{\beta/2}$ половины угла профиля резьбы при шаге P :

P , мм	До 0,35	0,35-0,60	0,60-1,00	1,00-1,50	1,50-3,00	Свыше 3,00
$\Delta'_{\beta/2}, \dots$	± 65	± 50	± 40	± 35	± 25	± 20

Пример расчета исполнительных размеров резьбоформирующих деталей.

Рассчитать исполнительные размеры резьбы резьбоформирующих деталей для литья болта и гайки из полистирола блочного; усадка 0,4 – 0,8 %; резьба болта M16-d8, резьба гайки M16-H7; шаг $P = 2$ мм; число витков 8. Наружный, средний и внутренний номинальный диаметр резьбы (ГОСТ 9150-81) соответственно: $d = 16$ мм, $d_2 = D = 14,701$ мм; $d_1 = D_1 = 13,835$ мм.

По ГОСТ 16093-81 верхнее отклонение болта $es = 0,038$ мм; допуск наружного диаметра болта $T_d = 0,45$ мм; допуск среднего диаметра болта $T_{d2} = 0,25$ мм; нижнее отклонение диаметра резьбы гайки $E1 = 0$; допуск среднего диаметра резьбы гайки $T_{D2} = 0,265$ мм; допуск внутреннего диаметра резьбы гайки $T_{D1} = 0,475$ мм.

1. По ГОСТ 11709-81 требуемая точность резьбы болта и гайки из пластмассы с колебанием усадки 0,4 % достижима.

2. Исполнительные размеры диаметров резьбы резьбоформирующего кольца (рис. 4.2, а) рассчитываем по формулам табл. 4.1.

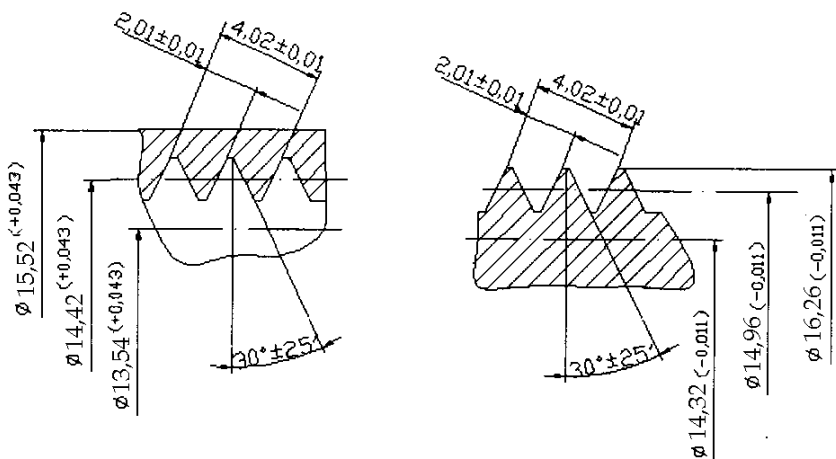


Рис. 4.2

$$D_K = 16 + 16 \cdot 0,01 \cdot 0,008 - 0,45 - 0,038 = 15,513 \text{ мм};$$

$$D_{2K} = 14,701 + 14,701 \cdot 0,01 \cdot 0,008 - 0,25 - 0,038 = 14,414 \text{ мм};$$

$$D_{1K} = 13,835 + 13,835 \cdot 0,01 \cdot 0,008 - 0,25 - 0,038 - 0,144 \cdot 2 = 13,548 \text{ мм}.$$

С учетом кратности округления по табл. 4.2 принимаем: $D_K = 15,52$ мм; $D_{2K} = 14,42$ мм; $D_{1K} = 13,54$ мм.

Предельные отклонения диаметров (рис. 4.2, а) приняты в соответствии с табл. 4.3.

3. Исполнительный размер шага резьбы резьбоформирующего кольца рассчитываем по формуле табл. 4.1, так как в соответствии с рекомендациями ГОСТ 11709-81 требуемая точность достижима лишь при скорректированном шаге.

$$P_K = 2(1 + 0,01 \cdot 0,6) = 2,012 \text{ мм.}$$

С учетом кратности округления принимаем $P_K = 2,01$ мм.

Предельные отклонения шага резьбы принимаем в соответствии с данными, приведенными под табл. 4.3.

4. Предельные отклонения половины угла профиля резьбы резьбоформирующего кольца принимаем по данным, приведенным перед началом примера.

5. Исполнительные размеры диаметров резьбы резьбоформирующего стержня (рис. 4.2, б) (см. табл. 4.1).

$$d_{\text{ст}} = 16 + 16 \cdot 0,01 \cdot 0,004 + 0,265 + 0 = 16,265 \text{ мм;}$$

$$d_{2\text{ст}} = 14,701 + 14,701 \cdot 0,01 \cdot 0,004 + 0,265 + 0 = 14,966 \text{ мм;}$$

$$d_{1\text{ст}} = 13,835 + 13,835 \cdot 0,01 \cdot 0,004 + 0,475 + 0 = 14,315 \text{ мм.}$$

С учетом кратности округления по табл. 4.2 принимаем: $D_{\text{ст}} = 16,26$ мм; $d_{2\text{ст}} = 14,96$ мм; $d_{1\text{ст}} = 14,32$ мм.

Предельные отклонения диаметров (см. рис. 4.2, б) принимаем в соответствии с табл. 4.3.

6. Исполнительный размер шага, его предельные отклонения и половины угла профиля резьбы резьбоформирующего стержня те же, что и для резьбоформирующего кольца.

Конструкцию захода и выхода резьбы пластмассового изделия выполняют согласно рис. 4.3, а, б (соответственно для болта и гайки).

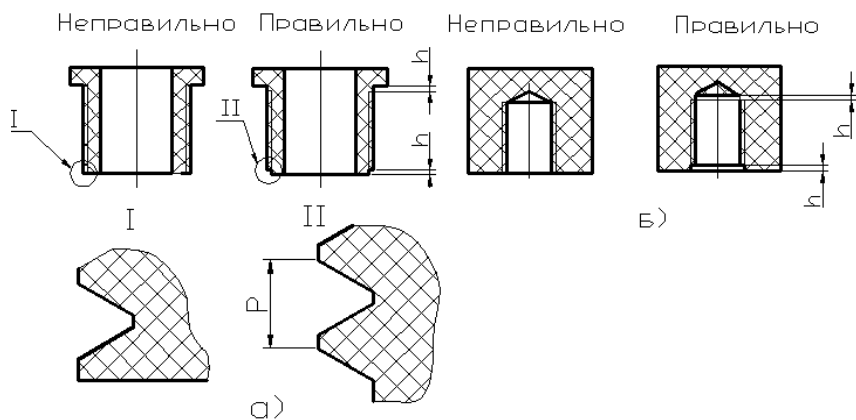


Рис. 4.3

Значения h принимаем в зависимости от шага резьбы P по следующим данным:

P , мм	До 0,75	0,6-1,5	1,6-2,0	Свыше 2,0
h , мм	1,0	1,5	2,0	3,0

На рис. 4.4, а, б приведены конструкции резьбообразующего кольца. При неправильном (сквозном) его выполнении (рис. 4.4, а) на выходе резьбы в изделии образуется прилив (см. рис. 4.3, а, фрагмент 1), который будет препятствовать вывинчиванию изделия, способствовать его разрушению и потребует чистки кольца после каждого цикла. Правильное исполнение резьбообразующего кольца I достигается несквозной нарезкой резьбы (рис. 4.4, б). И если при этом имеется цилиндрический знак 2 на резьбовом кольце, то он не должен доходить до нарезанной части резьбы на расстояние h .

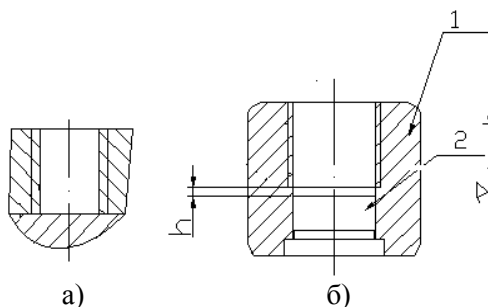


Рис. 4.4

4.2. Практическая часть

Используя методику, изложенную в п. 4.1, а также соответствующие данные ГОСТ 9150-81, ГОСТ 16093-81, ГОСТ 11709-81 и табл. 4.4, рассчитать исполнительные размеры резьбоформирующей детали болта и гайки.

Таблица 4.4

Данные для расчета исполнительных размеров
резьбоформирующих деталей

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
Резьба болта	M8	M10	M12	M14	M18	M20	M22	M24
Резьба гайки	M8	M10	M12	M14	M18	M20	M22	M24
Шаг резьбы	1,25	1,5	1,75	2	2,5	2,5	2,5	3

Примечания: 1. Материал деталей см. в табл. 1.3 лабораторной работы № 1.

2. Число витков – 10.

3. Поля допусков для болта по $7h$, для гайки – по $6H$.

Требования для получения допуска к выполнению работы

Знать методику расчета исполнительных размеров резьбоформирующих деталей.

Требования к оформлению отчета

1. Изложить расчеты практической части.

2. Привести фрагменты чертежей резьбоформирующих деталей болта и гайки.

Контрольные вопросы

1. Методики расчета исполнительных размеров резьбоформирующих деталей.

2. Конструктивные особенности захода и выхода резьбы пластмассовых деталей.

3. Технологичность пластмассовых деталей (допуски на изделия из пластмасс, форма изделия, приливы и выступы, стенки и днища, резьбы, арматура). («Общие сведения о получении деталей из пластмасс», п. 3).

Лабораторная работа № 5

РАСЧЕТ ТЕРМОСТАТИРУЮЩИХ КАНАЛОВ ФОРМЫ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

5.1. Теоретическая часть

Термостатирование форм

Отверждение полимера в форме требует отвода большого количества теплоты. В связи с этим продолжительность цикла литья в значительной степени зависит от эффективности отвода теплоты и от достигаемой при этом температуры отливки. Кроме того, режим охлаждения существенно влияет на качество изделий. Так, более высокая температура формы позволяет получить:

улучшенные механические показатели кристаллических полимеров – σ_p , E , НВ и т.д. (у аморфных полимеров эти показатели меняются незначительно);

качественную поверхность, блеск изделия;

менее ориентированную структуру полимера и меньшие внутренние напряжения;

меньшую склонность к растрескиванию в напряженном состоянии и при воздействии агрессивных сред;

большую стабильность размеров в процессе эксплуатации, особенно при повышенных температурах.

Низкая температура формы позволяет уменьшить: рассеяние размеров отливаемых изделий, усадку и коробление, цикл литья.

Вместе с тем необходимо помнить, что при быстром охлаждении в отливке возникают большие внутренние напряжения, и, если изделие эксплуатируется при повышенных температурах, неизбежны вторичная усадка и коробление. На переохлажденных стенках формы может конденсироваться влага, отрицательно влияющая на качество поверхности отливки.

Выбор конструктивного решения системы термостатирующих каналов должен быть обоснован количественно, т.е. расчетным путем. Прежде всего рассчитывают площадь поперечного сечения каналов, затем – длину каналов.

Расчет каналов.

1. Время охлаждения, с, определяют по приближенной формуле

$$\tau_{\text{охл}} = \frac{0,405}{\alpha} \left(\frac{\delta}{2} \right)^2 \left(\ln 1,27 - \ln \frac{t_{\text{к}} - t_{\text{ф}}}{t_{\text{н}} - t_{\text{ф}}} \right),$$

где α – коэффициент температуропроводности, м²/с (по табл. 5.1);

δ – толщина изделия, м;

$t_{\text{ф}}$ – средняя за цикл температура формирующих поверхностей, °С (по табл. 5.1);

$t_{\text{н}}$ – начальная температура изделия, равная температуре впускаемого в форму расплава, °С (по табл. 5.1);

$t_{\text{к}}$ – температура в середине стенки изделия, при которой раскрывается форма (принимают на 8 – 25 °С выше $t_{\text{ф}}$: меньшие значения для мягких материалов, большие – для жестких прочных; для стеклонаполненных материалов можно принимать $t_{\text{к}} > t_{\text{ф}}$ на 20 – 30 °С).

2. Время цикла, с:

$$\tau_{\text{ц}} = \tau_{\text{охл}} + \tau_{\text{ср}} + \tau_{\text{впр}}, \quad (5.1)$$

где $\tau_{\text{ср}}$ – время смыкания или размыкания полуформ, с;

$\tau_{\text{впр}}$ – время впрыска, с.

3. Количество теплоты Q_0 , поступившей с расплавом и отдаваемой отливкой, Дж:

$$Q_0 = m_0 c_0 (t_{\text{н}} - \bar{t}_{\text{к}}),$$

где $m_0 = n(m_{\text{и}} + m_{\text{л}})$ – масса отливки, кг;

$m_{\text{и}}$ – масса изделия, кг;

n – число гнезд (см. табл. 2.3 в лаб. раб. № 2);

$m_{\text{л}}$ – масса литников, кг;

c_0 – удельная теплоемкость материала отливки, Дж/(кг·°С) (по табл. 5.1);

$\bar{t}_{\text{к}}$ – средняя по объему отливки температура изделия в момент раскрытия формы, °С.

$$\bar{t}_{\text{к}} = t_{\text{ф}} + 2(t_{\text{н}} - t_{\text{ф}}) / \pi.$$

Некоторые физические и технологические параметры материалов,
используемые при расчете систем термостатирования

Вариант	Материал	Плотность $\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	Теплопроводность λ , Вт/(м·°С)	Удельная теплоемкость $c \cdot 10^{-3}$, Дж/(кг·°С)	Температуропроводность $\alpha \cdot 10^7$, м ² /с	Температурный коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^5$, 1/°С	Температура формы при литье, °С	Температура расплава в зоне сопла, °С
1	полипропилен	0,95	0,14-0,175	1,92	0,86	16	30-90	260-280
2	поливинилхлорид	1,35	0,16	1,5	0,8	6-7	20-60	160-180
3	поликарбонат	1,2	0,198	1,25	1,32	6,75	80-130	280-310
4	полистирол ударопрочный	1,1-1,15	0,14	1,8	0,75	6-10	50-70	220-250
5	полиметилметакрилат	1,18-1,20	0,187-0,21	1,8-1,97	0,93	8	60-80	200-230
6	поликапролактан	1,14-1,15	0,254	2,5	0,9	10-11	70-90	230-250
7	полиамид 610	1,1	0,268	1,97-2,5	1,08	11-12	40-60	200-230
8	полиформальдегид	1,425	0,31	1,17-1,46	1,5	8,1	90-120	260-280
	Охлаждающие жидкости: вода	1,0	0,65	4,18	1,58	-	-	-
	минеральные масла	0,88-0,92	1,28	1,67-1,88	0,8	-	-	-
	глицерин	1,26	2,77-2,96	2,42	0,91-0,98	-	-	-

4. Количество теплоты, отводимой хладагентом:

$$Q_x = Q_o \pm Q_{\text{пот}},$$

где $Q_{\text{пот}}$ – потери теплоты в окружающую среду (минус) или количество теплоты, получаемое формой из окружающей среды (плюс).

В тепловых расчетах литьевых форм теплообменом с окружающей средой в большинстве случаев можно пренебречь без большой погрешности. Тогда

$$Q_x = Q_o,$$

Однако если хладагент подогревается до высокой температуры, то внешний теплоотвод надо учитывать; при этом

$$Q_{\text{пот}} = Q_k + Q_t + Q_i,$$

где Q_k , Q_t , Q_i – количество теплоты, передаваемой в окружающую среду соответственно конвективно, через крепежные плиты машины и излучением.

Поскольку в этом случае необходимо предусматривать тепловую изоляцию формы от плит пресса, то Q_t в расчете можно не учитывать. При высоких температурах формы $Q_i \approx 0,25Q_k$, поэтому окончательно можно записать

$$Q_{\text{пот}} = 1,25Q_k,$$

$$Q_k = F_6 \alpha (t_{\text{пф}} - t_{\text{в}}) \tau_{\text{ц}},$$

где F_6 – площадь боковых поверхностей формы, м²;

α – коэффициент теплоотдачи (при естественной конвекции в воздухе можно принять $\alpha = 8 \text{ кг} \cdot \text{с}^{-3} / ^\circ\text{C}$);

$t_{\text{пф}} = t_{\text{ф}} - 5^\circ\text{C}$ – температура на поверхности формы, °C;

$t_{\text{в}}$ – температура окружающего воздуха, °C.

5. Расход хладагента, кг:

$$g_x = Q_x / (c_x \Delta t_x),$$

где c_x – удельная теплоемкость хладагента, Дж/(кг·°С) по табл. 5.1;

Δt_x – разность температур хладагента на выходе и входе в канал (принимают не более 2 – 4 °С для исключения неравномерности охлаждения).

6. Расход хладагента (в кг) через пуансон и матрицу принимают пропорциональным площадям оформляющих их поверхностей $F_{п(м)}$ (площадь пуансона F_n равна внутренней поверхности изделия, а площадь матрицы F_m – его наружной поверхности):

$$g_x^{п(м)} = g_x F_{п(м)} / F_{общ},$$

где $F_{п(м)}$ – определяют по чертежу пуансона и матрицы или по чертежу изделия, м² ($F_{общ}$ – суммарная площадь оформляющих поверхностей пуансона и матрицы).

7. Площадь поперечного сечения каналов, м²:

$$f_k^{п(м)} = g_x^{п(м)} / (\rho_x \tau_{ц} \omega),$$

где ρ_x – плотность хладагента, кг/м³;

$\tau_{ц}$ – см. (5.1);

ω – скорость течения хладагента, м/с (принимают $\omega = 0,5 \dots 1,0$ м/с).

8. Диаметр канала или длина стороны сечения (если канал прямоугольный), м:

$$d_k^{п(м)} = 1,13 \sqrt{f_k^{п(м)}}.$$

Если расчет дает неприемлемые результаты, например, слишком малый (нетехнологичный) диаметр канала, то необходимо увеличить расчетный расход хладагента, уменьшив Δt_x в уравнении (5.2), или применить другой хладагент с меньшей теплоемкостью c_x . Если

диаметр, наоборот, получается слишком большим, то расход уменьшают, переходя на хладагент с большими c_x или Δt_x , либо увеличивают скорость хладагента ω . При этом следует учитывать, что слишком большое увеличение Δt_x приводит к значительной неравномерности температурного поля формы.

9. После окончательного выбора $d_k^{п(м)}$ определяют длину каналов из условия, что эффективная площадь поверхности каналов должна быть не менее охлаждаемой площади оформляющих поверхностей пуансона или матрицы, т.е.

$$F_k^{п(м)} \geq F_{п(м)},$$

где $F_k^{п(м)}$ – площадь поверхности охлаждающих каналов пуансона (матрицы), m^2 .

Суммарная длина, m , каналов круглого сечения

$$l_k^{п(м)} \geq F_{п(м)} / (\pi d_k^{п(м)}).$$

Конструирование системы термостатирования. Так как при расчете размеров каналов охлаждения принят ряд допущений, а также вследствие того, что расчетное время охлаждения отливки $\tau_{охл}$ может отличаться от фактического из-за неопределенности температуры t_k в середине стенки изделия, необходимо предусматривать возможность регулирования температуры формы.

Температуру формы можно регулировать двумя способами: изменением средней температуры хладагента и изменением расхода хладагента. Первый способ применяют при высоких температурах формы, он реализуется независимо от конструкции формы. Второй способ используют наиболее широко, поэтому в конструкции формы или в системе подвода хладагента к форме обязательно следует предусматривать возможность регулирования его расхода, например, установкой вентиля.

При конструировании системы термостатирования необходимо учитывать следующие основные требования:

суммарная длина каналов должна быть возможно большей, но не меньше расчетного значения $l_k^{п(м)}$ (избыточные возможности системы всегда можно уменьшить регулированием, тогда как недостаток трудно компенсировать);

расположение каналов, а также направление потока хладагента от более нагретых частей формы к менее нагретым должны обеспечить по возможности равномерное охлаждение оформляющих элементов формы; необходимо учитывать, что температура формы в зоне впрыска всегда несколько выше, чем на периферийных участках;

более интенсивное охлаждение должно быть предусмотрено в месте расположения подвижных элементов формы (выталкивателей, плит съема, подвижных знаков), что позволяет исключить деформацию изделий при их удалении из формы;

так как коэффициент теплоотдачи с изменением скорости движения жидкости изменяется в широком диапазоне, в системе каналов не должно быть участков с увеличивающимся сечением и особенно застойных зон, где охлаждающая жидкость может играть роль теплоизолятора (по этой же причине не рекомендуется использовать полостное охлаждение, рис. 5.1, а);

система охлаждения должна быть герметична, что проверяют при давлении 0,6 МПа.

Ниже рассмотрены основные конструктивные варианты – системы канального и полостного типа, комбинированная система.

Систему канального типа с прямыми каналами применяют при литье плоских прямоугольных изделий и в многогнездных формах с рядным расположением гнезд. Расстояние между охлаждающими каналами $S_{п(м)}$, а также каналами и охлаждаемой поверхностью $b_{п(м)}$ (рис. 5.2,а) выбирают по эмпирическим зависимостям $S_{п(м)} \approx (2,5...3,5)d_k^{п(м)}$, $b_{п(м)} \approx (0,8...1,5)S$.

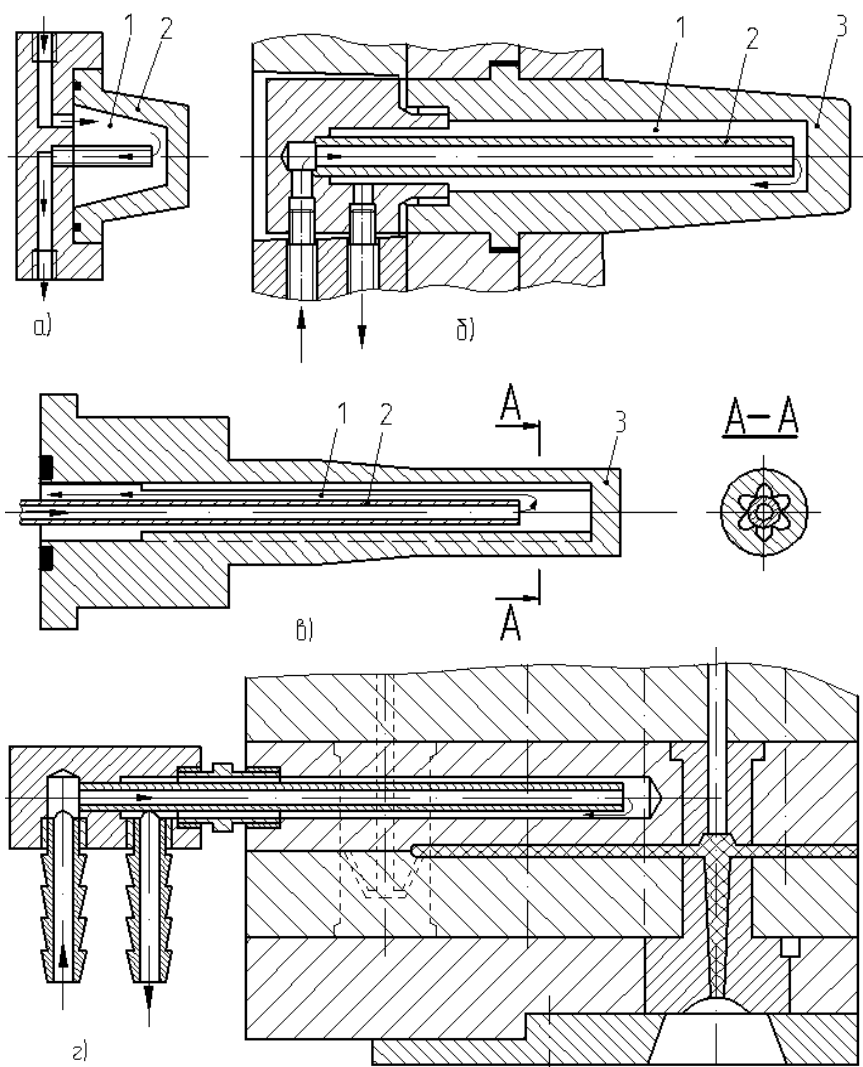


Рис. 5.1

На рис. 5.2, б показано рекомендуемое расположение каналов при переменной толщине стенок изделия ($b_1 > b_2$).

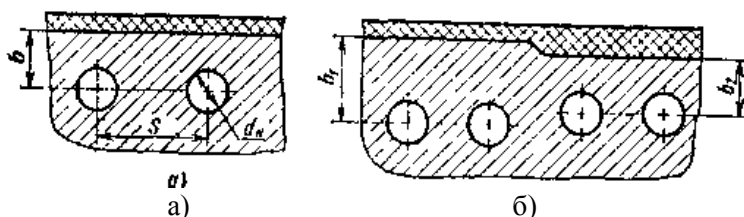


Рис. 5.2

Каналы в матрицах, пуансонах, плитах охлаждения или обояках выполняют, как правило, сквозными и заканчивают резьбовыми гнездами, в которые вворачивают ниппели и пробки.

Систему полостного типа (см. рис. 5.1), как правило, применяют при отношении высоты охлаждаемого элемента формы к его диаметру (ширине) $h/d \geq 1$.

На рис. 5.1, а приведен пример неудачной полостной системы. В нижней части полости будет образовываться застойная зона, а в верхней части скорость потока уменьшится. В результате пуансон будет иметь неравномерное температурное поле.

На рис. 5.1, б, в показаны правильно спроектированные системы. В охлаждающей полости 1 установлена фонтанирующая трубка 2, через которую жидкость подается к наиболее нагретому участку пуансона 3. Отводится жидкость через кольцевой зазор, образуемый в полости вокруг трубки.

Для увеличения эффективности охлаждения отдельных мест участков формы (где невозможно выполнить сквозной канал) могут применяться специальные узлы (рис. 5.1, г). В труднодоступных местах, где подвести жидкость не удастся, для улучшения отвода теплоты можно применять вкладыши из материала с высоким коэффициентом теплопроводности.

Комбинированная система является сочетанием канальной и полостной систем, причем возможны различные сочетания.

5.2. Практическая часть

Используя методику, изложенную в п. 5.1, и данные табл. 5.2, рассчитать термостатирующие каналы формы для литья под давлением.

Данные для расчета термостатирующих каналов

Вариант	Материал	Время смыкания полуформ, с	Время впрыска, с	Масса литников на одно гнездо, кг
1	Полипропилен	0,3	4	0,02
2	Поливинилхлорид	0,5	7	0,03
3	Поликарбонат	0,2	3,5	0,035
4	Полистирол ударочный	0,4	6,4	0,026
5	Полиметилметакрилат	0,3	5,2	0,022
6	Поликапролактан	0,4	6	0,04
7	Полиамид 610	0,2	3,5	0,038
8	Полиформальдегид	0,5	6,8	0,032

Примечания: 1. Геометрические параметры детали см. на рис. 1.3 лабораторной работы № 1.

2. Температуру на поверхности формы принимать как среднее значение ее температуры.

Требования для получения допуска к выполнению работы

Знать методику расчета термостатирующих каналов форм для литья под давлением.

Требования к оформлению отчета

Изложить расчеты практической части.

Контрольные вопросы

1. Методика расчета термостатирующих каналов форм для литья под давлением.
2. Влияние режима охлаждения формы на качество детали.
3. Способы регулирования температуры формы.
4. Основные требования к системе термостатирования формы.
5. Основные конструктивные варианты системы термостатирования формы и случаи их применения.

Лабораторная работа № 6

РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ЗАГРУЗОЧНОЙ КАМЕРЫ ФОРМЫ ДЛЯ ПРЕССОВАНИЯ

1. Теоретическая часть

Особенности форм для прессования

Основные отличительные особенности форм для прессования реактопластов определяются технологической особенностью процесса прессования, заключающейся в том, что в отличие от литья в открытую форму подается непластифицированный материал в виде порошка или таблеток, а смыкание формы происходит после загрузки материала.

Материал загружают в матрицу формы с помощью приспособлений и механизмов или вручную. Дозирование таблетированного пресс-материала выполняют по числу таблеток, порошкообразного – весовым или объемным способом, волокнистого – по числу таблеток и весовым способом.

Формообразование происходит в процессе смыкания формы при высоких температурах (150-200 °С) и высоком давлении на материал (25-50 МПа). При этом оформляющие элементы и арматура воспринимают повышенные нагрузки. Это необходимо учитывать при наличии длинных оформляющих элементов малого сечения, элементов, расположенных перпендикулярно направлению смыкания формы, а также при наличии особенно тонкой арматуры, которая в момент смыкания формы может изгибаться или ломаться.

Высокие температуры определяют ограничения при использовании (для автоматизации процесса) зубчатых, винтовых передач, гидро- и пневмоприводов и требуют обязательного применения высокотемпературных дисульфитмолибденовых и других смазочных материалов.

Процесс прессования проводят, как правило, с подпрессовкой. Подпрессовка – это кратковременное (2-3 с) размыкание формы на небольшую высоту (до 10 мм) для удаления газов, паров воды, образовавшихся в процессе поликонденсации, а также удаления влаги, находившейся в пресс-материале. Однако подпрессовку не приме-

няют при прессовании изделий с арматурой и использовании форм кассетного типа, так как даже незначительный вывод пуансона из матрицы вызывает смещение арматуры или разрушение еще неотвержденного изделия. В таких случаях в пуансоне не следует располагать замкнутые оформляющие полости высотой более 3 мм.

Отпрессованные изделия выталкиваются из стационарных форм выталкивателями, получающими движение от штока нижнего гидроцилиндра пресса, и извлекаются специальной вилкой-съемником после возврата выталкивателей в исходное положение. Съемные формы размыкают вне пресса с использованием специальных приспособлений.

После извлечения изделий форму очищают с помощью сжатого воздуха, поэтому в местах где может скапливаться облой, необходимо предусматривать пазы для продува.

Конструктивные элементы форм

Матрицы, пуансоны, загрузочные камеры. Матрицы компрессионных форм полузакрытого типа являются сочетанием двух элементов – собственно матрицы и расположенной над ней загрузочной камеры. Конструктивно матрицы могут быть выполнены как одно целое или составными (рис. 6.1 а), для повышения технологичности ее конструкции, а также возможности внедрения прогрессивных методов формообразования (холодного и полугорячего выдавливания, электроимпульсной обработки, гальванопластики и др.).

Поверхность A собственно матрицы, по которой происходит ее запыриание и отжатие излишнего количества вытекающего из матрицы пресс-материала, называется отжимным рантом матрицы. Его ширину b принимают в зависимости от конструкции матрицы и изделия не менее 2,5 мм. В цельных матрицах 1 (рис. 6.1, б), когда в пуансоне 2 не оформляются элементы изделия или когда они оформляются, но значение a соответствует условиям прочности, ширину отжимного ранта принимают $b = 2,5$ мм. Во вставных матрицах 1 (рис. 6.1, в), а также в случаях, когда часть изделия размещена в пуансоне 2 (рис. 6.1, г) и размер этой части равен или больше размера части изделия, размещенного в матрице 1, $b \geq 5$ мм. Для уменьшения толщины облоя, примыкающего к изделию в этом случае, на пуансоне выполняют также отжимной рант шириной $b_1 = 2,5$ мм и

высотой 0,5 мм. При малом плане выпуска изделий, когда стойкость пуансона и матрицы не является лимитирующим фактором, b_1 можно уменьшить до 1 мм, что позволит дополнительно уменьшить толщину обоя. Радиус R скругления пуансона больше радиуса $r \leq 1$ мм скругления загрузочной камеры: $R = r + (0,5...1)$ мм.

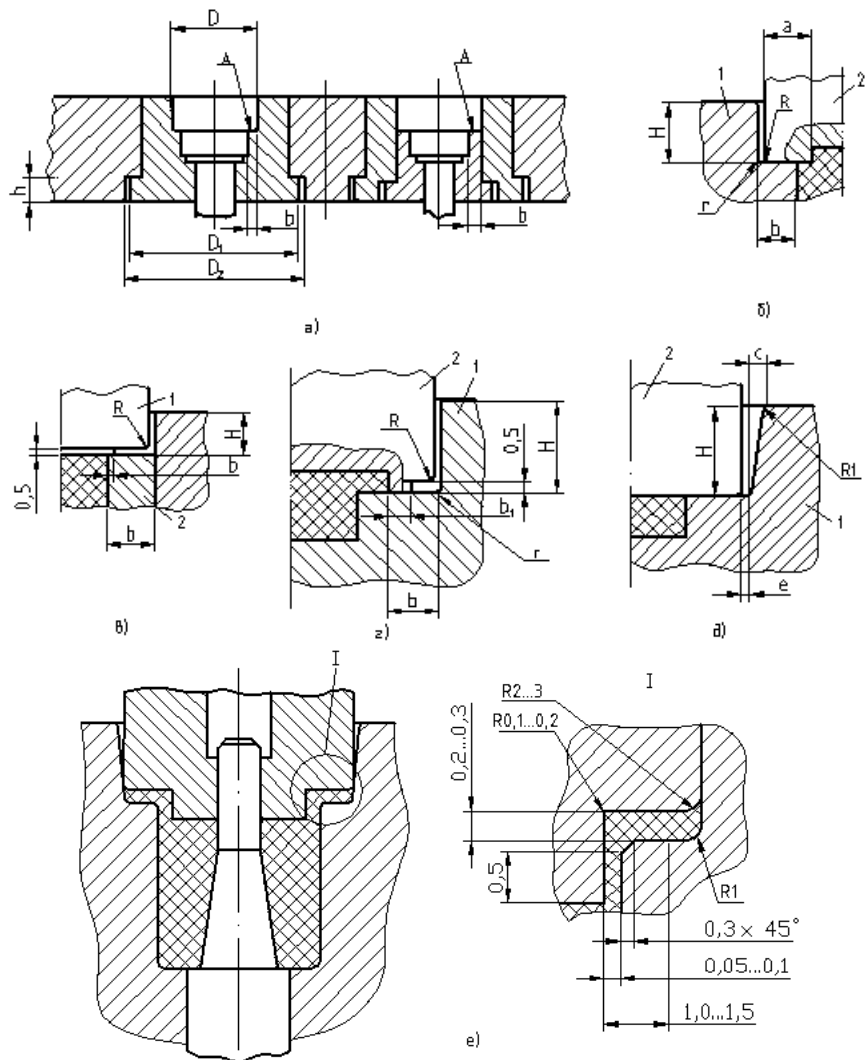


Рис. 6.1

Избыточный материал и газы удаляются из оформляющего гнезда формы прямого прессования через зазор шириной e (рис. 6.1, д) между пуансоном 2 и стенкой загрузочной камеры. Кроме того, этот зазор исключает контакт боковых поверхностей пуансона и загрузочной камеры при запрессовке, что уменьшает износ этих поверхностей. Для материалов типа волокнит принимают $e = 0,3$ мм, для остальных материалов (фенопласты, аминопласты, стеклопласты АГ-4В, ДСВ и др.) $e = 0,15$ мм. Стенку загрузочной камеры выполняют с $c = 0,2$ мм при высоте $H \leq 30$ мм и $c = 0,3$ мм при $H > 30$ мм.

Пуансоны и матрицы с цилиндрической посадочной частью и оформляющей частью, требующими взаимной ориентации, фиксируют шпонками, штифтами и пр.

Размеры загрузочной камеры рассчитывают в такой последовательности:

1. Объем загружаемого пресс-материала, см^3 :

$$V = mkn / \rho ,$$

где m – масса прессуемого изделия, г;

k – коэффициент уплотнения пресс-массы (для нетаблетированных материалов

$$k = \rho_n \cdot 10^{-2}, \frac{\text{м}^3}{\text{кг}},$$

где ρ_n – насыпная плотность; для таблетированных порошкообразных материалов $k = 1,4 \dots 1,5$, волокнистых – $k = 2,5 \dots 3,0$, жгутированного АГ-4В – $k = 3,5$);

n – число одновременно прессуемых изделий с использованием одной загрузочной камеры;

ρ – плотность отпрессованного изделия, $\text{г}/\text{см}^3$.

2. Площадь F сечения верхней загрузочной камеры матрицы форм литьевого прессования для предотвращения раскрытия формы под давлением материала, должна быть больше суммарной площади сечения изделия и литников

$$F = 1,1(F_{\text{и}}n + F_{\text{л}}),$$

где $F_{\text{и}}$ – площадь прессуемого изделия (в плане), см²;

$F_{\text{л}}$ – суммарная площадь сечения литников (в плане), см².

3. Диаметр D , мм нижней загрузочной камеры форм литьевого прессования рекомендуется определять по эмпирической формуле

$$D = \sqrt[3]{V_{\text{и}}n},$$

где $V_{\text{и}}$ – объем прессуемого изделия, см³.

4. Высота H , см, загрузочной камеры для форм литьевого прессования

$$H_{\text{п}} = V / F + 1,2.$$

Расчет исполнительных размеров матриц, пуансонов, резьбовых знаков и других деталей не отличается от соответствующего расчета форм для литья термопластов.

Толщину стенок загрузочных камер, матриц и обойм стационарных форм обычно не рассчитывают. Строгий расчет стенок загрузочных камер, матриц и обойм с учетом работы днища и возможного переменного сечения стенки громоздок и сложен, а упрощенный расчет по известным каноническим формулам сопромата является весьма приближенным и, как правило, не дает результатов, согласующихся с практикой; в связи с этим в большинстве случаев толщину S , S_1 , S_2 стенок можно выбирать по специальной таблице.

6.2. Практическая часть

Используя методику, изложенную в п. 6.1, и данные табл. 6.1, рассчитать размеры загрузочной камеры формы для прессования.

Данные для расчета размеров загрузочной камеры

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
Плотность от- прессованной детали, кг/м ³	1400	1450	1850	1600	1500	1750	1350	1900
Площадь сече- ния литников на одну деталь, мм ²	280	390	260	300	290	400	380	350

Примечания: 1. Для определения массы детали плотность материала см. в табл. 5.1 лабораторной работы № 5.

2. Число одновременно прессуемых деталей см. в табл. 2.3 лабораторной работы № 2.

3. Площадь прессуемой детали (в плане) и ее объем см. на рис. 1.3 лабораторной работы № 1.

4. Насыпную плотность материала см. в табл. 1.3 лабораторной работы № 1.

Требования для получения допуска к выполнению работы

Знать методику расчета загрузочной камеры форм для прессования.

Требования к оформлению отчета

Изложить расчеты практической части.

Контрольные вопросы

1. Методики расчета размеров загрузочной камеры формы для прессования.
2. Особенности процесса прессования.
3. Сущность подпрессовки.
4. Конструкция матрицы.
5. Виды переработки пластмасс методом прессования («Общие сведения о получении деталей из пластмасс», п. 1):
 - а) прямое прессование без предварительного подогрева;
 - б) прямое прессование с предварительным подогревом таблетированного материала.

Лабораторная работа №7

ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВАТЕЛЯ ПРЕСС-ФОРМЫ

7.1. Теоретическая часть

Обогрев пресс-форм

Пресс-формы для прессования и литья термореактивных материалов в настоящее время обогревают в основном с использованием электронагревательных устройств, в качестве которых применяют ТЭНы различных конструкций, в том числе выпускаемые по ГОСТ 13268-83. Набор таких элементов позволяет быстро и легко монтировать плиты обогрева с различной тепловой отдачей установкой ТЭНов необходимой мощности. При выходе из строя одного или нескольких элементов их легко заменить новыми. К недостаткам такого обогрева следует отнести ограниченный срок службы ТЭНов вследствие их перегрева из-за сложности обеспечения полного контакта ТЭНов с плитой.

При конструировании плит обогрева необходимо руководствоваться следующими соображениями:

1. Расположение электронагревательных элементов должно обеспечивать равномерное прогревание всей поверхности формирующих элементов.

2. При определенной суммарной мощности нагревателей следует устанавливать большее их число с меньшей единичной мощностью.

3. В зависимости от расположения формирующих полостей, выталкивателей и конфигурации изделия отверстия в плитах обогрева могут быть расположены симметрично (на равных расстояниях одно от другого), попарно или смещены от центра к краям плит, но по возможности ближе к формирующим элементам.

4. Мощность нагревателей должна быть не меньше расчетной и не превышать ее более чем в 1,5 раза.

5. Для визуального контроля температуры в обоймах матриц (пуансонов) или непосредственно в матрице (пуансоне) следует предусматривать отверстие диаметром 10,5 мм, глубиной 100 мм для установки термометра.

Широкое распространение получает индукционный нагрев тока-ми промышленной частоты. При этом значительно возрастает дол-говечность нагревателей, которая может достигать 3-5 лет (для ТЭНов 2-3 мес.); время разогрева пресс-формы не превышает 0,5-2 ч (для ТЭНов 6-10 ч); повышается равномерность температурного поля оформляющих поверхностей. К недостаткам индукционного обог-рева относятся значительная сложность и трудоемкость установки нагревательного элемента и его замены в случае отказа.

Индукционный нагреватель (рис. 7.1) представляет собой специ-альную катушку 1, устанавливаемую в соответствующий паз плиты обогрева 2. Плита закрыта стальной пришлифованной крышкой 3. Выводы катушки подключают к клеммнику 4. Термопара 5 разме-щена в плите на расстоянии около 3 мм от стенки паза.

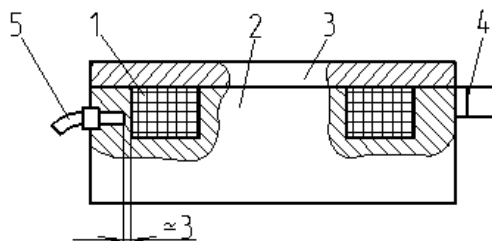


Рис. 7.1

Расчет индукционного нагревателя

Тепловой расчет

1. Мощность теплового потока нагревателя при заданном вре-мени разогрева пресс-формы, Вт:

$$P = Q_{\text{пф}} / \tau + \Phi_{\text{пот}}^{\text{раз}}, \quad (7.1)$$

где $Q_{\text{пф}}$ – количество теплоты, необходимой для разогрева пресс-формы (без учета потерь), Дж;

$\Phi_{\text{пот}}^{\text{раз}}$ – потери теплового потока за время разогрева Вт;

τ – время разогрева, с.

2. Количество теплоты, необходимое для разогрева пресс-формы до температуры прессования, Дж:

$$Q_{\text{пф}} = cm(t_{\text{пф}} - 20),$$

где c – удельная теплоемкость стали, Дж/(кг·°C) (см. в лаб. работе № 8);

m – масса пресс-формы, кг;

$t_{\text{пф}}$ – средняя температура пресс-формы в конце разогрева ($t_{\text{пф}} \approx 200^\circ\text{C}$ при температуре стенки $t_c = 165...170^\circ\text{C}$).

3. Потери теплового потока за период разогрева, Вт:

$$\Phi_{\text{пот}}^{\text{раз}} = \Phi_{\text{бп}} + \Phi_{\text{пк}},$$

где $\Phi_{\text{бп}}$ и $\Phi_{\text{пк}}$ – потери теплового потока соответственно боковыми поверхностями пресс-формы и поверхностями контакта с прессом, Вт.

Потери теплового потока боковыми поверхностями, Вт:
без теплоизоляции

$$\Phi_{\text{бп}} = 0,5\alpha_6 P_6 (t_c - 20);$$

с теплоизоляцией

$$\Phi_{\text{бп}} = 0,5\alpha_6^{\text{и}} F_6 (t_{\text{и}} - 20),$$

здесь α_6 и $\alpha_6^{\text{и}}$ – коэффициент теплоотдачи боковых поверхностей соответственно пресс-формы и изоляции, Вт/(м²·°C);

F_6 – площадь боковых поверхностей пресс-формы, м² (см. рис. 1.3 в раб. работе № 1);

$t_{\text{и}}$ – температура поверхности теплоизоляции, °C.

Обычно $\alpha_6 = 13$ Вт/(мг·°C), $\alpha_6^{\text{и}} = 11,6$ Вт/(м·°C); $t_{\text{и}} = 80...85$ °C.

4. Потери теплового потока поверхностями контакта пресс-формы с прессом через прокладки, Вт

$$\Phi_{\text{пк}} = F_{\text{к}} (\lambda_{\text{пр}}/\delta_{\text{пр}})(t_o - t_{\text{п}}),$$

где F_k – площадь поверхности контакта пресс-формы и пресса, м²;
 $\lambda_{пр}$ – коэффициент теплопроводности прокладки из асбеста, Вт/(м · °С) (см. в лаб. работе № 8);
 $\delta_{пр}$ – толщина прокладки, м;
 $t_0 = 0,5(t_c - 20)$ – средняя температура поверхности контакта пресс-формы с прессом в период разогрева, °С;
 $t_{п} \approx 28...30$ °С – средняя температура поверхности контакта пресса с пресс-формой.

7.2. Практическая часть

Используя методику, изложенную в п. 7.1, и данные табл. 7.1, выполнить тепловой расчет индукционного нагревателя пресс-формы.

Таблица 7.1

Данные для теплового расчета индукционного нагревателя пресс-формы

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
Масса пресс-формы, кг	180	150	190	160	170	165	195	175
Толщина прокладки, м	0,008	0,009	0,01	0,011	0,012	0,013	0,014	0,015

Примечание. Площадь контакта пресс-формы с прессом составляет 1/6 часть площади ее боковой поверхности.

Требования для получения допуска к выполнению работы

Знать методику теплового расчета индукционного нагревателя пресс-формы.

Требования к оформлению отчета

В отчете привести расчеты практической части.

Контрольные вопросы

1. Методика теплового расчета индукционного нагревателя пресс-формы.

2. Достоинства и недостатки использования ТЭНов и индукционных нагревателей для обогрева пресс-форм.
3. Требования к конструкции плит обогрева.
4. Конструкция индукционного нагревателя.
5. Виды переработки пластмасс методами прессования:
 - а) литьевое прессование;
 - б) прямое прессование с предварительной пластификацией;
 - в) литьевое прессование с предварительной пластификацией.

Лабораторная работа №8

РАСЧЕТ ИНДУКТОРА ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВАТЕЛЯ ПРЕСС-ФОРМЫ

8.1. Теоретическая часть

Формы для литья под давлением реактопластов

По конструкции формы, которые предназначены для изготовления изделий из реактопластов методом литья под давлением, принципиально не отличаются от форм для литья изделий из термопластов. Некоторые особенности определяются спецификой технологии формования реактопластов. К таким особенностям относятся: наличие обогревательных элементов (ТЭНы, индукторы и др.), а также необходимость учета температурного расширения подвижных элементов формы для предотвращения возможных заеданий, задиров, поломок. Для уменьшения тепловых потерь и выравнивания температурного поля формы необходимо предусматривать надежную тепловую изоляцию полуформ от плит литьевой машины и окружающей среды.

При проектировании литниковой системы (центральный литник, разводящие литниковые каналы, место подвода впускного канала, его вид и форма) необходимо руководствоваться требованиями, предъявляемыми к литниковой системе форм для литья изделий из термопластов. Однако при литье реактопластов всегда требуется тщательная отделка поверхности разводящих каналов с обязательным хромированием. Переход от разводящих каналов к впускным должен быть плавным.

Выбор площади поперечного сечения впускного канала – наиболее ответственный этап проектирования литниковой системы. Чрезмерное уменьшение поперечного сечения впускного канала приводит к следующим нежелательным явлениям: излишней потере давления; преждевременному отверждению впрыскиваемого материала из-за дополнительного выделения теплоты при трении в узком канале; возникновению больших внутренних напряжений в месте впуска; неравномерной ориентации наполнителя и вследствие этого ухудшению физико-механических свойств, особенно для материалов, армированных волокнами, а также к короблению изделия.

Чрезмерное увеличение площади поперечного сечения впускного канала также нежелательно, так как при отделении литника возможно повреждение изделия.

Площадь сечения впускного канала принимают из расчета его удельной пропускной способности 5 – 10 г массы впрыскиваемого материала на 1 мм² сечения. Высоту канала принимают 0,3 – 0,6 мм.

При литье плоских тонких изделий рекомендуют применять веерный литник, который может иметь при заданной площади сечения минимальную толщину и улучшает ориентацию материала, снижая тем самым коробление изделия. При литье толстостенных изделий для уменьшения выдержки впускной канал целесообразно рассчитывать по максимальной пропускной способности впускного канала.

Диаметр d впускного отверстия тоннельного литника (как правило, 0,5 – 2,0 мм) можно определить по уравнению

$$d = kV + 0,5,$$

где $k = 0,01$ мм/см³ – коэффициент пропорциональности;

V – объем изделия, см³.

Увеличение диаметра свыше 2 мм возможно, но приводит к образованию на детали заметного следа от среза литника.

В многогнездных формах расположение оформляющих полостей должно быть таким, чтобы длина путей течения материала к ним была одинаковой, что обеспечивает одинаковые физико-механические свойства изделий, получаемых в разных гнездах.

Для получения качественной отливки существенное значение имеют вентиляционные каналы, место расположения которых следует выбирать в соответствии с правилами расположения их в формах

для литья термопластов. Размеры вентиляционных каналов подбирают опытным путем в зависимости от размеров детали: высота 5 – 20 мм, ширина 0,05 – 0,2 мм. После окончательной доводки при испытании формы эти каналы необходимо полировать и хромировать.

Прогрессивным направлением в конструировании является создание форм с холодными литниковыми каналами, которые соответствуют горячеканальным формам при литье термопластов. Особенно эффективно их применение для изготовления мелких деталей в многогнездных формах, где разветвленная литниковая система может составлять 50 % и более объема отливаемых изделий. Еще одно преимущество таких форм – возможность использования литниковых каналов увеличенного диаметра, что существенно снижает потери давления литья и несколько меньше разрушает стекловолокнистый наполнитель.

Отличительная особенность холодноканальных форм – обязательное наличие теплоизолирующей плиты между коллектором литниковой системы и оформляющей плитой (обоймой матриц).

Расчет индукционного нагревателя

1. Глубина проникновения тока в материал пресс-формы, м:

$$\Delta = 503\sqrt{\rho_o / (\mu f)},$$

где ρ_o – удельное электрическое сопротивление стали, Ом·м;

$\mu = 40...45$ – относительная магнитная проницаемость;

$f = 50$ Гц – частота тока.

2. Электрическая проводимость поверхностного слоя паза, по которому проходит индукционный ток, См

$$G = 10^{-6}S/(\rho_c l_c), \quad (8.1)$$

где S – площадь поперечного сечения поверхностного слоя паза, по которому проходит индукционный ток, мм²;

l_c – длина паза пресс-формы по средней линии, м.

$$S = 2\Delta (h + b) + \pi\Delta^2, \quad (8.2)$$

где h и b – соответственно глубина и ширина паза, мм.

Для предварительного определения проводимости G поверхностного слоя паза размерами h и b задаются. Обычно принимают $h = 30 \dots 35$ мм, а b – в 1,1 – 1,3 раза меньше.

3. Число витков индуктора

$$W = U \sqrt{G / 3P}, \quad (8.3)$$

где U – напряжение на клеммах индуктора, В;

P – мощность индуктора соответствующей полуформы, Вт.

4. Площадь сечения проволоки, мм²:

$$q \geq W / (JU),$$

где $J = 5 \dots 6$ А/мм² – плотность тока.

По значению q определяют диаметр d провода обмотки в соответствии с ГОСТ 7019-80.

5. Ширина паза при плотной намотке проводов круглого или прямоугольного сечения, мм:

$$b_1 = zd + (z - 1) \delta + (4,0 \dots 4,5), \quad (8.4)$$

где z – число слоев обмотки;

d – диаметр или толщина провода, мм;

$\delta = 0,4 \dots 0,5$ мм – толщина межслойной изоляции.

6. Число слоев обмотки

$$Z = W / W_{\text{сл}}, \quad (8.5)$$

где $W_{\text{сл}} = (h - 4) / d - 1$ – число витков в одном слое.

Полученные значения округляют до целых чисел; при этом $W_{\text{сл}}$ уменьшают, а z увеличивают.

7. По формуле (8.2) определяют уточненное значение площади S_1 , подставив $b = b_1$; по формулам (8.1) и (8.3) находят уточненные значения проводимости G_1 и числа витков W_1 . После определения W_1 , по формулам (8.4) и (8.5) проверяют возможность размещения всех витков при ширине паза $b = b_1$. Если z изменяется, то расчет необходимо повторить, если нет, то значения проводимости G_1 и числа витков W_1 можно использовать при дальнейших расчетах.

8. Электрическое сопротивление обмотки, Ом:

$$R_1 = \rho_1 \frac{W_1 l_c}{10^{-6} q} [1 + \beta_1 (t_1 - 20)],$$

где ρ_1 – удельное сопротивление проволоки, Ом · м;

β_1 – температурный коэффициент электрического сопротивления, $1/^\circ\text{C}$;

t_1 – температура проволоки к концу разогрева, $^\circ\text{C}$.

Температуру проволоки можно принимать равной температуре поверхности паза пресс-формы, $^\circ\text{C}$:

$$t_{\text{п}} = \frac{Q}{c\rho_c} \frac{1}{2\sqrt{\alpha\pi\tau}},$$

где Q – количество теплоты на единицу площади поверхности паза, Дж/ м^2 ;

c – удельная теплоемкость стали, Дж/(кг· $^\circ\text{C}$);

ρ_c – плотность стали, кг/ м^3 ;

α – коэффициент температуропроводности стали, $\text{м}^2/\text{с}$;

τ – время разогрева, с.

9. Реактивное сопротивление обмотки, Ом:

$$X_1 = 1,31 \cdot 10^{-4} W^2 l_c h / b.$$

10. Активное сопротивление вторичной цепи (паза пресс-формы), Ом:

$$R_2'' = W_1^2 / G.$$

Из-за потерь на гистерезис сопротивление увеличивается на

$$R_2' = 0,1 R_2''.$$

С учетом поправки на изменение температуры можно записать

$$R_2^t = R_2'' [1 + \beta_2 (t_{\text{п}} - 20)],$$

где β_2 – температурный коэффициент электрического сопротивления стали, $1/^\circ\text{C}$.

Полное сопротивление

$$R_2 = R_2^t + R_2'.$$

Реактивное сопротивление вторичной цепи

$$X_2 = R_2/1,37.$$

Полное сопротивление индуктора

$$z = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_1 + X_2)^2}.$$

Коэффициент мощности

$$\cos \varphi = (R_1 + R_2)/Z.$$

Сила тока индуктора, А:

$$I = U/Z.$$

Плотность тока

$$t = I/q.$$

Активная мощность индуктора, Вт:

$$P = IU \cos \varphi.$$

Справочные данные, необходимые для расчета:

Удельная теплоемкость стали, Дж/(кг·°C)	460-500
Плотность стали, кг/м ³	7850
Коэффициент температуропроводности стали, м ² /с	$2,1 \cdot 10^{-5}$
Коэффициент теплопроводности асбеста, Вт/(м·°C)	0,12 – 0,23
Удельное электрическое сопротивление, мкОм·м:	
стали	0,1 – 0,2
меди	0,01724

Температурный коэффициент электрического сопротивления, 1/°С:	
меди	0,0043
стали	0,005

8.2. Практическая часть

Используя методику, изложенную в п. 8.1, и данные табл. 8.1, выполнить расчет индуктора индукционного нагревателя пресс-формы.

Таблица 8.1

Данные для расчета индуктора индукционного нагревателя пресс-формы

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
Длина паза пресс-формы по средней линии, м	0,28	0,31	0,34	0,36	0,38	0,39	0,4	0,42
Время разогрева, мин	45	50	54	58	60	62	65	73
Кол-во теплоты на единицу площади поверхности паза, Дж/м ²	6,5·10 ⁶	6,4·10 ⁶	6,5·10 ⁶	6,6·10 ⁶	6,7·10 ⁶	6,8·10 ⁶	6,9·10 ⁶	7·10 ⁶
Мощность индуктора, кВт	1,0	1,3	1,5	1,8	2,0	2,25	2,6	3,0

Примечание. Среднюю длину витка принимать равной длине паза пресс-формы по средней линии.

Требования для получения допуска к выполнению работы

Знать методику расчета индуктора индукционного нагревателя пресс-форм.

Требования к оформлению отчета

В отчете привести расчеты практической части.

Контрольные вопросы

1. Методика расчета индуктора индукционного нагревателя пресс-форм.
2. Виды переработки пластмасс методом литья под давлением:
 - а) литье под давлением реактопластов;
 - б) литье под давлением термопластов.
3. Конструктивные особенности форм для изготовления деталей из реактопластов.
4. Влияние площади поперечного сечения на процесс получения деталей из реактопластов методом литья под давлением.

Л и т е р а т у р а

1. Пантелеев А.П., Шевцов Ю.М., Горячев И.А. Справочник по проектированию оснастки для переработки пластмасс. – М.: Машиностроение, 1986. – 398 с.

2. Альшиц И.Я., Благов Б.Н. Проектирование деталей из пластмасс. – М.: Машиностроение, 1977. – 242 с.

3. Глухов Е.Е. Конструирование пластмассовых изделий и формующего инструмента. – М.: 1977. – 95 с.

4. Лапшин В.В. Основы переработки термопластов литьем под давлением. – М.: Химия, 1974. – 270 с.

5. Оленев Б.А., Мордкович Е.М., Калюшин В.Ф. Проектирование производств по переработке пластических масс. – М.: Химия, 1982. – 253 с.

6. Петряев С.В., Лангин О.Н. Пластмассовые пресс-формы для литья под давлением термопластов. – Л.: ЛДНТП, 1981. – 34 с.

Содержание

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПОЛУЧЕНИИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ ПЛАСТМАСС.	3
1. Полимерные материалы для получения изделий методами литья и прессования.	3
2. Виды переработки пластмасс методами прессования и литья под давлением.	3
3. Технологичность пластмассовых изделий.	8
ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ.	15
Лабораторная работа № 1. РАСЧЕТ ЦЕНТРАЛЬНОГО, РАЗВОДЯЩИХ И ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ КАНАЛОВ ФОРМ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ.	15
Лабораторная работа № 2. РАСЧЕТ ВПУСКНЫХ КАНАЛОВ ФОРМ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ.	29
Лабораторная работа № 3. РАСЧЕТ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ ГЛАДКОЙ ФОРМООБРАЗУЮЩЕЙ ДЕТАЛИ.	38
Лабораторная работа № 4. РАСЧЕТ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ РЕЗЬБООФОРМЛЯЮЩИХ ДЕТАЛЕЙ.	45
Лабораторная работа № 5. РАСЧЕТ ТЕРМОСТАТИРУЮЩИХ КАНАЛОВ ФОРМЫ ДЛЯ ЛИТЬЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ.	52
Лабораторная работа № 6. РАСЧЕТ РАЗМЕРОВ ЗАГРУЗОЧНОЙ КАМЕРЫ ФОРМЫ ДЛЯ ПРЕССОВАНИЯ.	62
Лабораторная работа № 7. ТЕПЛОВОЙ РАСЧЕТ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВАТЕЛЯ ПРЕСС-ФОРМЫ.	68
Лабораторная работа № 8. РАСЧЕТ ИНДУКТОРА ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВАТЕЛЯ ПРЕСС-ФОРМЫ.	72
Литература.	80

Учебное издание

ТЕХНОЛОГИЯ ОПТИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ (ПРАКТИКУМ)

для студентов специальности 1-38 01 02
«Оптико-электронные и лазерные приборы и системы»
специализаций 1-38 01 02 01
«Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы
и 1-38 01 02 02 «Лазерные системы и технологии»

Составители: КОЗЕРУК Альбин Степанович
ЛУГОВИК Алексей Юрьевич

Редактор А.М.Кондратович
Компьютерная верстка Н.А.Школьниковой

Подписано в печать 30.08.2004.

Формат 60x84 1/16. Бумага типографская № 2.

Печать офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 4,6. Уч.-изд. л. 3,7. Тираж 150. Заказ 368.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

Лицензия № 02330/0056957 от 01.04.2004.

220013, Минск, проспект Ф.Скорины, 65.