



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

**И.Н. Андрушко
А.П. Пономарев
О.А. Мишурина**

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ТЕРМОФОРМОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЛАСТМАСС

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Магнитогорск
2020

УДК 678.027.76
ББК 35.710

Рецензенты:

кандидат технических наук,
генеральный директор
ЗАО «Научно-производственное объединение
Центр Химических Технологий»
В.П. Дзюба

доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры технологий обработки материалов,
ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический
университет им. Г.И. Носова»
М.А. Полякова

Андрушко И.Н., Пономарев А.П., Мишурина О.А.

Технологическое оборудование для термоформования изделий из пластмасс
[Электронный ресурс] : учебное пособие / Иван Николаевич Андрушко, Антон Павлович Пономарев, Ольга Алексеевна Мишурина ; ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – Электрон. текстовые дан. (1,31 Мб). – Магнитогорск : ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2020. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования : IBM PC, любой, более 1 GHz ; 512 Мб RAM ; 10 Мб HDD ; MS Windows XP и выше ; Adobe Reader 8.0 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с титул. экрана.
ISBN 978-5-9967-2030-9

В учебном пособии дана общая характеристика процессов термоформования и их классификация. Рассмотрены конструкции термоформовочного оборудования и термоформующего инструмента. Описаны технологические линии производства различных изделий методом термоформования. Представлены рекомендации по проведению материальных и проектных расчётов.

Пособие составлено в соответствии с программами дисциплин: «Технологическое оборудование упаковочных производств», «Производство изделий из полимерных и композиционных материалов», «Технология упаковочного производства», «Проектная деятельность». Учебное пособие предназначено для обучающихся по направлению 29.03.03 «Технология полиграфического и упаковочного производства», а также может быть полезно слушателям ФПК, инженерно-техническим, научным работникам упаковочной отрасли и широкому кругу читателей.

УДК 678.027.76
ББК 35.710

ISBN 978-5-9967-2030-9

© Андрушко И.Н., Пономарев А.П., Мишурина О.А., 2020
© ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова», 2020

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	4
1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ТЕРМОФОРМОВАНИЯ	5
1.1. Разновидности метода пневмо- и вакуумформования	6
1.2. Формование с вытяжкой	8
1.2.1. Формование с механической вытяжкой	8
1.2.2. Формование с пневматической вытяжкой	9
1.3. Штампование	10
1.4. Ротационное формование	12
1.5. Выдувное формование	14
2. ТЕРМОФОРМОВОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	19
3. ТЕРМОФОРМУЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ	25
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	31
4. РАСЧЁТЫ	32
4.1. Размеры листовой заготовки	32
4.2. Расчёт массы готового изделия и коэффициента	32
полезного использования материала	32
4.3. Расчёт нормы расхода сырья	32
4.4. Расчёт толщины стенки термоформованных изделий	34
КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ	37
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	39
ПРИЛОЖЕНИЕ	41

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование технологии в области науки и техники в настоящее время невозможно без интенсивного использования полимерных материалов. Они приходят как на замену более дорогих материалов: стекла, металла, дерева, – так и являются единственными в некоторых областях применения, например в медицине. С каждым годом сферы применения полимерных материалов только увеличиваются, как и увеличивается потребность в квалифицированных инженерных кадрах, способных решать различные задачи в областях разработки и применения новых материалов.

Одними из основных методов переработки полимерных материалов являются методы термоформования изделий из плоских (листовых или плёночных) заготовок. Термоформование объединяет несколько технологических методов: вакуумное, пневматическое, механическое, а также и некоторые другие виды формования нагретых полимерных листовых или плёночных заготовок, при этом возможны их различные комбинации.

Повсеместное применение методов термоформования объясняется простотой, компактностью, относительной дешевизной используемого оборудования и технологической оснастки. Термоформованием производят прежде всего тару и упаковку для пищевой, парфюмерной, фармацевтической, химической, нефтяной отраслей промышленности, одноразовую посуду, а также целый ряд полых полимерных изделий, имеющих различное техническое назначение. Отдельные виды крупногабаритных и тонкостенных полимерных изделий сложной конфигурации возможно изготовить только методами пневматического или вакуумного формования. Благодаря всем выше перечисленным преимуществам процессы термоформования достойно конкурируют с другими альтернативными методами производства изделий из полимерных материалов.

Изучение и освоение методов термоформования является неотъемлемой частью дисциплин: «Технологическое оборудование упаковочных производств», «Производство изделий из полимерных и композиционных материалов», «Технология упаковочного производства», «Проектная деятельность». Пособие будет полезно студентам, инженерно-техническим работникам, широкому кругу читателей для ознакомления с основными методами термоформования, оборудованием для реализации данных методов.

1. ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ТЕРМОФОРМОВАНИЯ

Формование на внутренней поверхности формы может осуществляться несколькими способами: штамповкой, вакуум- и пневмовакуумным формованием листовой или пленочной заготовки; ротационным формованием порошко- или пастообразного полимера; выдувным формованием предварительно экструдированной рукавной заготовки расплава термопласта; виброформованием гетерогенных композиционных материалов.

Пневмоформование и вакуумформование – это разновидности метода термоформования, т.е. изготовления тонкостенных фасонных изделий из листов или плёнок термопластов, разогретых до температуры размягчения (перехода в высокоэластическое состояние).

Термоформованием перерабатывается большинство термопластов. Лучшими технологическими свойствами обладают аморфные полимеры, такие как полистирол (ПС), ударопрочный полистирол (УПС), поливинилхлорид (ПВХ), поликарбонат (ПК) и др. Применяют также и кристаллизующиеся полимеры: полиэтилен низкой плотности (ПЭНП), полиэтилен высокой плотности (ПЭВП), полипропилен (ПП) и др. Плохо формуемыми считаются такие кристаллические пластики, как полиамид (ПА).

Формование состоит из нескольких стадий:

1. Закрепление листа термопласта прижимной рамой (рис. 1.1, а).
2. Нагрев листа до температуры, находящейся в интервале температур высокоэластического состояния термопласта (рис. 1.1, б).
3. Создание разности давлений воздуха в пространствах, прилегающих к противоположным сторонам разогретого листа (рис. 1.1, б, в, г). За счёт этого разогретый лист деформируется и прижимается к формообразующей поверхности холодной (т.е. неподогреваемой) оснастки.
4. Выдержка отформованного листа в форме (рис. 1.1, д) для охлаждения термопласта ниже температуры стеклования (для аморфных термопластов) или кристаллизации (для кристаллизующихся термопластов).

При вакуумформовании в пространстве между разогретым листом и формообразующей поверхностью создаётся разрежение, и за счёт перепада давлений над и под листом осуществляется прижим листа к формообразующей поверхности. Преимуществом данного способа является возможность получения качественных изделий из листа толщиной до 5 мм при использовании относительно несложного оборудования. Недостатком является невозможность создания давления формования выше 0,1 МПа.

При пневмоформовании над разогретым листом создаётся избыточное давление воздуха, за счёт которого и осуществляется прижим листа к формообразующей поверхности. Этот способ позволяет применять более высокие давления формования (0,15 ÷ 2,5 МПа) и перерабатывать более толстые листы термопластов.

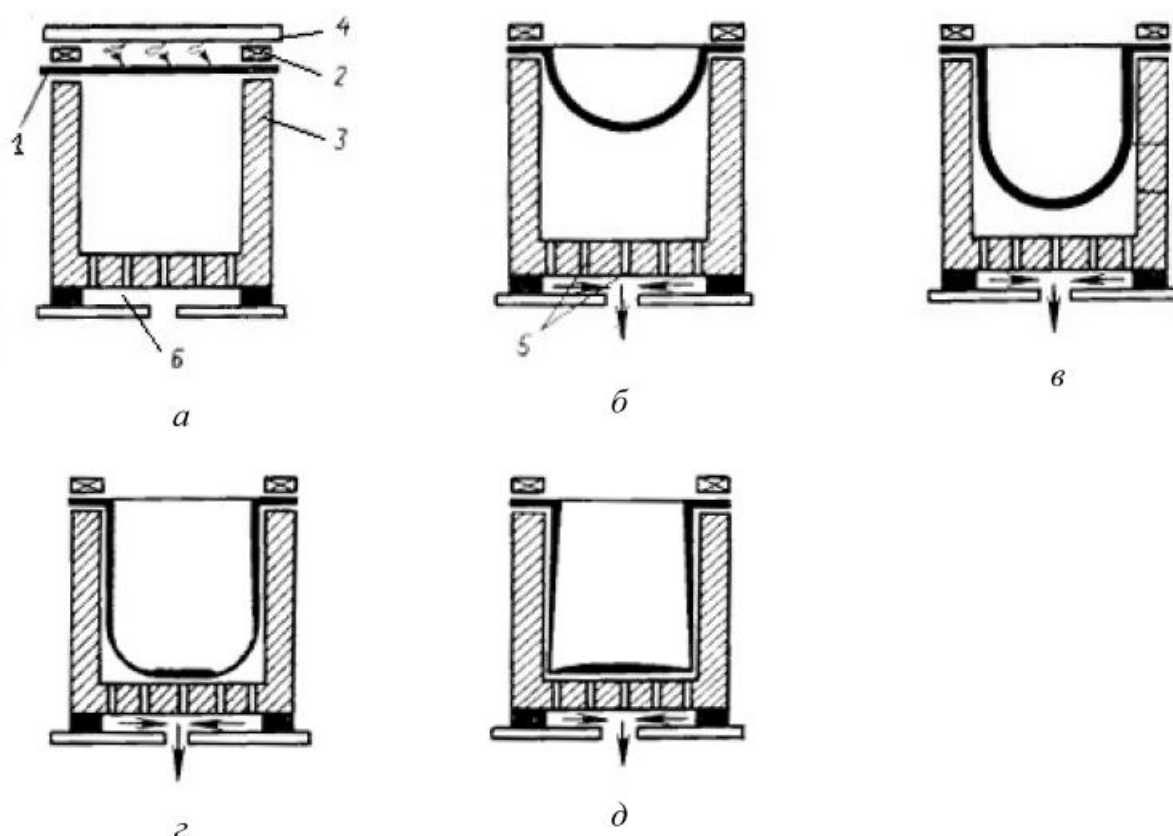


Рис. 1.1. Стадии негативного вакуумформования (а – д – стадии процесса):

1 – нагреваемый лист; 2 – рама; 3 – форма; 4 – нагреватель; 5 – вентиляционные каналы; 6 – дренажная полость

1.1. Разновидности метода пневмо- и вакуумформования

Негативное, позитивное и свободное формование

Негативное формование (формование в матрице) позволяет получать изделия, у которых наружная поверхность соответствует геометрии внутренней поверхности матрицы (см. рис. 1.1). Разогретая заготовка вначале деформируется свободно, и её толщина уменьшается относительно равномерно, однако после соприкосновения с формой температура заготовки в этой области резко понижается, и дальнейшее деформирование проходит неравномерно. Разнотолщинность дна и стенок изделия является одним из существенных недостатков негативного метода формования. Позитивное формование (формование на пуансоне) позволяет получать изделия, у которых внутренняя поверхность повторяет внешнюю поверхность пуансона (рис. 1.2). Разогретая заготовка сначала соприкасается с верхней частью пуансона. Деформация этой зоны заготовки прекращается, поэтому образующееся дно имеет наибольшую толщину. Вытяжка остальной части заготовки происходит более равномерно, но, как и при негативном формовании, получение изделия большой глубины и с острыми углами затруднительно. Позитивное формование применяют в тех случаях, когда в изделии нужно полу-

чить дно существенно толще стенок и когда необходимо точно по форме выполнить внутреннюю поверхность изделия. Основным недостатком способа – большое количество отходов.

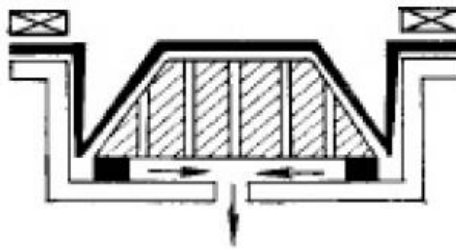


Рис. 1.2. Схема позитивного вакуумформования

При свободном вакуумформовании лист закрепляется над вакуумной камерой и нагревается. При достижении определенной температуры создается вакуум, и лист втягивается в вакуумную камеру, не касаясь её стенок. При этом образуется некая полусфера или сегмент (рис.1.3). Когда образуемая полусфера достигнет необходимой глубины, разряжение в камере снижается, и величина его поддерживается постоянной до момента полного охлаждения изделия.

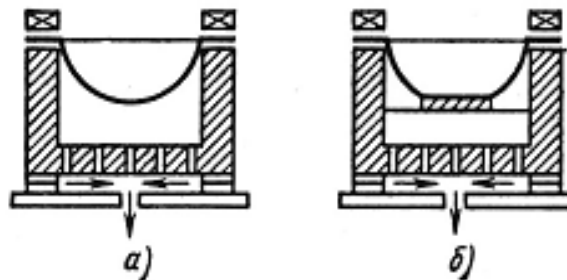


Рис.1.3. Схема свободного вакуумформования

Форма изделия определяется, с одной стороны, конфигурацией проймы, а, с другой стороны, глубиной вытяжки. Если используется форма с круглой проймой, то формируемое изделие примет вид поверхности шарового сегмента. Если форма эллиптическая, то изделие будет в виде поверхности сегмента эллипсоида вращения. Проймы могут быть прямоугольной формы. В этом случае изделие имеет вид поверхности, образованной поверхностью кругового и эллиптического цилиндров.

Глубина вытяжки регулируется с помощью фотоэлементов, настраиваемых на определенную глубину вытяжки листа, или с помощью концевых выключателей.

Недостатки метода: ограничение в отношении конфигурации изделий, высокие требования к равномерному нагреву термопласта и равномерности исходной заготовки. Несоблюдение этих требований приводит к неравномерности вытяжки и, следовательно, к неправильной форме изделия.

1.2. Формование с вытяжкой

1.2.1. Формование с механической вытяжкой

Негативное формование с предварительной механической вытяжкой (рис. 1.4, а) осуществляется следующим образом. После разогрева листа (позиция I) нагреватель 1 отводится в сторону, а вспомогательный (вытяжной) пуансон 2 опускается, вытягивая лист (позиция II). Пуансон изготавливают обогреваемым или со специальным покрытием материалами с малой теплопроводностью и низким коэффициентом трения (фторопласт, велюр, бархат). Окончательная вытяжка листа выполняется основным пуансоном. При этом в полости между формообразующей поверхностью матрицы и пуансоном создаётся разрежение (позиция III).

Позитивное формование с механической вытяжкой показано на рис. 1.4, б. Стадии формования на позициях I, II и III те же, что и на рис. 1.4, а. В данном случае нет необходимости использовать вспомогательный пуансон. Основной пуансон используется как для предварительной вытяжки, так и для окончательного формования. Для того чтобы исключить преждевременное охлаждение листа в месте контакта с пуансоном во время предварительной вытяжки, между пуансоном и листом термопласта создают воздушную прослойку, подавая воздух под давлением через отверстия в пуансоне в пространство между пуансоном и листом.

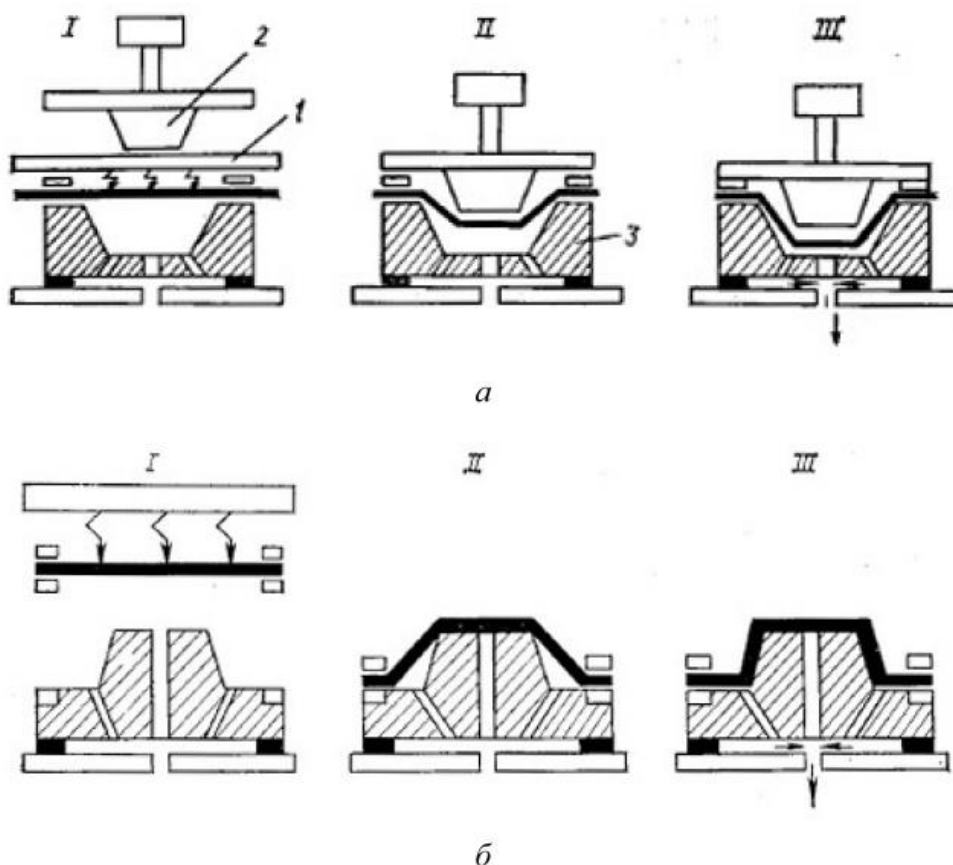


Рис. 1.4. Формование с механической вытяжкой:
а – негативное; б – позитивное

1.2.2. Формование с пневматической вытяжкой

При негативном вакуумформовании (рис. 1.5, а) после разогрева листа термопласта (позиция I) в формующую полость подаётся воздух под давлением, несколько большим атмосферного, и лист раздувается в полусферу (позиция II). Далее между листом и матрицей создаётся разрежение, и лист, как бы вывернувшись наизнанку, прилегает к формообразующей поверхности (позиция III). При позитивном вакуумформовании (рис. 1.5, б) позиции I и II такие же, но вытяжка происходит за счёт разрежения, создаваемого под листом термопласта в пневмовакuumной камере. После вытяжки формующий пуансон опускается, и разрежение отключается (позиция III). Для улучшения формообразования лист снизу поджимается к пуансону сжатым воздухом, а сверху, в пространстве между листом и пуансоном, создаётся разрежение через вентиляционные отверстия в пуансоне.

При пневматической вытяжке толщина вытянутого листа получается более однородной, чем при механической вытяжке.

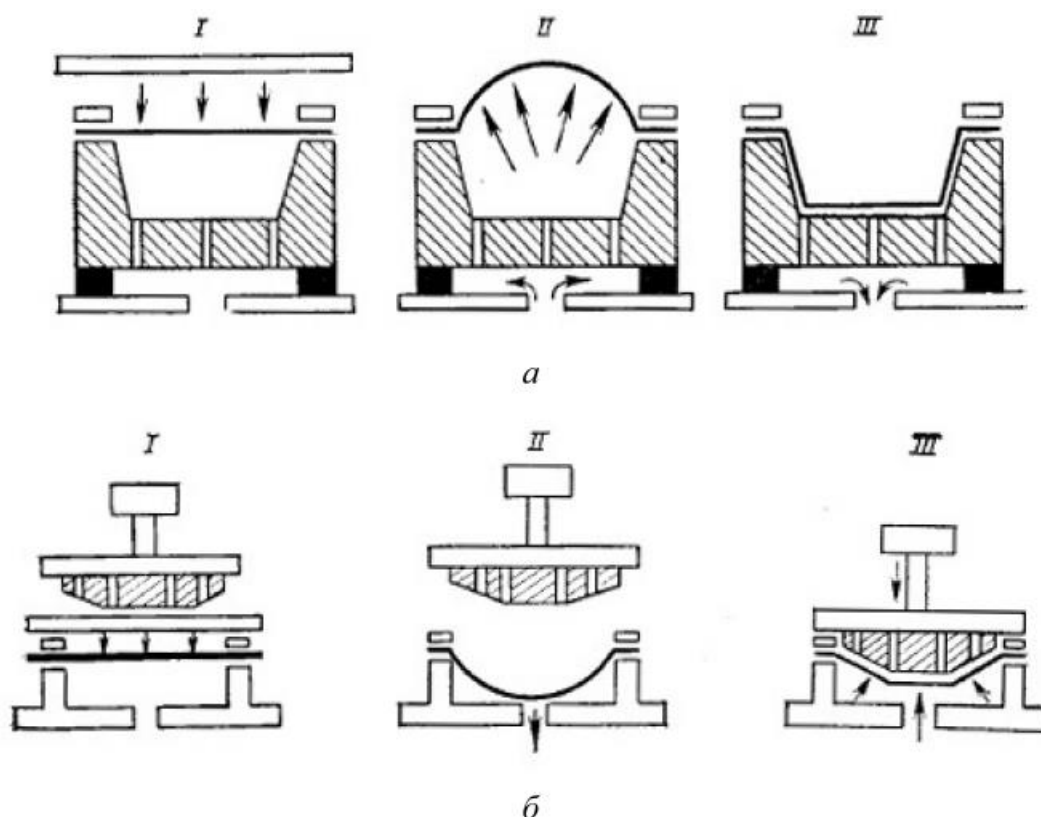


Рис. 1.5. Формование с пневматической вытяжкой:
а – негативное; б – позитивное

Для изготовления изделий с минимальной разностью толщины стенок и дна можно использовать комбинированные способы пневмомеханической вытяжки.

Описанные разновидности вакуумформования могут быть реализованы и при пневмоформовании, однако при этом усложняется конструкция машины, поскольку необходимо создать пневмокамеру с избыточным давлением воздуха, герметично прижимаемую к листу термопласта.

1.3. Штампование

Для изготовления объёмных изделий небольшой глубины, к которым предъявляются жёсткие требования по толщине и качеству поверхности, используют метод штамповки. Заготовку (пленку, лист, пластину, блок) помещают в специальную форму, матрица и пуансон которой выполнены сопряженными. Форму устанавливают на пресс (гидравлический, пневматический, механический), с помощью которого и осуществляется процесс формования.

Горячая штамповка предполагает использование предварительно нагретой заготовки; в зависимости от вида перерабатываемого материала процесс формования осуществляется либо за счет высокоэластической (аморфный полимер вблизи температуры стеклования), либо за счет пластической (кристаллический полимер выше температуры плавления) деформации. Заготовки из термореактивных материалов используют недоотвержденными и нагревают до температуры размягчения. После завершения процесса формования готовое изделие охлаждают в форме, снабженной системой охлаждения. Необходимое давление составляет 10-70 МПа.

Из всех методов формования непосредственное штампование – самый дорогой метод, так как он требует изготовления сопряженных матрицы и пуансона (рис. 1.6).

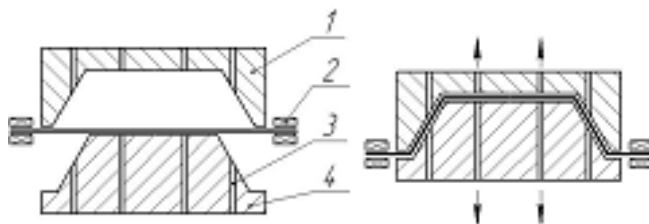


Рис. 1.6. Схема штампования изделий из листовых заготовок:
1 – матрица; 2 – зажимная рама; 3 – каналы для удаления воздуха; 4 – пуансон

Данный метод применяется редко, в основном для изготовления изделий из листов из УПС.

Чаще встречается штампование с применением несопряженного штампа или эластичного пуансона и жёсткой матрицы (рис. 1.7). Метод применяется для изготовления изделий небольшой глубины.

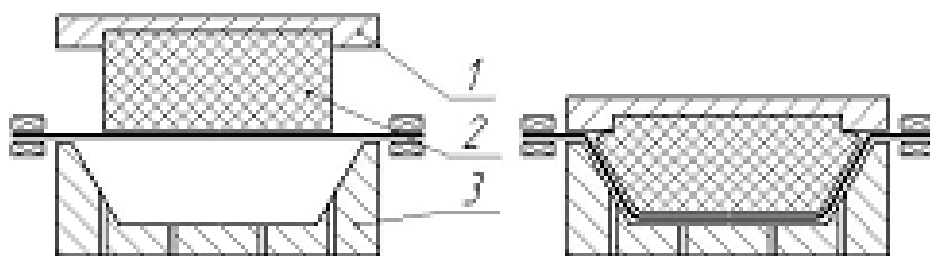


Рис. 1.7. Схема штампования несопряженным штампом:
1 – обойма; 2 – эластичный пуансон; 3 – матрица

В процессе формования листовую заготовку устанавливают над матрицей и оформляют в изделие путем обжатия её эластичным пуансоном, который закреплен в металлической обойме. Воздух из-под листа удаляется через отверстия в матрице. Эластичный пуансон изготавливают из пористой резины.

Штампование протяжкой заключается в вытяжке листовой заготовки, закрепленной по контуру рамы, пуансоном (рис. 1.8). При протяжке заготовку помещают в прижимную раму и придают ей определенную форму, вдавливая пуансон. При этом форма пуансона может не совпадать с внутренней формой изделия. Меняя последовательно пуансоны, можно получить изделия с разным углом наклона боковых стенок.

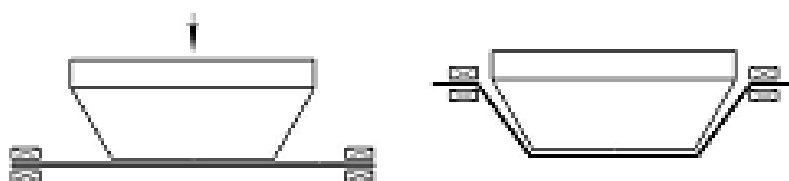


Рис. 1.8. Схема штампования протяжкой

Штампование протяжкой с проскальзыванием листа в прижимной раме позволяет получить, при прочих равных условиях, изделия с более толстыми стенками (рис. 1.9). Это обусловлено тем, что при формовании с плотным прижатием заготовки в прижимной раме вытяжка изделия ведется лишь за счёт материала, который расположен под или над оформляющим инструментом. Этот же метод предполагает, что часть листа будет прижата, а часть – втянута.

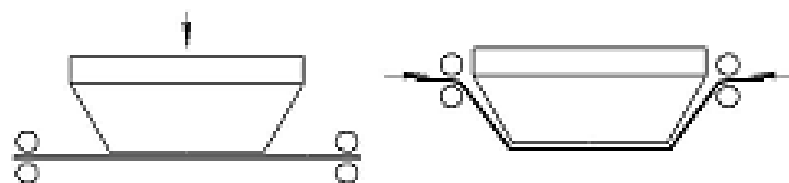


Рис. 1.9. Схема штампования протяжкой с проскальзыванием листа

При формовании листа с проскальзыванием его в прижимной раме образование стенок изделия происходит также и за счёт использования материала, находящегося в зажимном устройстве. Величина проскальзывания регулируется давлением в зажимах. Чтобы обеспечить про-

скальзывание материала в зажимах, последние изготавливаются в виде валков, вращающихся на своих осях. Этот метод применяется для изготовления мелкой тары из рулонных материалов.

В целом метод штампования не получил широкого распространения в промышленности переработки пластмасс.

1.4. Ротационное формование

Ротационное формование – метод изготовления полых изделий из порошков или паст термопластов. Метод состоит в том, что определенное количество термопластичного материала загружают в полую металлическую форму, которую закрывают и приводят во вращение в одной или двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Форму нагревают до плавления полимера. При вращении материал должен равномерно распределяться по внутренней стороне формы, уплотняться и образовывать монолитное покрытие определенной толщины. После остывания форма раскрывается и готовое изделие извлекается.

Ротационное формование широко используется для изготовления разнообразных изделий самой различной величины и формы: деталей приборов, корпусных деталей мебели, бочек и контейнеров, лодок и др. В настоящее время данная технология позволяет производить изделия объемом до 10 000 л с толщиной стенок 6-20 мм.

Ротационное формование имеет некоторые преимущества перед другими методами изготовления полых изделий: 1) простота изготовления крупногабаритных конструкций; 2) меньшая разнотолщинность изделий; 3) практическое отсутствие отходов полимера; 4) небольшой уровень остаточных напряжений в изделии; 5) низкая стоимость оборудования и оснастки; 6) экономичность процесса.

Основные недостатки метода: 1) большая длительность цикла формования; 2) плотность материала изделий меньше, чем тех же изделий, получаемых иным способом; 3) небольшая точность изготовления изделий.

В качестве материалов для получения изделий указанным методом применяются пасты на основе ПВХ, ПЭНП и ПЭВП и их смеси; ПЭ, наполненные техническим углеродом, ПА.

Последовательность основных технологических операций при ротационном формовании термопластов состоит из нескольких стадий. На стадии «а» происходит дозирование и загрузка сырья в холодную форму, на стадиях «б» и «в» последовательно осуществляются нагрев и охлаждение при одновременном ее вращении вокруг двух взаимно перпендикулярных осей, на стадии «г» готовое изделие извлекается из формы (рис. 1.10).

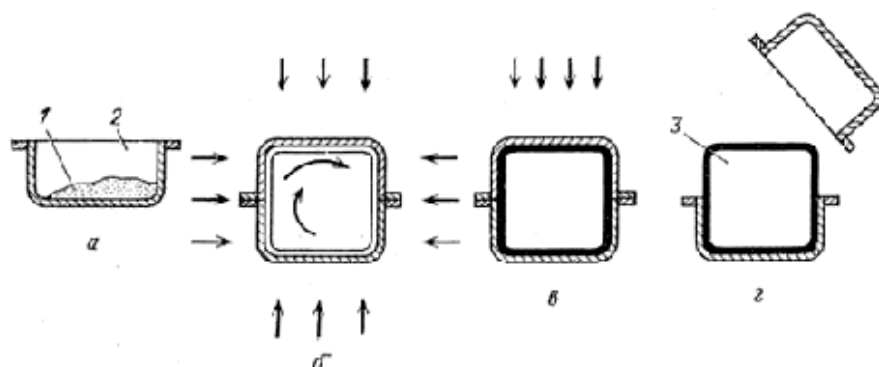


Рис.1.10. Схема метода ротационного формования (а-г – стадии формования):

1 – сырье; 2 – форма; 3 – готовое изделие

Для дозирования полимера применяется весовой метод, при этом масса полимера рассчитывается с учётом необходимости обеспечения заданной толщины стенки изделия.

Нагревание формы для установок непрерывного действия осуществляется в печах газовым пламенем, горячим воздухом или инфракрасным излучением. Обогрев газовым пламенем эффективен, однако его применение ограничено нагревом стальных форм (для нагрева форм из других металлов он не применяется во избежание разрушения их в результате перегрева). Обогрев горячим воздухом применяется при формовании изделий с малой толщиной стенок (до 1,5 мм). Инфракрасный обогрев эффективен для нагрева одиночных форм простой конфигурации. В последнее время для нагрева ротационных форм стали использовать расплавы солей, например смеси нитратов натрия и калия: расплавленная при температуре 473-573 К смесь разбрызгивается на поверхности вращающейся формы, равномерно прогревая ее стенки.

Формование изделия производится при вращении формы и равномерного распределения полимера по всей поверхности с одновременным нагреванием. Вращение формы необходимо только для того, чтобы осуществить равномерное распределение материала по её стенкам в результате перемещения порошка или гранулята под действием силы тяжести. По мере нагрева температура формы повышается, и порошок полимера плавится, происходит его налипание на стенки формы. Вязкость расплава достаточно велика для того, чтобы предотвратить перемещение материала относительно стенки формы до окончания процесса формования. После гомогенизации расплавленной композиции скорость вращения формы желательно увеличить для получения более монолитной оболочки изделия, чтобы за счёт центробежных сил уплотнить материал. Для удаления из полимера воздушных включений в форме можно создать вакуум и начать охлаждение. Продолжительность операции формования зависит от скорости нагревания формы и температуры плавления полимера. Продолжительность может быть опреде-

лена как экспериментально, так и получена в ходе моделирования процесса при разработке оборудования.

Охлаждение изделия производится при вращении формы за счёт обдувания её холодным воздухом или распылённой водой с воздухом. Температура формы в конце охлаждения должна быть ниже температуры стеклования для аморфных полимеров или температуры теплостойкости для кристаллизующихся.

Извлечение изделия производится после разборки формы. В зависимости от вида изделия и типа перерабатываемого полимерного материала используют формы с одной или несколькими плоскостями разъёма.

Изменяемыми технологическими параметрами процесса ротационного формования являются: частота вращения формы вокруг главной (горизонтальной) оси $N_{гп}$ и вокруг вторичной (вертикальной) оси $N_{в}$, соотношение частот вращения вокруг этих осей $M = N_{гп} / N_{в}$, температура нагрева формы $T_{ф}$ и время нагрева $t_{н}$, а также объёмные характеристики порошка. Параметры $N_{гп}$, $N_{в}$ и M определяют траекторию движения частиц относительно внутренней поверхности полости формы. Протекание процесса плавления материала зависит от теплофизических характеристик сырья, времени пребывания материала в вязкотекучем состоянии и параметров $T_{ф}$ и $t_{н}$. Выбор параметров технологического процесса ротационного формования в настоящее время производится только экспериментальным путем.

Формы для ротационного формования обычно изготавливают из металла: отливок из алюминия, листов мягкой стали, гальванической меди и никеля. Ввиду того, что качество поверхности готового изделия определяется состоянием формующей поверхности, при изготовлении формы особое внимание уделяется устранению трещин и пор в верхнем слое металла формы, контактирующем с изделием.

1.5. Выдувное формование

В зависимости от выбранного способа получения заготовки различают два метода выдувного формования: экструзионный и литьевой.

Экструзионный метод выдувного формования: с помощью экструдера формуется заготовка в виде трубки (рукава), которая затем поступает в форму, в которой происходит процесс формования изделия за счет создания внутри заготовки повышенного давления воздуха.

Благодаря большой производительности и высокому уровню автоматизации этот метод является в настоящее время основным способом формования полых изделий и, в результате ряда усовершенствований, позволяет получать изделия объёмом от единиц миллилитров до нескольких десятков и даже сотен литров.

Технологический процесс получения изделий методом экструзионно-выдувного формования складывается из следующих операций:

- гомогенизация расплава и выдавливание рукавной заготовки;
- раздув заготовки в форме и формование изделия;
- охлаждения изделия и его удаление из формы;
- окончательная обработка готовых изделий.

Для изготовления полых изделий применяются, как правило, экструдеры сравнительно небольших размеров с диаметром шнека 50-90 мм. Поскольку сопротивление головки относительно невелико, а основным требованием является получение расплава с высокой однородностью, длина шнека не превышает 15-18 D.

Расплавленный и гомогенизированный в экструдере материал выдавливается из головки вниз в виде трубчатой заготовки, которая попадает в открытую к этому моменту форму. После того как длина заготовки достигнет необходимой величины, полуформы смыкаются, зажимая нижний и верхний края заготовки своими бортами. При этом происходит сварка нижнего конца заготовки и оформление отверстия на её верхнем конце (или наоборот). После смыкания формы в неё через дорн или ниппель подается сжатый воздух, под действием которого размягченный материал рукава принимает конфигурацию внутренней полости формы.

Формование заготовки является важнейшей операцией, которая во многом определяет свойства и качества готового изделия. Поступающий в мундштук расплав должен быть однородным, иметь постоянную температуру по всему периметру заготовки и должен выдавливаться равномерно (без пульсации). При получении изделий, имеющих в сечении форму прямоугольника, эллипса и т. п., а также изделий сложной конфигурации сечение формующей щели делают неодинаковым: участки заготовки, которые раздуваются больше, должны иметь большую толщину. Следует иметь в виду, что выдавливаемая заготовка имеет большую толщину, чем сечение формующего зазора вследствие так называемого «разбухания» экструдата, носящего релаксационный характер. Разбухание экструдата определяется геометрией формующего канала, скоростью выдавливания заготовки. В значительной степени оно может быть учтено на стадии выбора технологом формующего инструмента. В целом разбухание рукава уменьшается с увеличением длины канала в головке, ростом температуры расплава. При увеличении скорости выдавливания заготовки разбухание возрастает. Изменение толщины стенки заготовки в результате растяжения можно уменьшить за счет снижения температуры расплава.

При формовании продолговатых и длинных изделий было отмечено, что из-за вытягивания пластичной заготовки под действием собственного веса толщина стенок верхней части изделия оказывается меньше, чем нижней части.

Разнотолщинность заготовки зависит от скорости выдавливания расплава, его вязкости и веса заготовки. Обычно формование заготовки ведут при минимально возможной температуре расплава и высокой ско-

рости экструзии. Минимальная разнотолщинность достигается при коэффициенте раздува 3-3,5.

В зависимости от конструкции изделия и формующего инструмента подача сжатого воздуха для формования изделия может производиться через дорн (сверху), через специальный ниппель (снизу) или через полую иглу (рис. 1.11). Последний способ применяется главным образом при производстве замкнутых изделий (без отверстия), так как формующее отверстие в этом случае очень мало и затягивается после удаления иглы разогретым материалом.

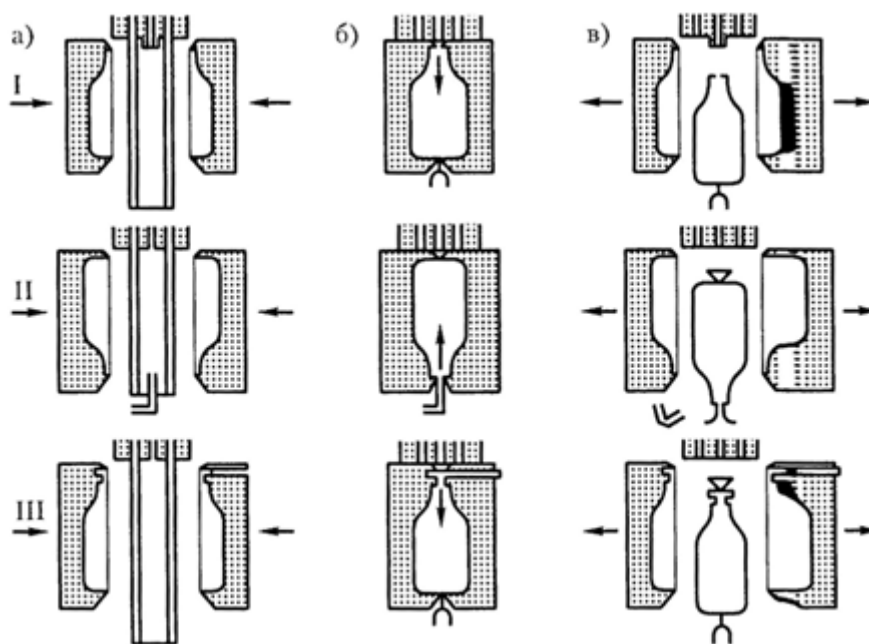


Рис. 1.11. Варианты подачи сжатого воздуха сверху (I), снизу (II), через дутьевую иглу (III):

а – смыкание полуформы; б – раздувание заготовки и охлаждение изделия; в – размыкание форм и съём изделия

Стадия раздува заготовки начинается после смыкания полуформ и защемления части контура будущего изделия пресс-кантами формы; одновременно трубчатая заготовка отделяется от формующей головки. Раздув заготовки первоначально носит «свободный» характер: изменение толщины происходит достаточно равномерно, и раздуваемый рукав имеет форму «пузыря». Затем расширяющаяся заготовка соприкасается с формой и охлаждается. На качество изделия на этой стадии процесса формования решающее влияние оказывают давление воздуха и температура заготовки. С увеличением давления улучшается качество поверхности, снижается коробление, уменьшается время охлаждения.

Стадия охлаждения начинается с момента контакта заготовки с поверхностью охлаждаемой формы и заканчивается после охлаждения наиболее толстых участков изделия, примыкающих к горловине или днищу. Преждевременное извлечение изделий сопровождается размягчением соседних с горловиной участков и их необратимым деформиро-

ванием. Основным фактором на этой стадии является температура формы. Она не только отражается на качестве готовых изделий, но и определяет производительность процесса, так как охлаждение составляет от 50 до 75 % времени цикла формования. Поэтому используют интенсивное охлаждение форм различными хладагентами, подачу в полость изделия охлажденного воздуха, водяного тумана, жидкого азота и углекислоты. Время охлаждения можно сократить понижением температуры расплава (оно может сопровождаться ухудшением качества поверхности готовых изделий) и повышением давления воздуха, что способствует улучшению теплоотдачи от изделия к стенке формы. После охлаждения изделия форма раскрывается, готовое изделие извлекается и направляется на окончательную обработку (удаление приливов, снятие заусенцев и т.п.).

Помимо экструдера, технологическая схема включает также механизм перемещения, разъёма и смыкания формы с гидравлическим или пневматическим приводом.

Так как процесс формования распадается на две неравные по продолжительности стадии: короткую стадию выдавливания заготовки и длительную – формования и охлаждения изделия, – то для повышения производительности большинство установок выполняется либо многопозиционными, с несколькими формами, либо снабжается двух- и более канальной формующей головкой, иногда с несколькими мундштуками на каждом из каналов.

Производство изделий методом экструзии с раздувом сопровождается образованием значительного количества отходов (до 35 %). Большая их часть вполне пригодна для повторной переработки на тех же установках после перевода их в гранулы. При этом количество добавляемых к свежему сырью отходов не должно превышать 30-40 %.

Литьевой метод выдувного формования предполагает получение заготовки методом литья под давлением.

В этом случае расплав из цилиндра термопластавтомата впрыскивается в литьевую форму и трубчатая заготовка оформляется в зазоре между стенками формы и внутренним пустотелым сердечником. Заготовке может быть придана необходимая форма, причём горловина, ручки, необходимые приливы на наружной поверхности оформляются сразу при литье. После окончания процесса литья форма размыкается, и сердечник вместе с горячей заготовкой перемещается в другую форму, где после смыкания полуформ осуществляется процесс раздува за счет подачи сжатого воздуха во внутреннюю полость. При этом размер изделия увеличивается, а толщина стенок уменьшается. Так как геометрическая форма заготовки задается заранее, этот метод позволяет получать сложные по конфигурации изделия, изделия с равномерной толщиной стенок и необходимым соотношением толщины стенок в разных его частях.

Наибольшее распространение получил другой вариант этой технологии, когда стадии отливки заготовки и её раздува разделены. Заготовка, называемая преформой, отливается в многогнездной форме на термопластавтомате и полностью охлаждается. Раздув заготовки осуществляется воздухом на специальном агрегате после её предварительного разогрева с последующим охлаждением в форме. Этим методом производятся бутылки для всевозможных безалкогольных напитков, минеральной воды и т.п. Разделение стадий формования заготовки и её раздува (как правило, у потребителя) позволяет достигнуть высокой производительности при изготовлении, как заготовок, так и готовых изделий.

Производство пустотелых изделий раздуванием позволяет уменьшить толщину их стенки, сокращает расход дорогостоящего полимерного материала вследствие отсутствия пресс-кантов и приливов, увеличивает прочность и улучшает внешний вид продукции.

Недостаток изделий, изготовленных этим методом, в том, что все изделия обладают способностью необратимо утрачивать свою форму при повышении температуры выше температуры размягчения, что накладывает ограничения на температурный интервал их эксплуатации.

2. ТЕРМОФОРМОВОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Весь ассортимент формовочных машин, осуществляющих технологические процессы термоформования изделий из полимерных заготовок, разделяют по следующим признакам: методу формования, виду управления, виду перерабатываемого материала, назначению, числу позиций.

Метод формования определяется способом создания движущей силы процесса деформирования исходной заготовки в готовое изделие.

Вид управления формовочным оборудованием задаёт степень автоматизации процесса формования пластмасс. Различают три основных вида управления: машины с ручным управлением, машины-полуавтоматы, машины-автоматы.

Машины с ручным управлением используют в мелкосерийном производстве. Все необходимые операции (вырезка и закрепление заготовки, её нагревание, формование, охлаждение и съём изделия) осуществляет оператор.

В машинах-полуавтоматах зажим заготовки и извлечение готового изделия производят вручную, а остальные операции (нагрев, формование, охлаждение) выполняются по заранее заданной программе.

Машины-автоматы не требуют постоянного присутствия оператора, операции по закреплению заготовки, нагрев, формование, вырубка и штабелирование готовых изделий осуществляются автоматически.

По виду перерабатываемого материала (виду используемых плоских полимерных заготовок) формовочное оборудование разделяют на классы:

- машины, работающие с отдельными листовыми или пленочными заготовками;
- машины, работающие с рулонными материалами;
- машины, перерабатывающие листы или плёнку, поступающую непосредственно с каландра или экструдера.

Следует отметить, что переработка отдельных плоских заготовок требует введения в технологический цикл дополнительной операции – предварительной подготовки заготовок (резка на необходимый размер), что увеличивает общее время цикла. Обычно переработка отдельных заготовок осуществляется на машинах с ручным или полуавтоматическим управлением.

Рулонные заготовки используют в формовочном оборудовании, работающем в автоматическом режиме.

Формовочные машины, перерабатывающие листы или плёнку, поступающую непосредственно с каландра или экструдера, входят, как правило, в состав автоматических линий. Поступающую с каландра плоскую заготовку из полимерного материала перерабатывают на формовочном оборудовании и направляют на дальнейшую обработку или на склад.

По назначению формовочные машины разделяют на:

- универсальные,
- специализированные,
- комбинированные.

На универсальных машинах малыми сериями изготавливают широкий спектр изделий всевозможных типоразмеров. Они предназначены для работы с одно- и многогнездными формами. На них перерабатывают различные термопластичные материалы.

Специализированные машины предназначены для производства только определённого типа изделий из конкретного полимерного материала.

На комбинированных формующих машинах выпускают средние и большие серии изделий. При изменении номенклатуры выпускаемых изделий оборудование переналаживают.

По числу позиций формовочные машины разделяют на следующие классы: однопозиционные, двух- и трёхпозиционные, многопозиционные.

На однопозиционном оборудовании все технологические операции осуществляют на одном и том же участке машины (рис. 2.1.).

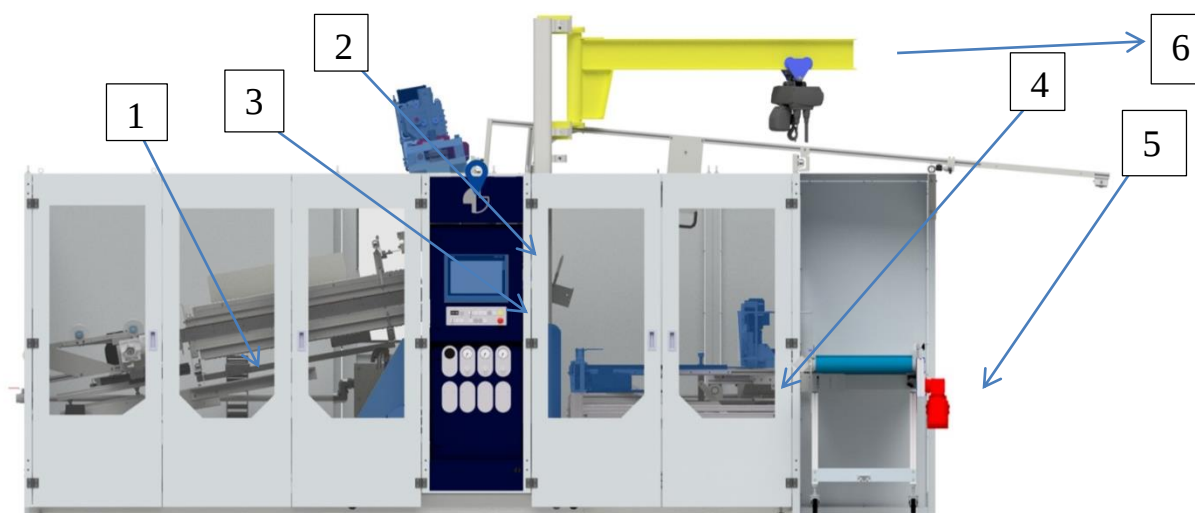


Рис. 2.1. Схема однопозиционной термоформовочной машины:
 1 – транспортировщик полимерной пленки; 2 – узел формования, вырубки, штабелирования (рис. 2.2); 3 – панель управления;
 4 – укладочное устройство; 5 – укладочный стол; 6 – кран-балка



Рис. 2.2. Узел формования, вырубки, штабелирования

Разделение технологических операций на два или три участка ускоряет процесс выпуска изделий. Применяют его на двух- или трехпозиционных машинах соответственно.

На многопозиционных машинах одновременно осуществляют все технологические операции производства изделий. Такое оборудование наиболее применимо в промышленном производстве. Оно характеризуется высокой производительностью. Многопозиционные машины, в свою очередь, разделяют на карусельные, ленточные и барабанные.

В карусельной многопозиционной машине использован принцип карусели. Заготовка движется по кругу, последовательно проходя стадии от закрепления, нагрева и формования до охлаждения и съёма готового изделия.

Ленточный принцип обычно применяют в тех случаях, когда питание машины осуществляется рулонным материалом. Лента с отформованными изделиями после формовочной машины движется дальше по конвейеру на последующую обработку.

В машинах барабанного типа также используют рулонный материал.

Примером многопозиционной машины с ленточным принципом работы является оборудование фирмы «Инпак». Схема термоформовочной машины приведена на рис. 2.3.

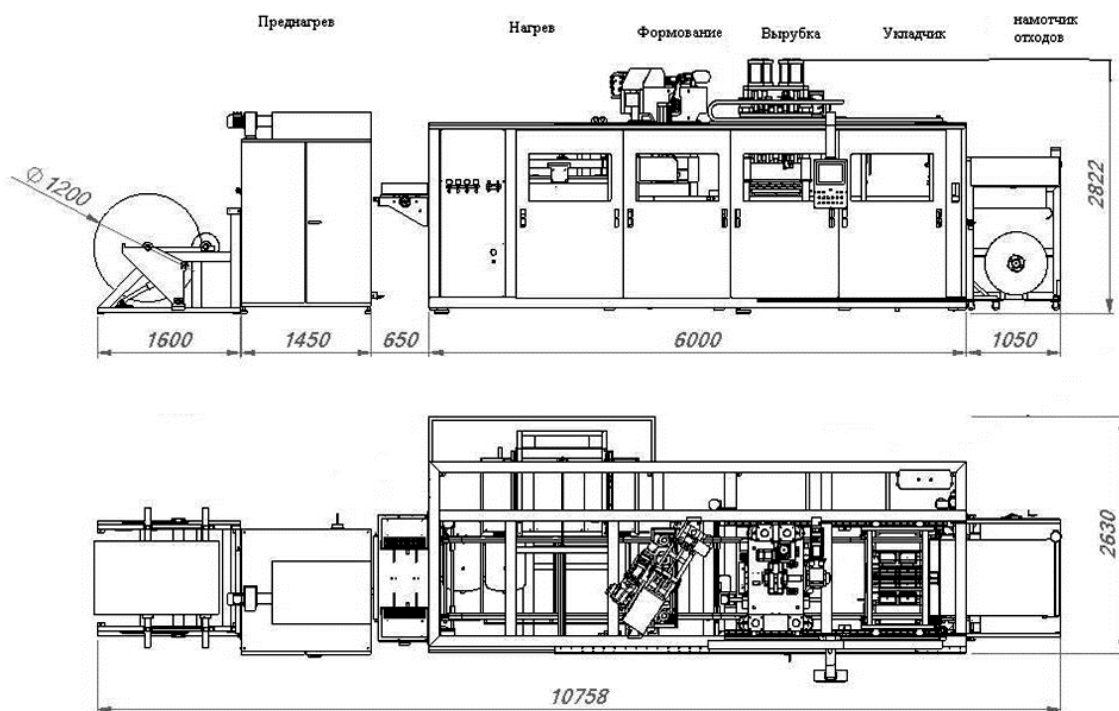


Рис. 2.3. Схема многопозиционной термоформовочной машины

Данное оборудование состоит из трёх отдельных станций: станции формования, станции вырубки изделий, станции укладки изделий. Помимо этого, машина может оснащаться четвёртой станцией для пробивания отверстий в изделии. Полимерная плёнка протягивается через станции машины цепью с шипами. В станции формования под воздей-

ствием сжатого воздуха происходит формирование изделия. Для этого может использоваться пресс-форма как для негативного, так и для позитивного термоформования. Далее изделия передвигаются в станцию вырубki, где их вырезают по контуру ленточными ножами. После этого изделия оставляют висеть в полимерной плёнке на тонких перемычках. Затем их транспортируют в станцию укладки. Укладчик вынимает изделия из плёнки и собирает их в стопки. Отформованная плёнка сматывается в рулон для дальнейшей переработки в дробильных установках.

Формовочное оборудование для реализации процессов термоформования часто снабжают дополнительными устройствами: для обрезки кромок, пробивки отверстий, вырубki, предварительной вытяжки и т.д. Такое оборудование может входить в состав технологических линий по производству и заполнению полимерной тары и упаковки.

Для переработки термопластов методами вакуум- и пневмоформования применяются вакуумформовочные машины, установки механопневмоформования, машины для непрерывного производства мелкой тары из рулонных материалов (включая агрегаты для наполнения и укупорки (рис. 2.4)) и др.

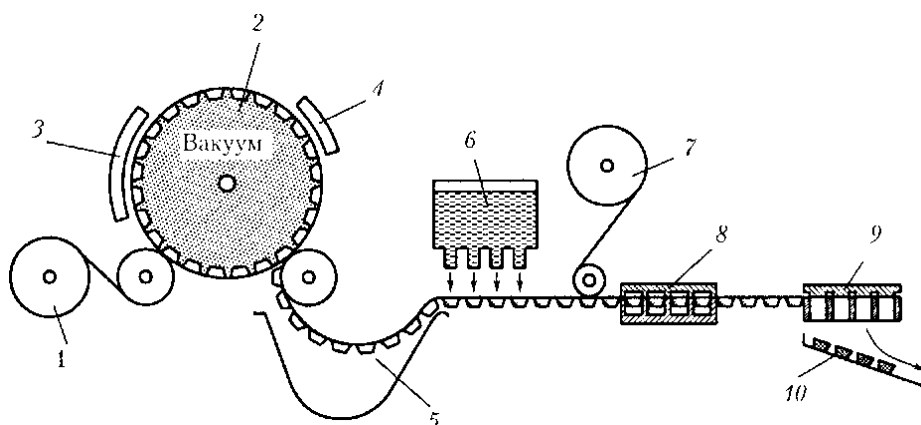


Рис. 2.4. Схема линии упаковки с вакуумформовкой тары:

- 1 – рулон плёнки; 2 – вакуумформовочный барабан;
- 3, 4 – нагреватели; 5 – охлаждающее устройство;
- 6 – заполнитель тары; 7 – верхняя покрывная плёнка;
- 8 – узел сварки; 9 – вырубное устройство; 10 – готовая продукция

Значительная часть машин и установок имеет ручное управление; вместе с тем используются агрегаты, как полуавтоматического типа, так и работающие по полностью автоматизированной схеме, а также устройства гидроформования с эластичной мембраной (рис. 2.5). В ряде случаев конструкция агрегата предусматривает получение листовой или плёночной заготовки. Поэтому технология изготовления изделий может меняться в широких пределах. Основные стадии процесса: раскрой и разрезка заготовок, их разогрев, формование изделий, механическая обработка готовых изделий (вырубка, сверление и др.), сборка, упаковка и транспортировка. В зависимости от особенностей конструкции изде-

лия, оборудования, применяемых материалов часть этапов в конкретных процессах может отсутствовать.

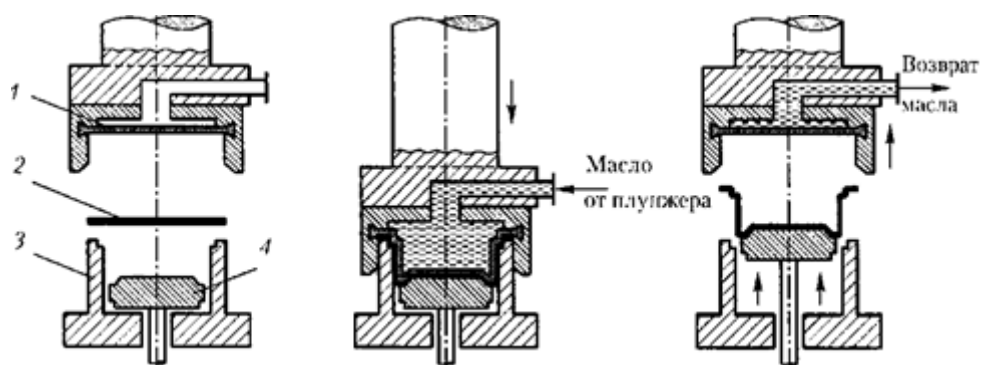


Рис. 2.3. Схема гидроформования с эластичной мембраной:

1 – мембрана; 2 – заготовка; 3 – матрица;

4 – оформляющий выталкиватель

Для резки листов на заготовки применяют гильотинные ножницы, раскалённую электрическим током проволоку, ленточные и дисковые пилы, а также разнообразные приспособления наподобие резак. При механической резке режущий инструмент (пилы, диски, фрезы) необходимо интенсивно охлаждать, а образующиеся опилки (стружку) удалять с помощью отсосов для сохранения качественной поверхности листа.

Одна из важнейших и наиболее длительная стадия технологического процесса – разогрев заготовки. Температурное поле разогретой заготовки должно быть максимально однородным как по её поверхности, так и по толщине; это затрудняется низкой тепло- и температуропроводностью большинства полимеров. При этом излишне высокая температура поверхности заготовки ведёт к термическому разложению полимера и ухудшению его эксплуатационных свойств.

Большинство машин и установок для пневмо- и вакуумформования оснащено теплорадиационными инфракрасными нагревателями; температуру заготовки можно регулировать изменением интенсивности нагрева по зонам и расстояния нагревателя от поверхности листа. Кроме того, нагрев листовых заготовок (особенно большой толщины) может осуществляться в нагревателях камерного типа или контактным способом с помощью нагреваемых плит. Наибольшее распространение получил метод контроля температуры заготовки по времени нагрева. Оптимальное время подбирается при предварительной отработке режима. В целом с повышением температуры формования механические характеристики готового изделия снижаются, а усадка растёт. Вместе с тем повышение температуры способствует более сильной ориентации, поэтому для получения равнопрочных изделий увеличивать температуру заготовки всё же целесообразно.

Процесс формования протекает с высокой скоростью, которая может регулироваться изменением формирующего перепада давления и

временем его достижения. При получении сравнительно неглубоких изделий скорость довольно высока, но она должна снижаться с увеличением глубины вытяжки во избежание разрыва заготовки или образования значительной разнотолщинности.

На качество изделий и производительность процесса существенно влияет температура формующего инструмента (матрицы, пуансона, прижимных рам), которая должна быть ниже температуры размягчения полимера. Излишнее снижение температуры, однако, способствует росту дефектности (морщины, складки), брака (коробление); увеличивается доля остаточных напряжений, которые всегда развиваются в изделии в процессе его формования. Поэтому температура формы не должна быть ниже 50-70 °С, а для ускорения процесса охлаждения и повышения производительности целесообразно использовать дополнительное воздушное охлаждение или охлаждение с помощью искусственного водяного тумана.

На заключительном этапе отформованные заготовки подвергают механической обработке: вырубке из листа отдельных изделий, зачистке, пробивке (или сверлению) отверстий и т.д. С этой целью используют механические и гидравлические прессы, ножницы, специальные штампы (холодные и горячие), ленточные или дисковые зачистные станки.

Для формования изделий из листовых и плёночных термопластов характерно значительное количество отходов на различных стадиях процесса (до 30-35 %). Подавляющее большинство их может быть успешно использовано для вторичной переработки при своевременном сборе, измельчении и правильном хранении (в условиях, исключающих загрязнение). Значительные размеры отходов при вырезке заготовок вынуждают предусматривать их предварительное измельчение на ленточных пилах или гильотинных ножницах с последующей грануляцией или дроблением на роторных измельчителях.

3. ТЕРМОФОРМУЮЩИЙ ИНСТРУМЕНТ

Метод термоформования листовых и плёночных термопластов использует большую гамму самой разнообразной технологической оснастки (проймы, матрицы, пуансоны формующие и вытяжные, натяжные рамы и т.д.). При этом существуют варианты использования одной и той же оснастки в сочетании с разнообразными технологическими приёмами.

Технологическую оснастку для термоформования объёмных изделий из листовых и плёночных термопластов можно классифицировать по выполняемой функции:

- на оформляющую оснастку, которая придаёт заготовке, формируемой с помощью вакуума или сжатого воздуха, вид готового изделия (например, проймы при свободном формовании);
- формующую оснастку, которая сама непосредственно формирует заготовку и придаёт ей форму готового изделия (например, матрицы при негативном формовании);
- вспомогательную оснастку, которая используется для предварительной механической вытяжки перед формованием или для других вспомогательных целей (изделие не воспроизводит геометрию вспомогательной оснастки).

По методу осуществляемого на данной оснастке формования её можно разделить на проймы (для свободного формования), негативную, позитивную и негативно-позитивную.

По методу установки на оборудование оснастка делится на стационарную и съёмную, по числу одновременно формируемых изделий – на одно- и многогнездную.

Технологическая оснастка для термоформования может быть жёсткой и эластичной; разъёмной; двухсторонней; со вставными или закладными подвижными или неподвижными знаками; с термостатированием или без него.

Невысокие рабочие давления, используемые при термоформовании, позволяют применять для изготовления формирующей оснастки материалы с относительно низкими прочностными показателями. Выбор материала зависит в первую очередь от количества формируемых деталей и от требований к их качеству. Установлено, что деревянные формы выдерживают до 500 формовок, гипсовые – до 50, формы из каменного литья и из литевых полимерных компаундов – свыше 500. На формах из слоистых пластиков, цветных металлов и стали можно получить неограниченное число изделий.

Для производства единичных образцов и малых серий изделий наиболее широко применяются деревянные формы. Для изготовления форм используется древесина ольхи, клёна, вяза, липы, вишни, груши, бука или красного дерева. Можно использовать фанеру. При изготовлении форм необходимо учитывать, что древесина даёт разную усадку

вдоль и поперёк волокон. На практике это затрудняет получение изделий с размерами, требующими большой точности. Поэтому формы делают из тщательно просушенной и пропитанной клеем древесины с параллельным расположением волокна. Для улучшения качества поверхности и уменьшения износа деревянные формы часто покрывают эпоксидными смолами с последующей пескоструйной обработкой или шлифованием и полировкой.

Хорошие теплоизоляционные свойства древесины способствуют тому, что на поверхности изделий никогда не образуется пятен переохладения. Однако при длительной непрерывной работе формы возможен её перегрев, что, естественно, приводит к замедлению цикла. В этих случаях рекомендуется один раз в 5-7 циклов обдувать деревянную форму с помощью вентилятора или воздушного пистолета.

У деревянных форм не рекомендуется делать какие-либо подвижные вставки, так как в этом случае возможное количество отформовок с этой формы может снизиться почти в 10 раз. Элементы форм соединяют на шурупах, а не крепят гвоздями или клеем. Это даёт возможность легко заменять отдельные вышедшие из строя детали.

В тех случаях, когда поверхность формы не покрыта слоем эпоксидной смолы, полезно покрывать поверхность дерева лаком, чтобы предохранить его поры от попадания влаги. Эта операция выполняется разбрызгивателем или кистью.

Для производства единичных изделий выгодны гипсовые формы. Их получают простой отливкой с модели из глины, гипса, пластилина, дерева или металла. Форма должна быть тщательно высушена. Рекомендуется проводить воздушную сушку продолжительностью от трёх дней до недели в зависимости от размеров формы.

Если форму нужно срочно использовать, то после естественной просушки поверхностного слоя её можно поместить в сушильный шкаф. Температура сушки около 50 °С. Форма, высушенная при комнатной температуре, при прочих равных условиях, несколько долговечнее формы, подвергнутой ускоренной сушке.

Для изготовления форм можно применять гипс разных марок, однако наиболее пригодны формы из модельного гипса или смеси гипса с алебастром. После отливки и просушки гипсовой матрицы её прочность можно повысить пропиткой 30 %-ным раствором железного или медного купороса, а также разбавленным раствором жидкого стекла.

Гипсовая форма должна иметь развитую опорную поверхность, на которой недопустимы сколько-нибудь значительные неровности.

Гипсовые формы пористы, поэтому эвакуационные (вентиляционные) отверстия в них предусматриваются лишь в местах, нуждающихся в наиболее интенсивном отсосе. Однако при необходимости срочного изготовления формы, когда нет времени ждать полного высыхания массивных элементов, предусматривают обычное количество отверстий.

Для увеличения долговечности гипсовых форм успешно используется их армирование волокнами или тканями. Иногда применяют проволоочный каркас. Для увеличения поверхностной прочности форму можно снаружи обработать жидким стеклом, но при этом нужно предусматривать обычное число вентиляционных отверстий. При конструировании гипсовых форм учитывается изменение их линейных размеров при высыхании.

Для средних сроков работы применяют формы, отлитые из фенольных, полиэфирных или эпоксидных смол. Модель для отливки формы может быть выполнена из дерева, гипса, глины и т.п. В качестве разделительного слоя при отливке применяют восковые композиции. Чтобы избежать пор внутри формы, раковин и каверн на её поверхности, заливку композиций лучше проводить с вакуумированием. Если форма массивная, то заливка ведётся в несколько приёмов, что позволяет уменьшить остаточные напряжения в готовой форме. При необходимости форму армируют стекломатериалами, а для укрепления ответственных мест, таких как верхний кант, тонкие знаки и т.п., используют металлические вставки. Наиболее равномерную усадку дают холодноотверждающиеся композиции, например: эпоксидная смола – 100 массовых частей (м. ч.), полиэтиленполиамин – 10-12 м. ч., дибутилфталат – 10-12 м. ч., мелкодисперсный порошок железа – 200 м. ч. Можно использовать и другие составы.

После отверждения смолы рекомендуется термообработка формы в сушильном шкафу: 1 ч при 30 °С, 2 ч при 40 °С, 2 ч при 60 °С и 7 ч при 65 °С. Затем форма должна оставаться в выключенном шкафу до полного остывания.

После отверждения вновь отлитая форма подвергается пескоструйной обработке, шлифуется и полируется.

Для охлаждения полимерных форм простой конфигурации достаточно использовать охлаждающую рубашку, служащую одновременно упрочняющим элементом. В формах со сложной геометрией предусматривают обычно охлаждающие каналы. Для этого заранее из металлической трубки делают змеевик с таким расчётом, чтобы контур, образуемый трубкой, располагался на одинаковом расстоянии 6-10 мм от кромки формы. Змеевик устанавливают на место, фиксируют проволокой и заливают компаунд.

Для получения вентиляционных каналов сразу после заливки литевой композиции в заранее предусмотренные места вставляют стальную проволоку, диаметр которой соответствует размерам будущих каналов. На поверхность проволоки предварительно наносится разделительная смазка. Приблизительно через 1,5-2 ч проволока удаляется, а на её месте остаются необходимые отверстия для удаления воздуха.

Процесс изготовления форм из каменного литья очень близок к процессу производства форм из литевых полимерных смол. Формы малых габаритов лучше не армировать. Время полной готовности формы –

примерно 30 ч. Дополнительная обработка после этого срока не рекомендуется, так как она приводит к ухудшению эксплуатационных свойств формы. Кроме того, такая обработка связана с большой трудоёмкостью.

Вентиляционные каналы в формах из каменного литья легче всего получать, закладывая в соответствующие места перед заливкой каменной массы проволоку, хорошо смазанную по поверхности жиром, который является лучшим разделительным слоем. Вынимают эту проволоку примерно через 14 ч после заливки формы. Каменное литье вызывает коррозию металлов, поэтому, если невозможно обойтись без арматуры, следует использовать армирующие элементы лишь с соответствующим защитным покрытием. Для придания прочности форме и удлинения её срока службы рёбра, пазы, выступы и тому подобные элементы можно армировать стекловолокном.

Для охлаждения форм в процессе их работы в каменную массу могут быть заделаны змеевики (порядок их установки такой же, как и при изготовлении форм из литевых полимерных смол). Через эти змеевики в процессе отверждения каменной массы рекомендуется пропускать воду с целью отбора тепла, выделяющегося при реакции отверждения.

Для длительных сроков службы применяют металлические или покрытые металлом формы. Обычно используют алюминий и его сплавы, латунь, магниевые сплавы, сплавы электролитного цинка и сталь. Наибольшее распространение получили формы, отлитые из цветных металлов и, в частности, из сплавов алюминия. Их, как правило, изготавливают литём по деревянным или пластмассовым моделям в землю. Затем отливка подвергается механической обработке. Иногда алюминиевые формы изготавливают из сплошной заготовки с применением только механической обработки. Последний метод предпочтителен для производства стального формующего инструмента. Формы из лёгких сплавов хорошо обрабатываются, имеют высокое качество поверхности, хорошо отводят тепло, позволяют изготовить большое количество отформовок. Непосредственно при литье в эти формы могут быть залиты змеевики, выполненные из более теплостойких металлов, например стальные. Положительным фактором является и небольшая масса этих форм. При изготовлении модели следует учитывать усадку металла при литье. Так, для алюминиевых сплавов она составляет примерно 0,8 %.

Стальные формы используются в основном на автоматических линиях высокой производительности. При изготовлении стальных форм хорошего качества рабочих поверхностей рекомендуется достигать за счёт нанесения на них медно-никелевого или хромового покрытия. При производстве форм для машин с ручным и полуавтоматическим управлением сталь получила наибольшее распространение не при изготовлении пуансонов и матриц, а как материал для вспомогательных элементов, например опорных плит и тому подобных частей, изготовление которых из литых заготовок экономически необоснованно.

В связи с большой стоимостью металлических форм их целесообразно применять только тогда, когда количество формируемых изделий оправдывает затраты на изготовление формирующего инструмента (рис 3.1).

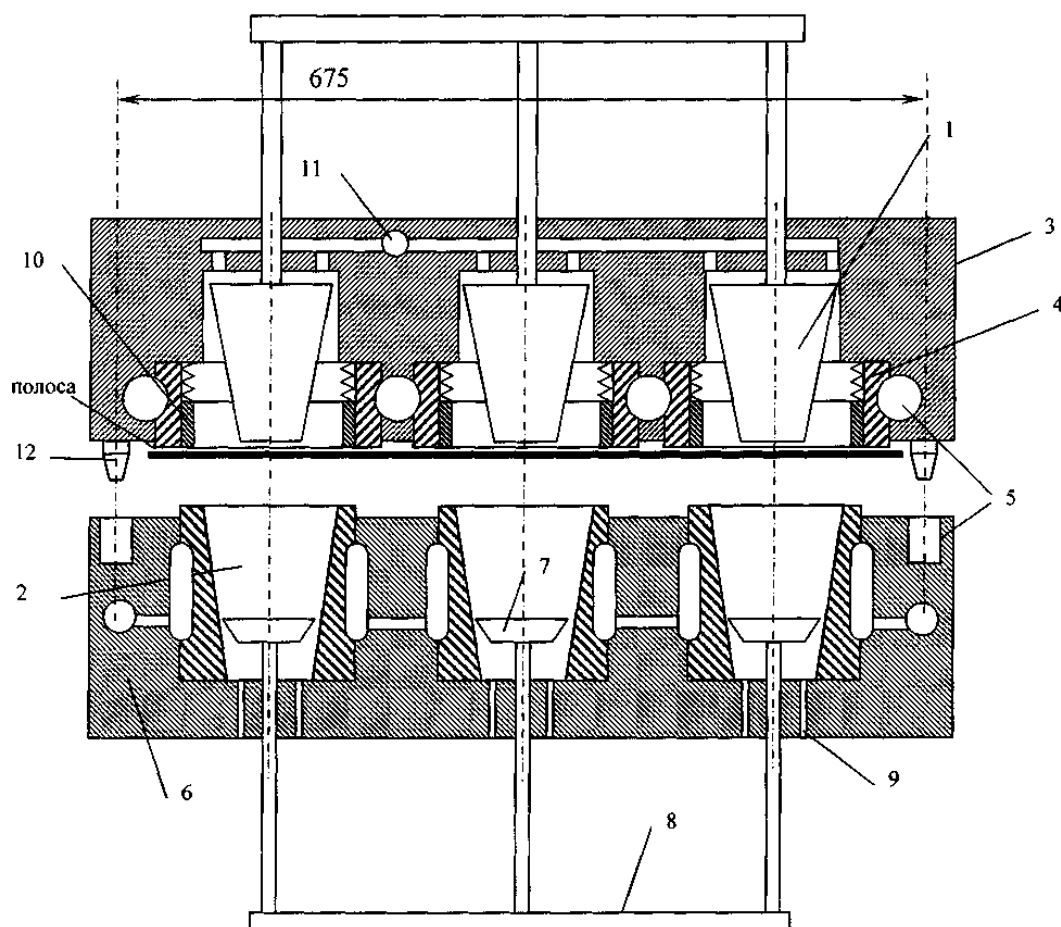


Рис. 3.1. Принципиальная схема устройства пресс-формы для производства одноразовой посуды из полипропилена:

1 – пуансон; 2 – матрица; 3 – корпус верхней половины; 4 – верхний вырубной нож; 5 – каналы системы охлаждения; 6 – корпус нижней половины; 7 – донце; 8 – система подъёма донцев; 9 – каналы отвода воздуха; 10 – прижим; 11 – канал подвода сжатого воздуха; 12 – центрирующие направляющие

Матрицы, или так называемые формообразующие вставки, также производятся из сплавов алюминия путём механической обработки. Для изделий сложной формы применяются станки с числовым программным управлением.

Пуансон предварительного растяжения, используемый для производства высококачественных изделий, рекомендуется производить из материала «синтактическая пена». Синтактическая пена — композитный материал, вид газонаполненных пластиков, наполнителями в которых служат полые сферические частицы (из синтетических полимеров, стекла и др.), равномерно распределенные в полимерном связующем.

Наличие пустотелых частиц в толще материала обеспечивает его малую плотность, повышенную прочность, пониженный коэффициент теплового расширения. Большое разнообразие видов данного материала позволяет подобрать необходимые характеристики в зависимости от применяемого полимера.

Для длительных сроков эксплуатации кроме металлических форм применяют также и гальвано-бетонные. Последние состоят из тонкостенного оформляющего знака (скорлупы), который помещается в металлическую обойму и заливается неметаллическими опорными массами, например бетоном.

Инструмент для механической вытяжки изготавливают преимущественно из цементируемых конструкционных сталей, эластичные пуансоны и матрицы для механического формования производят из резиновых смесей методом вулканизации на прессе. Возможно применение вспененной резины.

Для изготовления форм иногда применяют материалы типа папье-маше с лаковым или эпоксидным покрытием. Разработаны рецептуры для производства прочных полимербетонных форм. Изготавливаются также специальные формы путём напыления металлического покрытия на хлопчатобумажную ткань.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что является исходным материалом для термоформования?
2. Из каких стадий состоит термоформование?
3. Чем отличается пневмоформование от вакуумформования? В каком из этих способов используются более высокие давления формования?
4. Чем различаются негативное, позитивное и свободное формование?
5. В чём особенность процесса формования с предварительной вытяжкой?
6. Каковы особенности процесса штампования?
7. Из каких стадий состоит процесс ротационного формования?
8. В чём выражаются особенности выдувного формования?
9. По каким классификационным признакам разделяют термоформовочное оборудование?
10. Из каких узлов состоит многопозиционная термоформовочная машина?
11. На какие категории классифицируют термоформовочную оснастку?
12. Какие материалы применяются для изготовления термоформовочной оснастки?

4. РАСЧЁТЫ

4.1. Размеры листовой заготовки

Размеры листовой заготовки можно вычислить по формуле:

$$L = Nl + 2z + (N - 1) \cdot z_1, \quad (4.1)$$

где L – размер листовой заготовки;

N – число изделий, расположенных вдоль искомой стороны заготовки;

l – размер изделия;

z – припуск на зажим (лежит в пределах от 10 до 100 мм в зависимости от размеров и конфигурации изделия, а также от конструкции зажимного устройства);

z_1 – расстояние между гнездами.

4.2. Расчёт массы готового изделия и коэффициента полезного использования материала

Массу изделия, имеющего прямоугольную форму, рассчитывают по формуле:

$$m_{\text{из}} = l \times b \times s \times \rho, \quad (4.2)$$

где l – длина изделия, м;

b – ширина изделия, м;

s – толщина листа, м;

ρ – плотность материала, кг/м³. Справочные значения плотности полимерных материалов приведены в Приложении.

Массу изделия, имеющего круглую форму, находят по формуле:

$$m_{\text{из}} = \pi \times r^2 \times s \times \rho, \quad (4.3)$$

где r – радиус изделия, м.

Расчёт коэффициента полезного использования материала производят по формуле:

$$K_{\text{пол}} = \frac{m_{\text{из}} \cdot n}{m_{\text{заг}}}, \quad (4.4)$$

где $m_{\text{из}}$ – масса готового изделия, кг;

$m_{\text{заг}}$ – масса листовой заготовки, кг;

n – количество гнёзд в форме, шт.

4.3. Расчёт нормы расхода сырья

Норму расхода сырья на производство одного изделия методом термоформования вычисляют по формуле:

$$H_p = \frac{m_{\text{заг}}}{n}. \quad (4.5)$$

Расход сырья на производство одного изделия определяют по формуле:

$$G_{\text{из}} = H_p \cdot K_p, \quad (4.6)$$

где K_p – расходный коэффициент (коэффициент расхода).

Расходный коэффициент может быть принят или рассчитан по данным действующего производства, или может быть вычислено его нормативное значение.

Нормативный расходный коэффициент при производстве изделий методом термоформования учитывает безвозвратные потери и возвратные отходы и может быть рассчитан по формуле:

$$K_p = 1 + K_1 + K_2 + K_3 + K_4, \quad (4.6)$$

где K_1 – коэффициент, характеризующий потери материала на протягивание полимерного материала через узлы агрегата (могут использоваться повторно), зависит от типа агрегата, принимается равным 0,02;

K_2 – коэффициент, учитывающий потери материала на настройку агрегата до выхода готовой продукции (могут использоваться повторно), принимается равным 0,01;

K_3 – коэффициент, характеризующий безвозвратные потери материала (плёнка и изделия, которые имеют загрязнения, не допускающие повторного использования), принимается равным 0,003;

K_4 – коэффициент, учитывающий безвозвратные потери при нагревании (угар, летучие), принимается равным 0,001.

Пример. Рассчитать массу готового изделия, долю отходов, норму расхода сырья и расход сырья на единицу изделия при производстве контейнера из ПП следующих размеров: длина – 179 мм, ширина – 132 мм. Исходные данные: толщина листа 0,5 мм, количество гнёзд формы – 16 шт., ширина листа – 695 мм, длина листа – 806 мм, плотность ПП – 900 кг/м³.

Решение.

1. Найдём массу изделия:

$$m_{\text{из}} = l \times b \times s \times \rho = 0,179 \cdot 0,132 \cdot 0,0005 \cdot 900 = 0,0106 \text{ кг.}$$

2. Рассчитаем массу изделий за один такт работы:

$$m_{1\text{т}} = m_{\text{из}} \cdot n = 0,0106 \cdot 16 = 0,1696 \text{ кг.}$$

3. Вычислим массу заготовки:

$$m_{\text{заг}} = l \times b \times s \times \rho = 0,695 \cdot 0,806 \cdot 0,0005 \cdot 900 = 0,2521 \text{ кг.}$$

4. Определим массу отходов:

$$m_{\text{отх}} = m_{\text{заг}} - m_{1\text{т}} = 0,2521 - 0,1696 = 0,0825 \text{ кг.}$$

5. Рассчитаем долю отходов:

$$\alpha_{\text{отх}} = \frac{m_{\text{отх}}}{m_{\text{заг}}} \cdot 100 = \frac{0,0825}{0,2521} \cdot 100 = 32,7 \text{ \%}.$$

6. Вычислим норму расхода на одно изделие:

$$H_p = \frac{m_{\text{заг}}}{n} = \frac{0,2521}{16} = 0,0158 \frac{\text{кг}}{\text{ед.}}$$

7. Найдём расходный коэффициент:

$$K_p = 1 + K_1 + K_2 + K_3 + K_4 = 1 + 0,02 + 0,01 + 0,003 + 0,001 = 1,034.$$

8. Определим расход сырья на производство одного изделия:

$$G_{\text{из}} = H_p \cdot K_p = 0,0158 \cdot 1,034 = 0,0163 \frac{\text{кг}}{\text{ед.}}$$

4.4. Расчёт толщины стенки термоформованных изделий

Упрощённая оценка толщины стенки термоформованного изделия возможна, когда известна первоначальная толщина неформованного материала. В зависимости от конструкции изделия и конечного неравномерного распределения толщины стенки, необходимо учесть разброс $\pm 30\%$ в последующих расчётах. При таком расчёте необходимо принять, что объём материала не изменяется при формовании.

Таким образом, используют следующее равенство:

$$V_1 = V_2,$$

и, соответственно:

$$F_1 \times s_1 = F_2 \times s_2,$$

из чего следует:

$$s_2 = \frac{F_1}{F_2} \times s_1. \quad (4.7)$$

где V_1 – объём материала без зажимного фланца;

V_2 – объём термоформованного изделия;

F_1 – площадь поверхности материала без зажимного фланца;

F_2 – площадь поверхности изделия;

s_1 – толщина исходного материала;

s_2 – толщина стенки изделия.

Пример расчёта толщины стенки

а) Определение толщины стенки термоформованного изделия прямоугольной формы

Изделие, представленное на рис. 4.1, имеет следующие размеры: $a = 1000$ мм, $b = 1000$ мм, $c = 500$ мм, $L = 1100$ мм, $B = 1100$ мм. Найти толщину стенки в формованном изделии s_2 .

Решение.

1. Используем эти размеры для определения площадей и их соотношения:

$$\begin{aligned} F_1 &= L \times B = 1100 \cdot 1100 = 1210000 \text{ мм}^2, \\ F_2 &= L \times B + 2bc + 2ac = 1100 \cdot 1100 + 2 \cdot 1000 \cdot 500 + 2 \cdot 1000 \cdot 500 = \\ &= 3210000 \text{ мм}^2, \\ \frac{F_1}{F_2} &= \frac{1210000}{3210000} = 0,377, \\ \frac{F_2}{F_1} &= \frac{3210000}{1210000} = 2,653. \end{aligned}$$

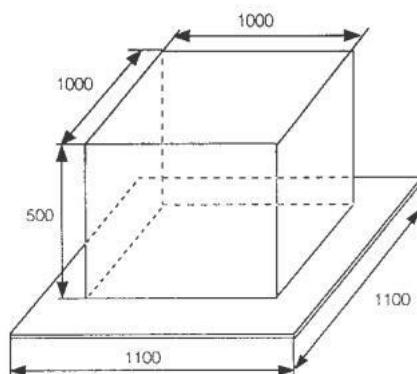


Рис. 4.1. Термоформованное изделие прямоугольной формы

2. При толщине материала $s_1 = 4$ мм и однородном распределении толщины стенки в термоформованном изделии получаем:

$$s_2 = \frac{F_1}{F_2} \times s_1 = 0.377 \cdot 4 = 1,508 \text{ мм.}$$

3. Из-за флуктуаций толщины стенки в формованном изделии на практике действительная толщина стенки будет составлять:

$$s_{2\text{действ}} = s_2 \pm 30 \% = 1,508 \pm 0,452 \approx \text{от } 1,06 \text{ до } 1,96 \text{ мм.}$$

б) Определение необходимой толщины материала, если толщина стенки изделия задана

Деталь, показанная на рис. 4.1, должна иметь среднюю толщину стенки $s_2 = 2$ мм. Вычислить толщину материала s_1 .

Решение.

1. Получаем следующую расчётную толщину материала:

$$s_1 = \frac{F_2}{F_1} \times s_2 = 2,653 \cdot 2 = 5,306.$$

Из-за неравномерного распределения толщины стенки толщина материала должна быть выбрана на 30 % больше:

$$s_{1\text{действ}} = s_1 + 30 \% = 5,306 + 1,592 = 6,898 \text{ мм.}$$

в) Определение толщины стенки цилиндрического термоформованного изделия

Изделие, приведённое на рис. 4.2, имеет следующие размеры: диаметр основания $D_1 = 480$ мм, диаметр цилиндра $D_2 = 400$ мм, высота $h = 330$ мм. Толщина исходного материала $s_1 = 3$ мм. Определить толщину стенки изделия s_2 .

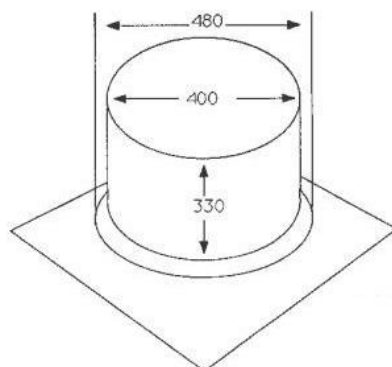


Рис. 4.2. Цилиндрическое термоформованное изделие

Решение.

1. Рассчитаем площадь основания цилиндра:

$$F_1 = \pi \frac{D_1^2}{4} = \pi \frac{480^2}{4} = 180956 \text{ мм}^2,$$

2. Найдём площадь боковой поверхности цилиндра:

$$M = \pi \times D_2 \times h = \pi \cdot 400 \cdot 330 = 414690 \text{ мм}^2.$$

3. Вычислим площадь готового изделия:

$$F_2 = F_1 + M = 180956 + 414690 = 595646 \text{ мм}^2,$$

4. Определим толщину стенки изделия s_2 :

$$s_2 = \frac{F_1}{F_2} \times s_1 = \frac{180956}{595646} \cdot 3 = 0,911 \text{ мм.}$$

5. Из-за флуктуаций толщины стенки в формованном изделии действительная толщина стенки будет составлять:

$$s_{2\text{действ}} = s_2 \pm 30 \% = 0,911 \pm 0,273 \approx \text{от } 0,64 \text{ до } 1,18 \text{ мм.}$$

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

1. Определить размер листовой заготовки материала (длину и ширину) при условиях, указанных в табл.
2. Найти массу готового изделия по данным, приведённым в табл.
3. Рассчитать норму расхода сырья и расход сырья при производстве изделия, используя данные табл.

Таблица

Данные для расчётов

№ варианта	Геометрические размеры, мм.			n, шт	Толщина заготовки, мм	Материал	Z, мм	Z ₁ , мм
	Длина	Ширина	Диаметр					
1	179	132	-	4 в 2 ряда	0,5	ПП	20	10
2	210	148	-	5 в 3 ряда	0,6	ПС	25	10
3	197	155	-	4 в 2 ряда	0,8	ПЭНП	25	15
4	180	165	-	4 в 2 ряда	0,7	ПП	25	15
5	190	144	-	4 в 2 ряда	0,9	ПС	25	10
6	238	166	-	4 в 3 ряда	0,5	ПЭТ	30	10
7	187	137	-	4 в 2 ряда	0,6	ПП	25	10
8	-	-	75	5 в 2 ряда	1,0	ПП	20	15
9	-	-	95	7 в 3 ряда	1,2	ПЭТ	20	10
10	-	-	70,6	6	0,4	ПП	20	15

4. Рассчитать толщину стенки термоформованного изделия, имеющего следующие геометрические размеры: $a = 194$ мм, $b = 131$ мм, $c = 50$ мм, $L = 210$ мм, $B = 147$ мм, толщина материала 0,6 мм.

5. Рассчитать толщину стенки термоформованного изделия, имеющего следующие геометрические размеры: $a = 211$ мм, $b = 162$ мм, $c = 60$ мм, $L = 227$ мм, $B = 178$ мм, толщина материала 0,7 мм.

6. Рассчитать толщину стенки термоформованного изделия, имеющего следующие геометрические размеры: $a = 222$ мм, $b = 150$ мм, $c = 75$ мм, $L = 238$ мм, $B = 166$ мм, толщина материала 0,8 мм.

7. Вычислить толщину исходного материала для производства методом термоформования изделия, имеющего следующие геометрические размеры: $a = 170$ мм, $b = 90$ мм, $c = 70$ мм, $L = 186$ мм, $B = 106$ мм, толщина стенки 0,5 мм.

8. Вычислить толщину исходного материала для производства методом термоформования изделия, имеющего следующие геометрические размеры: $a = 155$ мм, $b = 105$ мм, $c = 40$ мм, $L = 171$ мм, $B = 121$ мм, толщина стенки $0,1$ мм.

9. Вычислить толщину исходного материала для производства методом термоформования изделия, имеющего следующие геометрические размеры: $a = 235$ мм, $b = 180$ мм, $c = 55$ мм, $L = 251$ мм, $B = 196$ мм, толщина стенки $0,2$ мм.

10. Определить толщину стенки термоформованного изделия, имеющего следующие геометрические размеры: диаметр основания $D_1 = 115$ мм, диаметр цилиндра $D_2 = 90$ мм, высота $h = 125$ мм, толщина исходного материала $s_1 = 2,3$ мм.

11. Определить толщину стенки термоформованного изделия, имеющего следующие геометрические размеры: диаметр основания $D_1 = 75$ мм, диаметр цилиндра $D_2 = 60$ мм, высота $h = 80$ мм, толщина исходного материала $s_1 = 3,1$ мм.

12. Определить толщину стенки термоформованного изделия, имеющего следующие геометрические размеры: диаметр основания $D_1 = 100$ мм, диаметр цилиндра $D_2 = 80$ мм, высота $h = 110$ мм, толщина исходного материала $s_1 = 1,5$ мм.

13. Рассчитать толщину заготовки для термоформованного изделия, имеющего следующие геометрические размеры: диаметр основания $D_1 = 95$ мм, диаметр цилиндра $D_2 = 55$ мм, высота $h = 100$ мм, требуемая толщина стенки $s_2 = 0,2$ мм.

14. Рассчитать толщину заготовки для термоформованного изделия, имеющего следующие геометрические размеры: диаметр основания $D_1 = 60$ мм, диаметр цилиндра $D_2 = 45$ мм, высота $h = 55$ мм, требуемая толщина стенки $s_2 = 0,1$ мм.

15. Рассчитать толщину заготовки для термоформованного изделия, имеющего следующие геометрические размеры: диаметр основания $D_1 = 125$ мм, диаметр цилиндра $D_2 = 100$ мм, высота $h = 90$ мм, требуемая толщина стенки $s_2 = 0,4$ мм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шварцманн П. Термоформование. Практическое руководство / под ред. А. Иллига. – СПб.: Профессия, 2007. – 288 с.
2. Шерышев М.А. Технология переработки полимеров: изделия из полимерных листов и плёнок : учебное пособие для вузов. – Москва : Издательство Юрайт, 2020. – 644 с.
3. Шерышев М.А. Производство изделий из полимерных листов и плёнок. – СПб.: Научные основы и технологии, 2011. – 556 с.
4. Шерышев М.А. Технология переработки термопластичных листов и плёнок в объёмные изделия: учебное пособие. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2004. – 156 с.
5. Шерышев М.А., Пылаев Б.А. Пневмо- и вакуумформование. – Л.: Химия, 1975. – 96 с.
6. Ким В.С., Шерышев М.А. Оборудование заводов пластмасс. В 2 ч. Часть 2 : учебное пособие для вузов. – Москва : Издательство Юрайт, 2020. – 301 с.
7. Крыжановский В.К. Производство изделий из полимерных материалов: учеб. пособие / В.К. Крыжановский, М.Л. Кербер, В.В. Бурлов, А.Д. Паниматченко. – СПб.: Профессия, 2004. – 464 с.
8. Шварц О. Переработка пластмасс / О. Шварц, Ф.-В. Эбелинг, Б. Фурт; под общ. ред. А.Д. Паниматченко. – СПб.: Профессия, 2005. – 320 с.
9. Основы технологии переработки пластмасс: учебник для вузов / С.В. Власов, Л.Б. Кандырин, В.Н. Кулезнев и др. – М.: Химия, 2004. – 600 с.
10. Завгордний В.К., Калинин Э.Л., Махаринский Е.Г. Оборудование предприятий по переработке пластмасс. – Л.: Химия, 1972. – 464 с.
11. Шембель А.С., Антипина О.М. Сборник задач и проблемных ситуаций по технологии переработки пластмасс: учеб. пособие для техникумов. – Л.: Химия, 1990. – 272 с.
12. Головкин Г.С. Проектирование технологических процессов изготовления изделий из полимерных материалов. – М.: Химия, КолосС, 2007. – 399 с.
13. Тадмор З., Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров. – М.: Химия, 1984. – 632 с.
14. Басов Н.И., Казанков Ю.В., Любартович В.А. Расчёт и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов: учеб. для вузов. – М.: Химия, 1986. – 488 с.
15. Басов Н.И., Брагинский В.А., Казанков Ю.В. Расчёт и конструирование формующего инструмента для изготовления изделий из полимерных материалов: учебник для вузов. – М.: Химия, 1991. – 352 с.
16. Шерышев М.А. Технология переработки полимеров: формующий инструмент: учебное пособие для вузов. – Москва : Издательство Юрайт, 2020. – 157 с.

17. Шерышев М.А. Основы конструирования формующего инструмента для переработки пластмасс: учебное пособие. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2007. – 152 с.
18. Технология переработки полимеров. Инженерная оптимизация оборудования: учебное пособие для вузов / А.С. Клинков, М.А. Шерышев, М.В. Соколов, В.Г. Однолько. – Москва : Издательство Юрайт, 2020. – 386 с.
19. Торнер Р.В., Акутин В.С. Оборудование заводов по переработке пластмасс. – М.: Химия, 1986. – 400 с.
20. Оленев В.А., Мордкович Е.М., Калошин В.Ф. Проектирование производств по переработке пластических масс. – М.: Химия, 1982. – 256 с.
21. Швецов Г.А., Алимова Д.У., Барышникова М.Д. Технология переработки пластических масс: учебник для техникумов. – М.: Химия, 1988. – 512 с.
22. Технические свойства полимерных материалов: учеб-справ. пособие / В.К. Крыжановский, В.В. Бурлов и др. – СПб.: Профессия, 2005. – 248 с.
23. Калинин Э.Л., Саковцева М.Б. Выбор пластмасс для изготовления и эксплуатации изделий: справочник. – Л.: Химия, 1987. – 416 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Плотность пластмасс

Материал	Плотность, кг/м ³
Капролон	1150-1160
Капрон	1130
Полиамид-6 (ПА-6)	1130
Полиамид-6.6 (ПА-6.6)	1140
Полиамид-6.10 (ПА-6.10)	1100
Поливиниловый пластикат	1340-1400
Поликарбонат (ПК)	1200
Полиметилметакрилат литьевой (ПММА)	1180-1200
Полипропилен марки 01020 (ПП)	900
Полистирол (ПС)	1050
Полистирол ударопрочный (УПС)	1060
Полиэтилен высокой плотности (ПЭВП)	945-970
Полиэтилен низкой плотности (ПЭНП)	918-935
Полиэтилентерефталат (ПЭТФ)	1400
Текстолит	1380

Учебное текстовое электронное издание

**Андрушко Иван Николаевич
Пономарев Антон Павлович
Мишурина Ольга Алексеевна**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ТЕРМОФОРМОВАНИЯ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПЛАСТМАСС**

Учебное пособие

1,31 Мб

1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2020 год
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»
Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,
пр. Ленина 38

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
Кафедра химии
Центр электронных образовательных ресурсов и
дистанционных образовательных технологий
e-mail: ceor_dot@mail.ru