

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

• ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ •

Министерство образования Российской Федерации
Тамбовский государственный технический университет

***ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ
ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ***

Лабораторный практикум
для студентов 3 и 4 курса специальности 170505

Тамбов
• ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ •
2001

УДК 678.053.2
ББК Л 710.5я 73-5

Технология переработки полимерных материалов: Лабораторный практикум / Под ред. В. Е. Галыгин, П. С. Беляев, А. С. Клинков, Н. А. Чайников, Н. В. Павлов, О. Г. Маликов, С. Н. Хабаров. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2001. 132 с.

Лабораторные работы предлагаемого цикла знакомят студентов с перспективными, наиболее распространенными в промышленности методами производства изделий из полимерных материалов, влиянием основных технологических параметров на свойства и качество изделий, производительность оборудования.

Предназначены для студентов, обучающимся по специальности 170505 для закрепления теоретического курса "Технология переработки полимерных материалов" и приобретения практических навыков.

УДК 678.053.2
ББК Л 710.5я 73-5

© Тамбовский государственный
технический университет
(ТГТУ), 2001

© Галыгин В. Е., Беляев П. С.,
Клинков А. С., Чайников Н. А.,
Павлов Н. В., Маликов О. Г.,
Хабаров С. Н.

Учебное издание

Галыгин Владимир Егорович,
Беляев Павел Сирафимович,
Клинков Алексей Степанович,
Чайников Николай Александрович,
Павлов Николай Васильевич,
Маликов Олег Григорьевич,
Хабаров Сергей Николаевич

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Лабораторный практикум

Редактор З. Г. Чернова
Инженер по компьютерному макетированию Е. В. Кораблева

ЛР № 020851 от 13.01.99

П_{лр} № 020079 от 28.04.97

Подписано в печать 25.09.2001

Гарнитура Times. Формат 60 × 84/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Объем: 7,7 усл. печ. л.; 7,8 уч.-изд. л.

Тираж 100 экз. С. .

Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина "Технология переработки полимерных материалов" является одной из профилирующих для специальности 170505 и предполагает подготовку будущих инженеров-механиков к практической деятельности в области переработки пластмасс и резиновых смесей. Дисциплина направлена на изучение технологических процессов, с помощью которых исходный полимерный материал превращается в изделие с заранее заданными эксплуатационными свойствами. В настоящее время число разнообразных методов переработки пластмасс и резиновых смесей достигает нескольких десятков. Изучению наиболее перспективных из них способствует выполнение лабораторных работ предлагаемого лабораторного практикума, состоящего из 14 работ в 7, 8 семестрах.

Каждая лабораторная работа должна выполняться в два этапа:

- Закрепление и углубление теоретических знаний, анализ особенностей процессов получения и переработки полимерных материалов. Теоретический материал к лабораторным работам студент должен предварительно изучить по лекциям и рекомендуемой литературе.

- Практическая часть. К практической части выполнения лабораторной работы допускаются только те студенты, которые получили положительную оценку за теоретический материал. Второй этап выполняется студентами в лабораториях кафедры в следующей последовательности:

- 1 На рабочем месте ознакомиться с инструкцией по охране труда и технике безопасности при работе на перерабатывающем оборудовании, установленном в лаборатории.

- 2 Изучить технологическую схему.

- 3 Определить рабочие параметры изучаемого процесса.

По окончании каждый студент готовит отчет о проделанной работе в соответствии с планом, приведенным в конце описания каждой лабораторной работы. Все схемы и эскизы, выполненные в лабораторном журнале, должны соответствовать ЕСКД.

Лабораторная работа 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: изучить основные способы определения технологических свойств полимерных материалов, ознакомиться с применяемым оборудованием и приборами, экспериментально провести определение основных технологических свойств полимеров.

Оборудование и приборы: термошкаф, вибростол с набором сеток, весы технические, секундомер, прибор для определения угла естественного откоса, капиллярный вискозиметр (ИИРТ), прибор для определения насыпной плотности.

Предварительная подготовка

- 1 Изучить существующие методы определения технологических свойств полимерных материалов [1, с. 16 - 20, 30 - 42; 2, с. 6 - 16; 3, с. 43 - 46].

- 2 Ознакомиться с применяемым оборудованием и приборами.

Порядок проведения работы

- 1 Ознакомиться с инструкцией по охране труда и технике безопасности при работе на вибростите и приборе ИИРТ.
- 2 Определить содержание влаги в порошкообразном полимерном материале. Влажность полимерных порошков не должна превышать 0,05 %.
- 3 Определить сыпучесть полимерного порошка, характеризуемую углом естественного откоса. Порошки с углом естественного откоса более 43° не пригодны для формования изделий.
- 4 Определить гранулометрический состав порошков.
- 5 Определить насыпную плотность полимерных порошков.
- 6 Определить удельный объем расплава термопластичного полимерного материала.

Методические указания

Технологические свойства исходных материалов оценивают по величине влажности, сыпучести, гранулометрическому составу, насыпной плотности, удельному объему и другим показателям, предусмотренным технологическим регламентом.

Определение содержания влаги и летучих веществ

В чистый, предварительно взвешенный бюкс помещают около 5 г испытуемого материала и взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,001 г. Открытый бюкс помещают в термостат и выдерживают в течение 30 минут при $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$. После этого открытый бюкс переносят в эксикатор для охлаждения материала до комнатной температуры. Затем бюкс закрывают и вторично взвешивают вместе с материалом.

Относительное содержание влаги и летучих веществ (%) рассчитывают по формуле:

$$X = \frac{G_1 - G_2}{G_1 - G} 100, \quad (1.1)$$

где G_1 , G_2 - масса бюкса с материалом до и после удаления летучих веществ соответственно, г; G - масса бюкса, г.

Определение сыпучести порошкообразных и гранулированных материалов

Сыпучесть полимерных материалов обуславливается их гранулометрическим составом и влажностью. Ее можно определять тремя способами: по углу естественного откоса, по времени опорожнения стандартной воронки и по углу обрушения.

Определение сыпучести по углу естественного откоса

Методика основана на измерении угла между горизонтальной плоскостью и образующей конуса, самопроизвольно создаваемого сыпучим материалом.

Для определения сыпучести используют приспособление, показанное на рис. 1.1. Оно состоит из основания 1, с нанесенными концентрическими окружностями диаметром 100 - 600 мм через каждые 10 мм, стойки 2 со шкалой для измерения высоты, подвижной планки 3, способной перемещаться в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Полый цилиндр 4 (диаметром 100 мм и высотой 300 мм) устанавливают на основание 1, совмещая его с окружностью 100 мм. Насыпают в него 2 л полимерного материала и поднимают строго вертикально вверх с одинаковой скоростью во всех экспериментах. Рассыпаясь, материал приобретает форму, близкую к конической.

Повторив эксперимент 5 - 6 раз, каждый раз фиксируют высоту конуса h и его диаметр D . По среднему арифметическому значению этих измерений рассчитывают угол естественного откоса α по формуле (1.2):

$$\alpha = \frac{\text{arctg } h}{D/2}. \quad (1.2)$$

Коэффициент внутреннего трения M , также характеризующий сыпучесть, определяют по формуле:

$$M = \text{tg } \alpha. \quad (1.3)$$

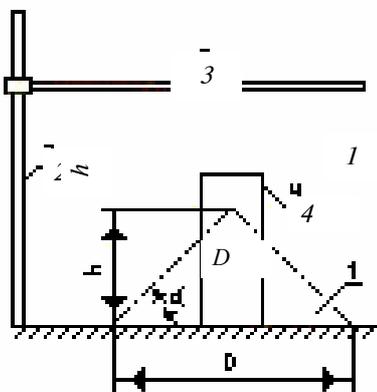


Рис. 1.1 Схема приспособления для измерения сыпучести материала по углу естественного откоса

Определение гранулометрического состава порошков

Для определения гранулометрического состава порошков применяют набор

сит с размерами ячейки 0,8; 0,4; 0,2; 0,1; 0,09; 0,08 мм, закрепляемый на вибростол. Каждое из сит взвешивается на технических весах с точностью до 0,01 г. Через сита просеивают пробу порошка массой 100 г. Продолжительность рассеивания должна быть не менее 20 мин. По окончании отсева взвешиванием определяется количество порошка на каждом из сит. Операцию рассеивания повторяют не менее трех раз. Среднеарифметические значения фракций частиц порошка разных размеров заносят в табл. 1.1.

1.1 Гранулометрический состав порошковых материалов

Материал	Содержание фракций, %					
	0,8	0,8 - 0,4	0,4 - 0,2	0,2 - 0,1	0,1 - 0,09	0,09 - 0,08

Определение удельного объема расплавов полимеров

Удельный объем расплавов термопластичных полимеров определяют на приборе ИИРТ, снабженном комплектом капилляров (с отношением длины к радиусу 4 - 7).

Определение удельного объема осуществляется следующим образом. Расплав полимера экструдуют при соответствующей температуре в цилиндре и давлении на поршень, через капилляр определенных геометрических размеров. По показаниям индикатора часового типа фиксируют путь, пройденный поршнем в течение определенного отрезка времени (30 - 45 с в зависимости от вязкости расплава). Одновременно определяют массу экструдата, полученного в течение того же отрезка времени. Удельный объем измеряют через каждые 4-5 мин (в течение 30 - 35 мин) до получения постоянной величины.

Удельный объем (в м³/кг) рассчитывают по формуле

$$V_{уд} = \frac{\pi D^2 h}{4G}, \quad (1.4)$$

где D - диаметр цилиндра, м; h - путь, пройденный поршнем, м; G - масса экструдата, кг.

Опыт проводят при различных значениях температуры, нагрузки на поршень и геометрических размеров капилляров, строят графики зависимостей

$$V_{уд} = f(T) \text{ и } V_{уд} = f(P),$$

где T - температура, °С; P - давление, МПа.

Определение насыпной плотности пресс-порошков

Насыпная плотность является важной характеристикой порошкообразного пресс-материала, так как она определяет размеры загрузочной камеры или загрузочной полости формы, а также выбор способа дозирования материала. Насыпную плотность определяют, исходя из массы порошка, заполняющего при свободном насыпании сосуд с определенным объемом. Насыпная плотность зависит от тонины помола, гранулометрического состава и влажности пресс-материала, а также от технологии его изготовления и продолжительности хранения.

Насыпную плотность определяют с помощью прибора волюметра (рис. 1.2).

Волюметр состоит из колонки 1, четырех стеклянных полочек 2, воронки 3, в которую засыпается порошок, и воронки 4, через которую высыпается порошок. Стеклянные полочки закреплены под углом 30° к вертикали по две в противоположных стенках колонки.

Порошок из воронки, расположенной в верхней крышке прибора, пересыпается по наклонным полочкам, принимает равномерно разрыхленную структуру и через нижнюю воронку попадает в сосуд известного объема и массы. Избыток порошка снимается с сосуда стальной линейкой. Наполненный сосуд взвешивается на весах.

Насыпная плотность порошка рассчитывается по формуле:

$$\rho_{нас} = \frac{m}{V}, \quad (1.5)$$

где m - масса порошка, кг; V - объем порошка, м³.

Насыпная плотность является характеристикой обратной удельному объему, и

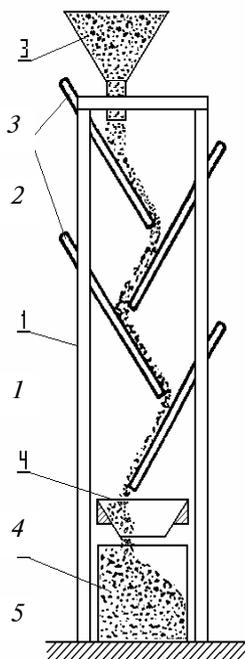


Рис. 1.2 Схема прибора для определения насыпной

может быть рассчитана по формуле

$$\rho_{\text{нас}} = \frac{1}{V_{\text{уд}}}. \quad (1.6)$$

Отчет

- 1 Описание предварительной подготовки по рекомендуемой литературе.
- 2 Схемы установок и приборов для определения технологических свойств.
- 3 Основные расчетные формулы и таблицы для регистрации экспериментальных данных.
- 4 Результаты вычислений.
- 5 Графические зависимости.

Контрольные вопросы

- 1 Что такое влажность полимерного материала, в каких единицах она измеряется?
- 2 Дайте краткую характеристику известных способов определения сыпучести порошкообразных полимерных материалов.
- 3 Какими параметрами характеризуется гранулометрический состав полимерных порошков.
- 4 На какие параметры формования изделий из полимерных материалов оказывает влияние насыпная плотность порошкообразного или гранулированного материала.
- 5 Физический смысл удельного объема расплава полимера, основные способы его определения?
- 6 Влияние технологических свойств полимерных материалов на качество получаемых изделий.

Лабораторная работа 2

ИЗГОТОВЛЕНИЕ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

Цель работы: получение практических навыков по составлению рецептур резиновых смесей, изучение технологии смешения на вальцах, а также ознакомление с современным промышленным смесительным оборудованием.

Оборудование: вальцы лабораторные Лб 160/160, весы технические, секундомер, термощкаф, мерная посуда.

Предварительная подготовка

- 1 Изучить ингредиенты резиновых смесей, специфику их действия на технологические и прочностные свойства резиновых смесей и вулканизатов [1, с. 360 - 368].
- 2 Изучить технологию процесса смешения на вальцах [4, с. 20 - 47, 124 - 198, 252 - 276].
- 3 Ознакомиться с современным технологическим оборудованием для изготовления резиновых смесей [1, с. 360 - 368; 4, с. 20 - 47, 124 - 198, 252 - 276].

Порядок выполнения работы

- 1 Ознакомиться с инструкцией по охране труда и технике безопасности при работе на вальцах.
- 2 Составить рецептуру резиновой смеси, рассчитать и провести дозирование навесок ингредиентов и подготовить их к смешению.
- 3 Ознакомиться с принципом действия и конструкцией валковых смесителей.
- 4 На лабораторных вальцах изготовить резиновую смесь.

Методические указания

Резиновая смесь представляет собой сложную композицию, состоящую из связующего - каучука и различных ингредиентов (добавок), предназначенных для улучшения физико-механических, эксплуатационных и других свойств материала.

Основные ингредиенты резиновых смесей - наполнители, пластификаторы (мягчители), вулканизирующие агенты, ускорители и активаторы вулканизации, стабилизаторы, противозатвердеватели, красители и др.

В основе получения резиновой смеси лежит процесс смешения. Все ингредиенты, предназначенные для смешения,

должны быть соответствующим образом подготовлены: измельчены, высушены, нагреты и т.д.

Составление рецептуры резиновой смеси

При подготовке ингредиентов к смешению большое значение имеет рецептура и их развеска.

Рецепты резиновых смесей следует составлять в определенной последовательности, что гарантирует от ошибок и пропусков при взвешивании ингредиентов. Обычно применяют следующую последовательность записей: 1) каучук, 2) регенерат, тиокол, полиизобутилен или другие заменители каучука; 3) сера; 4) ускорители вулканизации; 5) активаторы вулканизации; 6) противостарители; 7) усилители и наполнители, 8) мягчители; 9) специальные ингредиенты (красители, порообразователи).

По одному из заданных вариантов рецептур резиновых смесей (табл. 2.1) рассчитывают навески ингредиентов. Общую навеску загрузки определяют по формуле

$$G = V\rho, \quad (2.1)$$

где V - объем единовременной загрузки, м³; ρ - плотность резиновой смеси, кг/м³.

Плотность резиновой смеси может быть рассчитана по формуле

$$\rho_{см} = \frac{\sum m_i}{\sum v_i}, \quad (2.2)$$

где m_i и v_i - соответственно масса и объем каждого ингредиента резиновой смеси.

Объем единовременной загрузки на вальцы определяют по формуле

$$V = 0,065DL, \quad (2.3)$$

где D - диаметр рабочей поверхности вала, м; L - длина рабочей поверхности вала, м; 0,065 - эмпирический коэффициент.

Так как смешение ингредиентов реализуется на лабораторных вальцах, то допустимая величина загрузки составит 2000 г. Расчет навески отдельного ингредиента следует вести, исходя из этой величины загрузки, по формуле

$$P_i = G \frac{g_i}{\sum_{i=1}^{i=n} g_i}, \quad (2.4)$$

где g - содержание отдельного ингредиента на 100 массовых частей каучука; $\sum g$ - массовое содержание всех ингредиентов, входящих в состав смеси на 100 массовых частей каучука; i - номер ингредиента; n - число ингредиентов в смеси.

Пример расчета величины навесок ингредиентов для рецепта № 2 (см. табл. 2.1).

Для опыта потребуется: каучука - 830,0 г; серы - 24,9 г; каптакса - 7,5 г; неозона - 8,3 г; стеарина - 10,0 г; сажи - 600 г; смолы - 17 г; фталевого ангидрида - 4,3 г., белил цинковых - 498 г.

Правильность расчета проверяется суммированием масс всех навесок; их сумма должна дать массу загрузки, т.е. 2000 г.

Подготовка к смешению материалов - порошкообразные и жидкие ингредиенты, каучук - развешивают в соответствии с технологической картой, где указана величина навески каждого ингредиента для лабораторных вальцов. Взвешивание производится на технических весах.

2.1 Рецептура приготовления резиновых смесей

Составные части	Рецепт № 1		Рецепт № 2		Рецепт № 3		Рецепт № 4	
	массовые части	% масс.						
СКН-26М	100	34,7						
СКИ-3					100	24,2		
СКН-40М							100	63,3
НК пласт.			100	41,5				
сера	1,5	0,52	3,0	1,25	1,6	0,4	0,5	0,32
каптакс			0,9	0,37	1,2	0,3		
тиурам	2,5	0,87			0,1	0,02		
ДТДМ							0,8	0,52
продукт-НГ-2246	1,0	0,4						

неозон Д	1,0	0,4	1,0	0,42	1,1	0,26	1,2	0,78
стеарин	2,0	0,7	1,2	0,50	2,0	0,48		
сажа ПМ-15			72,4	30,0			12,0	7,6
сажа ПМ-75							30,0	18,9
сажа ПС-50	40,0	13,87						
сажа белая					20,0	4,83		
ДБФ	20,0	6,94						
канифоль							1,2	0,78
мазут							9,0	5,69
смола сосновая			2,0	0,83				
масло вазелиновое					20,0	4,83		
сульфенамид							0,8	0,52
мел					160	38,8		
каолин					60,0	14,5		
литопон					40,0	9,7		
пигмент					2,0	0,48		
фталевый ангидрид			0,5	0,23				
белила цинковые	120	41,6	60,0	24,9	5,0	1,2	2,5	1,59
ИТОГО:	288	100	241	100	413	100	158	100

Вязкие материалы (мазут, сосновая смола и др.) необходимо разогреть в термошкафу для уменьшения их вязкости. Их не развешивают, а отмеряют, пользуясь вымеренной тарой.

Для качества смеси большое значение имеет точность, с которой производится взвешивание.

Недопустимы погрешности, превышающие отклонения, связанные с точностью весов и величиной навески. Допустимой считается погрешность, не превышающая 0,04 % грузоподъемности весов. Отклонение от массы, превышающее допустимое, свидетельствует о небрежной работе при выполнении задания.

Приступая к работе необходимо проверить чистоту рабочего места, где производится развеска; чистоту и исправность приборов, оборудования и инструментов (весы, совки и др.); наличие чистой посуды для материалов; убедиться в том, что ингредиенты в достаточном количестве и расставлены в установленном порядке.

При развеске ингредиентов необходимо соблюдать следующие правила: серу и ускорители взвешивают отдельно; мягчители отвешивают в отдельную посуду, проверенную на герметичность; нельзя развешивать влажные и непросеянные ингредиенты; после того, как все ингредиенты взвешены и укомплектованы их помещают на стеллаж около смесительного оборудования в порядке загрузки в машину.

Изготовление резиновой смеси

Качественное смешение ингредиентов резиновой смеси предопределяет получение резинотехнических изделий с высокими механическими показателями. Достижение этой цели возможно только при правильном выборе смесительного оборудования и осуществления процесса смешения в оптимальном режиме. Обычно процесс смешения резиновых смесей производится на вальцах непрерывного и периодического действия, в закрытых резиносмесителях периодического действия или в смесителях непрерывного действия.

Смешение подготовленных ингредиентов необходимо провести на лабораторных вальцах. Поэтому составной частью работы является практическое ознакомление с навыками работы на валковых смесителях. Основными элементами лабораторных вальцов, принципиальная схема которых показана на рис. 2.1, являются передний 1 и задний 2 валки, к которым крутящий момент подводится от электродвигателя 7 через редуктор 6, приводные 5 и фрикционные шестерни 12.

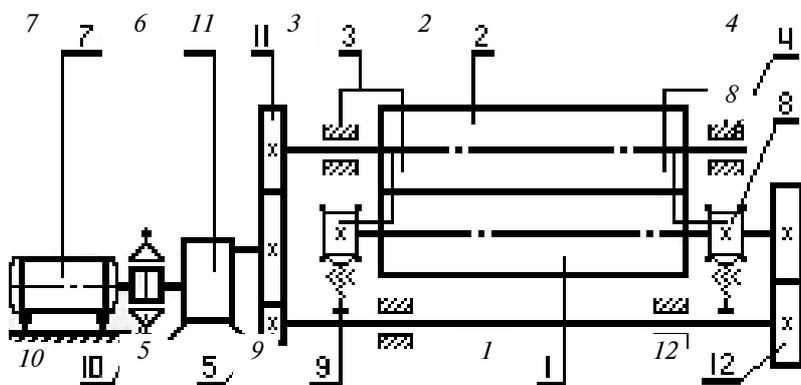


Рис. 2. Принципиальная схема вальцов

Для предотвращения попадания перерабатываемой смеси в подшипники 4 и 8 предусмотрены ограничительные стрелы 3. Межвалковый зазор регулируется с помощью механизмов 9, упорные винты которых воздействуют на подвижные подшипники 8 переднего вала 1. С целью аварийного останова вальцов предусмотрен тормоз 10.

Аварийный выключатель представляет собой мощный электромагнит, действующий на тормоз колодочного типа. С помощью аварийного выключателя можно остановить вальцы из любого положения.

Для изготовления резиновой смеси на лабораторных вальцах необходимо знать регламент смешения, который предписывается технологической картой. В ней указывается: 1) время введения каждой группы ингредиентов, общая длительность цикла; 2) порядок и целесообразные приемы введения ингредиентов; 3) температура валков; 4) минимальный зазор между валками, определяющий толщину резинового слоя; 5) фрикция между валками.

Для заданных вариантов рецептур резиновых смесей (табл. 2.1) предписывается следующий регламент смешения.

Рецепт № 1: 1) каучук СКН-26м - 0 мин; 2) продукт НГ-2246 - 8 мин.; 3) сера и неозон Д - 11 мин; 4) стеарин и сажа ПС-50 - 12 мин, 5) 0,5 частей белил цинковых и 0,5 частей ДБФ - 15 мин; 6) 0,5 частей белил цинковых и 0,5. частей ДБФ - 18 мин; 7) охлаждение на валках - 23 мин; 8) тиурам - 28 мин; 9) срез готовой резиновой смеси – 30 - 32 мин. Зазор между валками - 4 мм. Величина фрикции - 1 : 1,17. Температура переднего вала - 338 К, заднего - 348 К.

Рецепт № 2: 1) каучук НК пластифицированный - 0 мин; 2) фталевый ангидрид - 4 мин; 3) 0,5 частей сажи ПМ-15 и 0,5 частей сосновой смолы - 6 мин; 4) 0,5 частей сажи ПМ-15 и 0,5 частей сосновой смолы - 9 мин; 5) каптакс, неозон Д, белила цинковые и стеарин - 6 мин; 6) сера - 8 мин; 7) снятие готовой смеси - 13 мин. Зазор между валками - 4 мм. Величина фрикции между валками – 1 : 1,17. Температура переднего вала - 343 К, заднего - 333 К.

Рецепт № 3: каучук СКИ-3 - 0 мин; 2) неозон Д, белила цинковые, каптакс, пигмент, тиурам, стеарин, литопон, каолин - 3 мин; 3) сажа белая, мел, вазелиновое масло - 6 мин; 4) сера - 11 мин; 5) выгрузка готовой смеси - 12 мин. Зазор между валками - 2 мм; величина фрикции между валками - 1:1,17. Температура переднего вала - 343 К, заднего - 333 К.

Рецепт № 4: 1) каучук СКН-40 М - 0 мин; 2) канифоль - 5 мин; 3) сульфенамид, продукт ДТДМ и неозон Д и белила цинковые - 9 мин; 4) сажа ПМ-15 и 0,5 части мазута - 13 мин; сажа ПМ-75 и 0,5 части мазута - 23 мин; 6) охлаждение смеси - 28 мин; 7) сера - 33 мин; 8) выгрузка готовой смеси - 35 мин. Зазор между валками - 4 мм. Величина фрикции – 1 : 1,17. Температура переднего вала - 333 К, заднего - 343 К.

Как видно из приведенных регламентов, процесс смешения состоит из трех операций: а) разогревание и пластикация каучука; б) введение в каучук (или его смесь с другим каучуком) необходимых ингредиентов; в) перемешивание и листование смеси.

Перед смешением на вальцах необходимо установить межвалковый зазор, нагреть валки до заданных температур, проверить работу аварийного устройства и далее, в соответствии с регламентом изготовить резиновую смесь. После снятия готовой смеси с вальцов ее охлаждают и укладывают на стеллаж. Записывают вариант рецепта и условия изготовления резиновой смеси в табл. 2.2. В дальнейшем резиновая смесь будет подвергнута контрольному испытанию.

2.2 Технологические режимы смешения на вальцах

№ рецепта	Время смешения, мин	Зазор между валками, мм	Температура вала, °С		Фрикция
			передне го	заднего	

Отчет

- 1 По рекомендованной литературе дать описание промышленных методов изготовления резиновой смеси.
- 2 Представить общую характеристику применяемого сырья и назначение каждого ингредиента, входящего в смесь.
- 3 Дать описание технологического процесса изготовления резиновой смеси и применяемого оборудования.

Контрольные вопросы

- 1 Какие ингредиенты входят в резиновую смесь?
- 2 В чем заключается сущность процесса смешения?
- 3 Каким видам обработки подвергаются порошкообразные ингредиенты?
- 4 Какие технологические схемы изготовления резиновых смесей Вы знаете?
- 5 В каких случаях считается целесообразным проводить смешение на вальцах?
- 6 Каковы правила техники безопасности при смешении на вальцах?
- 7 Из каких основных операций состоит процесс смешения на вальцах?
- 8 Перечислите основные технологические параметры процесса смешения на вальцах.

Лабораторная работа 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛАСТИЧНОСТИ И ПОДВУЛКАНИЗАЦИИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

ЭЛАСТОМЕРНЫХ СМЕСЕЙ ПРИ

Цель работы: определение пластичности, времени подвулканизации и скорости подвулканизации эластомерных смесей при высоких температурах.

Приборы и принадлежности: сдвигающий дисковый пластометр (пластометр Муни), вырубной нож, толщиномер, секундомер, термощкаф.

Предварительная подготовка

Изучить методики определения пласто-эластических свойств каучуков и резиновых смесей, ознакомиться с применяемыми приборами и аппаратурой [5, с. 7 - 85; 6].

Порядок проведения работы

- 1 Ознакомиться с инструкцией по охране труда и технике безопасности при работе на пластометре Муни.
- 2 Подготовить образцы для испытания.
- 3 Определить пластичность резиновой смеси.
- 4 Определить начало и скорость подвулканизации резиновой смеси.

Методические указания

Пластичность - способность к необратимым механическим деформациям - является важнейшим показателем, характеризующим технологические качества каучуков и сырых резиновых смесей.

Принципиальной основой всей современной технологии изготовления любых резиновых изделий является сохранение каучуком пластических свойств на всех этапах технологического процесса. Придание каучуку пластических свойств, достигается механической либо тепловой его обработкой. Потеря пластичности каучука происходит в результате его вулканизации – процесса превращения каучука в резину - высокоэластический материал.

При оценке механического поведения каучуков и сырых смесей важным является вопрос о соотношении пластической и высокоэластической составляющих в общей деформации. У эластомеров как и у любых линейных полимеров, общая деформация может рассматриваться как сумма трех деформаций: истинно упругой, высокоэластической и пластической. Истинно упругая деформация устанавливается практически мгновенно и ее величина почти не зависит от температуры. Для каучуков и сырых резиновых смесей при обычных температурах и скоростях нагружения она всегда мала (по сравнению с высокоэластической и пластической деформациями) и ею, как правило, можно пренебречь.

Определить соотношение между истинно упругой и высокоэластической деформациями можно сопоставлением деформируемости материала при температуре ниже температуры стеклования с его деформируемостью при обычной температуре.

В отличие от упругой деформации высокоэластическая деформация развивается во времени, причем скорость достижения равновесного или стационарного значения существенно зависит от температуры.

Пластическая деформация по существу есть следствие вязкого течения материала под действием внешней силы. При течении каучуков и сырых резиновых смесей проявляется неньютоновский характер, т.е. не соблюдается

пропорциональность между напряжением и соответствующей скоростью сдвига. Одной из очевидных причин неньютоновского течения является зависимость конформаций перемещающихся макромолекул от величины высокоэластической деформации и, следовательно, от напряжения. Для описания неньютоновского поведения каучука и резиновых смесей используется степенной закон, характерный для полимерных материалов $\sigma = K\dot{\gamma}^n$, где численные значения постоянных K и n зависят от свойств материала и выбранной системы единиц.

Оценка пласто-эластических свойств каучуков и резиновых смесей проводится на пластометрах различных типов:

- пенетрометрах, при вдавливании в испытуемый материал наконечника;
- сжимающих пластометрах, при сжатии материала, между плоскопараллельными площадками или плитами;
- выдавливающих пластометрах, при выдавливании материала через калиброванные отверстия или фильеры;
- сдвиговых вискозиметрах, на которых испытуемый материал подвергается воздействию сдвиговых деформаций в закрытой цилиндрической камере с вращающимся ротором.

Наибольшее распространение в резиновой промышленности в настоящее время получил пластометр Муни. Это сдвиговый вискозиметр, предназначенный для определения пластичности резиновых смесей и эластомеров при высоких температурах. На нем, кроме того, определяют начало и скорость подвулканизации резиновых смесей.

Описание пластометра Муни

Пластометр Муни (рис. 3.1) выполнен в виде настольного прибора. Измерение температуры производится при помощи термометров 10 .

Во время проведения испытания головка ротора 5 действует на инертное измерительное устройство крутящего момента. Это устройство состоит из торсионного стержня, который вследствие крутящего момента роторной головки поворачивается на определенный угол.

Это перекручивание через рычаг передается на зубчатую рейку, которая через малую шестерню и канатный шкив приводит в действие небольшую тележку записывающего устройства 9. На тележке закреплены стрелка для индикации крутящего момента в градусах Муни (1° Муни равен $0,846 \text{ кг}\cdot\text{см}$) и держатель с пишущим пером для регистрации крутящего момента на бумажную ленту. Скорость передвижения бумажной ленты может изменяться. Прибор позволяет проводить измерения в диапазоне $1 - 150^\circ$ Муни с погрешностью измерения $\pm 0,5^\circ$ Муни. Диаметр головки ротора составляет $d = 38,1 \text{ мм}$; скорость вращения испытательной камеры 2 (1/мин.) . Испытательная камера закрывается пневматически с усилием, регулируемым в пределах $3,5 - 7,0 \text{ кН}$. Диапазон рабочих температур - $100 - 180^\circ \text{C}$, поддержание заданной температуры с точностью $\pm 0,5^\circ \text{C}$.

Определение пластичности по Муни

Для определения пластичности по Муни необходимо приготовить образцы для испытания. Образец состоит из двух дискообразных кусков исследуемого материала. Каждый диск диаметром $45 - 50 \text{ мм}$ и толщиной $6 - 8 \text{ мм}$ изготавливается с помощью вырубного ножа из листа испытываемой смеси, выдержанной после изготовления в течение 30 минут и имеющей соответствующую толщину. Если лист не имеет достаточной толщины, то необходимо вырубить столько дисков, чтобы, сложив их вместе, получить толщину всех слоев $6 - 8 \text{ мм}$. В дисках испытываемого материала вырубают в середине отверстие. В одном диске отверстие размером 12 мм , в другом - 5 мм . Подготовленные образцы помещаются в термошкаф, где нагреваются до заданной температуры.

Определение пластичности резиновой смеси производится при температуре $(100 \pm 1)^\circ \text{C}$.

Образец помещается в камеру испытания прибора. После прогрева материала в течение одной минуты включается двигатель. С включением двигателя измеряется время испытания. Неподвижная головка ротора испытывает сопротивление со стороны вращающейся камеры, в которой находится проба. Это сопротивление (крутящий момент) вызывает скручивание торсионного стержня. Крутящий момент отсчитывается по шкале прибора в градусах Муни. Испытание рекомендуется продолжать до тех пор, пока не установится практически постоянный момент кручения, в частности постоянное значение в градусах Муни. Обычно измерение проводят по истечении четырех минут от начала вращения ротора. Значение в градусах Муни и есть характеристика пластических свойств испытываемого материала. Экспериментальные данные заносят в табл. 3.1.

3.1 Параметры пластичности и подвулканизации

Наименование или шифр материала	Температура испытания, $^\circ\text{C}$	Время предварительного подогрева, мин.	Пластичность по Муни, $^\circ$	Определение скорости подвулканизации		
				время начала подвулканизации t_5 , мин.	время конца испытания t_{35} , мин.	скорость подвулканизации Δt , мин.

Определение начала и скорости подвулканизации резиновых смесей

Способность резиновых смесей к преждевременной вулканизации при различных температурах оценивают началом и скоростью подвулканизации. Для определения начала и скорости подвулканизации измеряют параметры t_5 и t_{35} , представляющие собой время в минутах от начала испытания, при котором пластичность образца превысит минимальную M_{\min} соответственно на 5 и 35 единиц Муни (M_5 и M_{35} - рис. 3.2). При этом продолжительность предварительного прогрева образца учитывают как время испытания. Испытание проводят до тех пор, пока пластичность не превысит минимального значения M_{\min} на 40 единиц Муни.

Начало подвулканизации t_5 определяется графически, а скорость подвулканизации V_{30} рассчитывается по формуле

$$V_{30} = \frac{\Delta M}{\Delta t}, \quad (3.1)$$

где $\Delta M = M_{35} - M_5$, а $\Delta t = t_{35} - t_5$ находят из графика.

В соответствии с ГОСТ 10722-78 за скорость подвулканизации принимается $\Delta t = t_{35} - t_5$.

За окончательный результат принимают среднее арифметическое значение испытаний не менее двух образцов. Допускаемые расхождения результатов испытания каждого образца от среднего арифметического не должны превышать: $\pm 2,5\%$ - по показателю пластичности M_t до 20 единиц; ± 2 единицы - по показателю пластичности свыше 20 единиц; $\pm 10\%$ - по времени начала подвулканизации t_5 ; $\pm 10\%$ - по скорости подвулканизации Δt ;

Экспериментальные данные заносят в табл. 3.1.

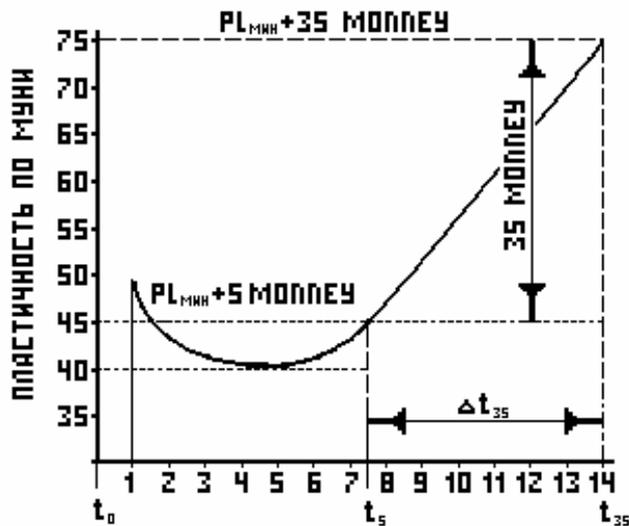


Рис. 3.2 Кривая изменения пластичности резиновых смесей при нагревании

Обработка результатов измерения

1 Пластичность выражают в условных единицах (градусах Муни), которые отсчитываются по шкале прибора с указанием времени прогрева образца, времени вращения ротора и температуры испытания. Пример записи результата испытания:

50 МБ 1 + 4 (100 °С),

где 50 М - число единиц по Муни; Б - большой ротор; 1 - время предварительного прогрева, мин.; 4 - время вращения ротора, мин.; 100 - температура испытания, °С.

- 2 Начало подвулканизации резиновой смеси характеризуют временем t_5 в минутах.
- 3 Скорость подвулканизации $V_{30} (\Delta t)$ выражают в минутах.

Отчет

- 1 Описание предварительной подготовки по рекомендуемой литературе.
- 2 Схема прибора для определения пластических свойств резиновых смесей.
- 3 Основные расчетные формулы и таблицы для регистрации экспериментальных данных.
- 4 Результаты вычислений.
- 5 Графические зависимости.

Контрольные вопросы

- 1 Механизм образования упругой, высокоэластической и пластической (вязко-текучей) деформации в эластомерах.
- 2 Способы определения пластических свойств резиновых смесей.
- 3 Физический смысл процесса вулканизации.
- 4 Дать определение скорости подвулканизации.
- 5 Устройство прибора для определения пластичности эластомерных смесей.
- 6 Понятие эффективной, начальной или наибольшей неньютоновской вязкости.

Лабораторная работа 4

ВУЛКАНИЗАЦИЯ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

Цель работы: изучение процесса вулканизации, получение навыков в проведении экспресс-контроля качества "сырой" резиновой смеси и вулканизованных образцов, изучение взаимосвязи параметров вулканизации, качества и свойств готовых резиновых изделий.

Оборудование: гидравлический пресс, обогреваемая пресс-форма, технические весы, секундомер, сжимающий пластометр, твердомер ТШМ-2.

Предварительная подготовка

- 1 Ознакомиться с сущностью метода вулканизации и процессами, протекающими в пресс-форме [7, с. 57 - 64; 144 - 164].
- 2 Изучить технические способы вулканизации [4, с. 335 - 360; 8; 9, 10], технологические параметры процесса (время, температура, давление) и их влияние на свойства и качество готовых изделий [4, с. 67 - 81].
- 3 Изучить методы экспресс-контроля качества резиновых смесей и вулканизатов [8, 9, 10, 11].

Порядок выполнения работы

- 1 Ознакомиться с инструкцией по охране труда и технике безопасности при работе на гидравлическом прессе.
- 2 Оценить качество резиновой смеси.
- 3 Рассчитать и взвесить дозу прессуемой "сырой" резиновой смеси.
- 4 Провести вулканизацию резиновой смеси при заданной температуре, давлении и времени.
- 5 Приготовить и провести испытания образцов по нормам экспресс-контроля качества резиновых смесей и вулканизованных изделий.

Методические указания

Вулканизацией называется технологический процесс превращения каучука в эластичную резину. В результате вулканизации происходит сшивание линейных макромолекул каучука и образование пространственной (сетчатой) структуры. Важнейшими технологическими параметрами вулканизации, определяющими скорость процесса и свойства получаемых резин, являются температура, давление и продолжительность процесса. На свойства вулканизатов существенное влияние оказывает качество резиновой смеси.

Оценка качества резиновой смеси

Одним из основных показателей, характеризующим качество резиновой смеси, является пластичность.

Под пластичностью понимается способность материала необратимо течь под действием приложенной нагрузки. В соответствии с ГОСТ 415-75 пластичность определяется при испытании образца на сжатие. При этом используются два основных режима: режим **А** задается нагрузка, режим **Б** задается деформация. Деформация при сжатии образца находится по изменению его высоты.

При стандартных условиях испытания (температура, время деформации и восстановления, размеры сжимающих площадок и образца) в режиме **А** характеристикой служит высота образца под нагрузкой, а в режиме **Б** - нагрузка, вызывающая заданную степень сжатия (жесткость).

Если H_0 - начальная высота образца, H_1 - высота под нагрузкой и H_2 - высота после восстановления, то, пренебрегая неоднородностью деформации, можно считать, что общее сжатие составляет $(H_0 - H_1)$, обратимая и необратимая его части соответственно равны $(H_2 - H_1)$ и $(H_0 - H_2)$. Тогда пластичность (P) рассчитывается по формуле:

$$P = \frac{H_0 - H_2}{H_0 - H_1}. \quad (4.1)$$

Воспроизводимость результатов испытаний на сжимающем пластометре зависит от предварительной подготовки образцов. Наличие в каучуках и смесях "пор" (пузырьков воздуха) приводит к искажению и несовпадению результатов. Для устранения искажения используют предварительное уплотнение материала, которое производится либо путем вальцевания, либо, если вальцевание оказывается недостаточным, путем специальной подпрессовки.

Определение пластичности резиновой смеси в данной лабораторной работе производится на сжимающем пластометре (рис. 4.1).

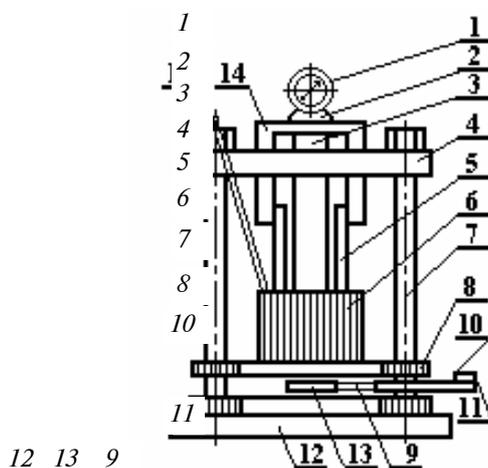


Рис. 4.1 Устройство сжимающего пластометра

Пластометр имеет следующее устройство. На плите 12 укреплены две колонки 7, соединенные планкой 4. Плита 8 вместе с грузом 6 и штоком 3 имеет массу 5 кг и может подниматься с помощью рычажков и серег 5, шарнирно связанных со штоком. При этом колонки 7 служат направляющими. Ртутный шарик термометра 15 находится в отверстии груза 6 и плиты 8 на глубине 8 - 10 мм.

Испытания на пластометре проводятся при температуре 70 °С.

Образец устанавливается между плитами 12 и 8 на площадке 13, прикрепленной к плите 12. Площадка с образцом может перемещаться с помощью рычажка 9. Правильное положение площадки 13 в центре плиты 12 определяется по упору выступа 11 в плиту.

Образец деформируется, и высота его под грузом измеряется микрометром 1, установленным на кронштейне 2.

При испытании на пластометре для определения $(H_2 - H_1)$ предложено ограничивать сжатие, опуская верхнюю сжимающую плиту до упора в стопор, находящийся на расстоянии 5 мм (H_1) от нижней плиты. По истечении 30 секунд сжатия и после отдыха в течение 5 минут при температуре испытания определяется высота восстановленного образца H_2 .

Оценка качества вулканизатов

Качество вулканизатов оценивается по вязкоупругим свойствам, твердости и плотности материала.

1 Оценка вязкоупругих свойств производится по показателю - кольцевой модуль (ГОСТ 412-76).

Сущность метода заключается в растяжении вулканизованного образца под действием заданной нагрузки и измерении его деформации после заданного времени. Для испытания используются образцы, имеющие форму колец, размеры которых определяются размерами гнезд пресс-форм для их вулканизации: наружный диаметр (18,200 + 0,023) мм, внутренний диаметр (10,150 - 0,035) мм, высота (4,00 - 0,03) мм. Образцы охлаждают в проточной воде температурой не более 22 °С в течение времени не более 10 мин.

При испытании необходимо обеспечить установку грузов по оси растяжения образца и передачу на него заданной нагрузки от 5 до 50 Н с погрешностью $\pm 5\%$; дискретность нагружения 5 Н. Измерение величины растяжения образца до 30 мм. Растягивают образец под действием нагрузки в течение времени от 3 до 5 с и по шкале прибора определяют величину растяжения. За результат испытания принимают показатель кольцевого модуля (КМ), выраженного в миллиметрах.

Результаты испытания заносят в табл. 4.1.

Образцы, вулканизованные на прессах и в вулканизационных котлах, подвергаются испытаниям для определения твердости.

2 Твердость образцов определяется на специальном приборе - твердомере ТШМ-2 (ГОСТ 253-53), устройство которого показано на рис. 4.2.

На конце стержня индентора 8, висящего во втулке 12 и жестко связанного с ножкой (измерительным штоком индикатора 1), находится стальной шарик 10 диаметром 5 мм.

Кронштейн индикатора 1 помещен на площадке 5, которая может передвигаться вверх или вниз путем вращения звездочек 6, соединенных цепочкой 7.

4
9

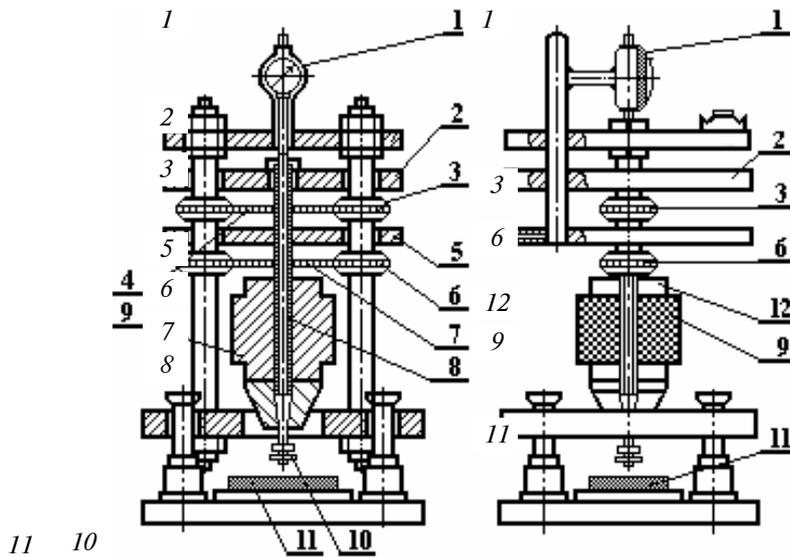


Рис. 4.2 Устройство твердомера ТШМ-2

Груз 9, вес которого вместе с втулкой составляет 10 Н, опирается на площадку 2, перемещаемую аналогично площадке 5 вращением звездочек 3, соединенных цепочкой 4.

При испытании площадку 5 с индикатором опускают (вращением звездочек 6) так, чтобы после касания поверхности образца шариком индентора 10 большая стрелка индикатора сделала два полных оборота, соответствующих подъему индентора на 2 мм и обе стрелки, отсчитывающие целые и сотые доли миллиметра стали на нуль.

Вращением звездочек 3 площадки 2 опускают груз, пока между заплечиками втулки 12 и площадкой 2 не образуется зазор от 4 до 5 мм. При этом начинает двигаться стрелка индикатора, что указывает на начало испытания.

Через 30 с отсчитывают по индикатору глубину погружения шарика в образец с точностью до 0,01 мм.

Показателем твердости резины на твердомере ТШМ-2 служит величина, определяемая по формуле:

$$T_m = P / \pi dH \quad (\text{кгс/см}^2), \quad (4.2)$$

где P - груз, равный 10 Н; d - диаметр шарика, равный 0,5 см; H - глубина погружения (см).

Значение твердости заносят в табл. 4.1.

Образцы для испытания на твердость должны иметь форму плоскопараллельных пластин толщиной не менее 6 мм, позволяющих производить испытания не менее чем в трех точках, расположенных на расстоянии 10 мм друг от друга и от краев образца.

3 Определение плотности резины ГОСТ 267-73 позволяет проверить правильность состава резиновой смеси, а ее

сравнение из различных участков образцов - равномерность распределения ингредиентов. Поэтому определение

плотности имеет большое значение при проверке качества резиновых смесей.

Метод определения состоит в том, что образец резины взвешивают в воздухе и в воде и из полученных данных вычисляют плотность резины. Если плотность резины меньше единицы, что бывает сравнительно редко, то образец соответствует

Устрой

то на рис. 4.3.

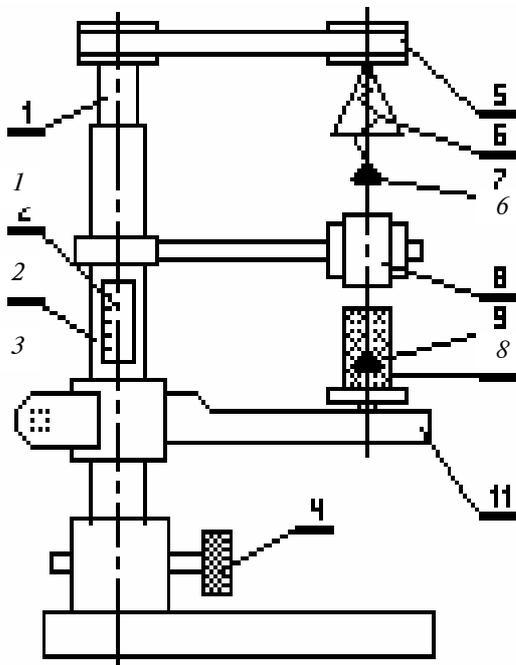


Рис. 4.3 Устройство весов для определения

плотности резиновых материалов 5

На кронштейне 5 закреплена коническая спиральная пружина 6, к концу которой подвешена система, состоящая из чашек 7 и 9 и стерженька (на чертеже не показано). 7

Стержень 1, на котором закреплен кронштейн 5, может перемещаться вверх и вниз при помощи специальной кремальеры 4. Подъем стержня 1 замеряется с помощью миллиметровой шкалы с нониусом 2. Стерженек, на котором нанесены три горизонтальные риски, проходит внутри стеклянного цилиндра 8. На цилиндре в средней его части нанесен горизонтальный штрих. 9

На кронштейне 11, закрепленном на стойке 10 прибора, установлен стеклянный стакан 10, наполненный дистиллированной водой с температурой $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$.

Вращением кремальеры передвигают в вертикальном направлении стержень 1, добиваясь совпадения метки на стеклянном цилиндре со средней меткой на стержне 11. Производят отсчет нулевой массы образца при помощи нониуса с точностью до 0,1 деления. 4

Образец резины помещают на верхнюю чашку весов.

Вращая кремальеру, передвигают в вертикальном направлении стержень 1, снова добиваясь совпадения метки на стеклянном цилиндре со средней меткой на стерженьке. Отсчитывают показания массы образца при взвешивании в воздухе.

Образец резины снимают с верхней чашки весов и помещают на нижнюю чашку весов, погруженную в стакан с водой.

Вращая кремальеру, передвигают в вертикальном направлении стержень 1, снова добиваясь совпадения метки на стеклянном цилиндре со средней меткой на стерженьке. Проводят отсчет показания массы образца при взвешивании в воде.

Плотность резины рассчитывается по формуле

$$\rho = \frac{m - m_2}{m - m_1} \rho_0, \quad (4.3)$$

где m - масса образца при взвешивании в воздухе, г; m_1 - масса образца при взвешивании в воде, г; m_2 - масса при приведении весов к нулевой точке.

Результаты испытаний заносят в табл. 4.1.

4.1 Параметры качества вулканизатов

№ шифра резиновой смеси	Режим вулканизации		Величина "кольцевого" модуля			Твердость, Н/м ²	Плотность, кг/м ³
	температура, °C	давление, МПа	номер гнезда	масса груза, кг	величина растяжения, %		

Отчет

- 1 Описание сущности физико-химических процессов, протекающих при формовании и вулканизации резиновых смесей.
- 2 Описание технологического процесса переработки резиновых смесей и получения резинотехнических изделий (РТИ).
- 3 Принципиальная схема применяемого оборудования и пресс-форм.
- 4 Технологические параметры процесса вулканизации резиновых смесей.
- 5 Результаты определения качественных показателей готовых изделия.

Контрольные вопросы

- 1 Ингредиенты резиновых смесей, их назначение.

- 2 Отличие резины от "сырой" резины.
- 3 Пластичность и эластичность материала.
- 4 Сущность процесса вулканизации.
- 5 Основные параметры процесса вулканизации.
- 6 Оптимум и плато вулканизации.
- 7 Технические способы вулканизации.
- 8 Пути повышения производительности процесса вулканизации.
- 9 Пути повышения качества изделий в процессе вулканизации.

Лабораторная работа 5

МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ РЕЗИНЫ

Цель работы: изучить основные методы механических испытаний резины, ознакомиться с применяемым лабораторным оборудованием, экспериментально провести определение свойств вулканизованных образцов резины.

Оборудование: упругомер, разрывная машина, твердомер ТМ-2.

Предварительная подготовка

- 1 Изучить основные механические свойства резин, устройство и принцип действия испытательных приборов и машин [5, с. 6 - 44].
- 2 Ознакомиться с технологией изготовления образцов для испытания.
- 3 Изучить методики проведения механических испытаний резин (эластичность, предел прочности при разрыве, относительное удлинение при растяжении и разрыве, твердость) [12, 13, 14, 15].

Порядок проведения работы

- 1 Ознакомиться с инструкцией по охране труда и технике безопасности при работе на разрывной машине.
- 2 Изготовить образцы для механических испытаний резин.
- 3 Подготовить лабораторные приборы и оборудование к работе.
- 4 Определить эластичность, относительное удлинение при растяжении и разрыве.
- 5 Определить твердость резиновых образцов.

Методические указания

Механическое испытание резин – определение механических свойств образцов резин, проводимое унифицированными методами. С помощью механического испытания осуществляют контроль качества сырья, полуфабрикатов и готовых изделий резинового производства.

Основные требования к методам и приборам для механических испытаний резин (ГОСТ 269-66) обусловлены спецификой механических свойств этих материалов. Такими специфическими свойствами являются: большие деформации при сравнительно низких напряжениях; существенная зависимость между напряжением и деформацией от предыстории деформации, времени нагружения и температуры испытания; чувствительность к воздействию различных немеханических факторов, таких как свет, тепло, озон, кислород и др. агрессивных сред.

На практике используют статические и динамические методы механических испытаний резин. К первым относятся испытания, проводимые либо при постоянных нагрузках или деформациях, либо при относительно небольших скоростях нагружения; к динамическим - испытания при ударных или циклических (гармонических или импульсных) нагрузках. Как в статических, так и в динамических испытаниях определяют либо взаимосвязь между напряжением и деформацией (деформационные свойства, называемые упруго-релаксационными при статических испытаниях, проводимых в неравновесных условиях нагружения, и упруго-гистересис-ными – при динамических испытаниях), либо характеристики сопротивления механическому разрушению (усталостно-прочностные свойства – прочность, долговечность, выносливость).

Определение эластичности резин

Определение эластичности резин производится с помощью прибора упругомера (рис. 5.1). Основой прибора является массивная металлическая станина 1, обеспечивающая его устойчивость. На станине крепится кронштейн 2, к которому подвешен маятник 8 с грузом 9 и бойком 10 полусферической формы. Для фиксации маятника в поднятом положении служит защелка 6. На бойковой стороне станины имеется ровная вертикальная металлическая площадка 12. На ней с

помощью плоских пружин 11 удерживается образец. На оси маятника имеется пружинный захват 4, увлекающий стрелку 3 в момент отскока маятника. Стрелка посажена на ось с небольшим трением, поэтому она остается неподвижной в положении, соответствующем наивысшему положению маятника после отскока.

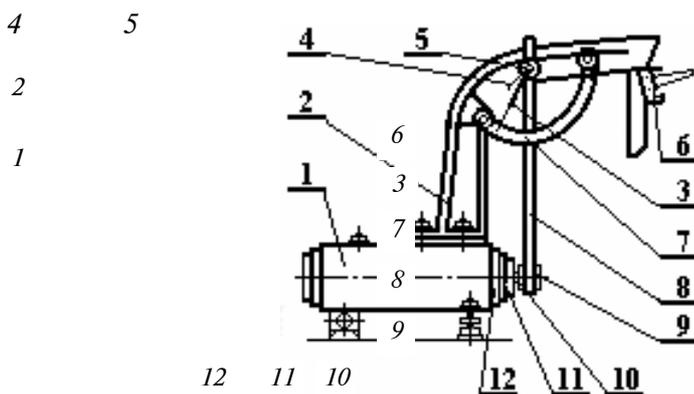


Рис. 5.1 Упругомер

Возврат стрелки в исходное положение осуществляется механизмом с рукояткой 5. Исходное положение стрелки определяется ограничителем. Отсчет величины отскока маятника производится по дуговой шкале 7, градуированной в значениях эластичности (Э).

Определение показателя эластичности осуществляется на образцах в виде цилиндрических дисков или параллелепипедов с квадратным основанием, диаметр или сторона которых должна быть не менее 40 мм, а толщина – $(6 \pm 0,25)$ мм. Применение образцов такой толщины позволяет избежать влияния на значения показателей твердой подложки. Не допускается применение образцов с неровной или загрязненной поверхностью, а также с посторонними включениями. Вылежка образцов после вулканизации составляет не менее шести часов. Испытуемый образец плотно прикладывают к площадке и закрепляют по краям пружинами. Маятник поднимают в исходное положение и фиксируют защелкой. Затем освобождают маятник. Вследствие эластичности резин при ударе об образец маятник отскакивает на некоторую высоту. Его ловят рукой после каждого удара, не допуская повторного падения на образец и серии затухающих колебаний. По образцу без изменения его положения производят четыре удара, поднимая маятник в исходное положение после каждого удара. Таким образом, происходит стабилизация образца вследствие присущего резине эффекта размягчения, что позволяет получить воспроизводимые результаты. За показатель эластичности в данной точке принимают показания шкалы прибора после четвертого удара маятника по образцу.

Испытывают описанным способом от каждой пробы один образец, в трех точках изменяя его положение. Расстояние между испытываемыми точками и до краев образца должно быть не менее 10 мм. Испытания проводят при комнатной температуре. За показатель эластичности принимают среднее арифметическое результатов не менее трех замеров на одном образце. Допустимое отклонение от среднего составляет $\pm 5\%$.

Энергия, затраченная на деформирование образца при ударе бойком при падении с высоты h ,

$$W = mgh. \quad (5.1)$$

Энергия, отбрасывающая маятник на высоту h_1 ,

$$W_1 = mgh_1. \quad (5.2)$$

Эта, так называемая, возвращенная энергия пропорциональна эластичности резины.

Из отношения энергий вычисляется эластичность по отскоку Э (%)

$$\text{Э} = \frac{W_1}{W} 100 = \frac{h_1}{h} 100. \quad (5.3)$$

Определение относительного удлинения при растяжении и разрыве

Как правило, все резины подвергаются испытанию на растяжение, доводимое до разрыва образца. Это испытание позволяет достаточно полно оценивать свойства резины и служит основным видом контроля качества резины, правильности смешения, соблюдения режима вулканизации.

Испытание резин на растяжение и разрыв осуществляется на разрывной машине с маятниковым силоизмерителем. В настоящее время машины такого типа - самые распространенные и являются универсальным видом оборудования для подобных испытаний.

Для вырубания образцов из резиновых пластин применяются шанцевые ножи. Вырубание образцов производят на прессе с рычажным приводом.

Образцы вырубают из пластин толщиной $(2 \pm 0,3)$ или $(1 \pm 0,2)$ мм. Образцы представляют собой двухсторонние лопатки (рис. 5.2).

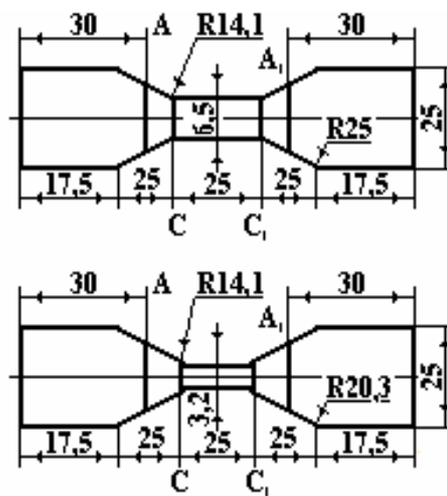


Рис. 5.2 Форма образцов

Такая форма обеспечивает надежное закрепление образца в зажимах разрывной машины и его разрушение на рабочем участке $C - C_1$ в зоне однородной деформации.

Перед испытанием необходимо осмотреть образцы и промаркировать их. Метки рабочего участка $C - C_1$ и наружные метки $A - A_1$ наносят контрастной специальной краской, не вызывающей изменения свойств резин.

Длина рабочего участка стандартной лопатки 25 мм, длина участка $A - A_1$ равна 50 мм. Поверхность образцов должна быть гладкой и не иметь повреждений.

Толщину образцов измеряют контактным микрометром не менее чем в трех местах рабочего участка. Расчетной величиной является среднее арифметическое из результатов всех замеров. При проведении испытаний, связанных с разрушением образца, за расчетное значение принимают минимальный результат. Точность измерения толщины образцов устанавливается соответствующими стандартами на методы испытаний. Толщина рабочего участка образца может колебаться в пределах 0,1 мм. Параллельно испытываемые образцы могут отличаться по толщине не более чем на 25 % от минимального значения. Ширина рабочего участка образца-лопатки соответствует ширине вырубного ножа и может быть равной $(6,5 \pm 0,3)$ или $(3,2 \pm 0,3)$ мм при одинаковых остальных размерах.

Перед испытанием проверяют исправность разрывной машины, скорость движения нижнего зажима, точность установки стрелок на нуль. Образец закрепляют в зажимах строго по меткам $A - A_1$ так, чтобы большая ось образца совпала с направлением растяжения. Приводят в действие механизм растяжения, фиксируя нагрузки, соответствующие заданному удлинению 100, 200, 300 % и т.д. После разрыва образца записывают значение нагрузки, соответствующее положению неподвижной стрелки, и значение удлинения по шкале удлинений. При фиксировании значений любых показателей глаза должны находиться на одном уровне с делением шкалы. При разрыве вне рабочего участка результаты испытаний не учитываются.

Через одну минуту после разрыва измеряется с точностью до 0,5 мм длина рабочего участка сложенного образца. Число испытываемых образцов от каждой пробы должно быть не менее пяти.

Пользуясь расчетными формулами, вычисляют значения следующих показателей:

1 Предел прочности при разрыве

$$\sigma_z = \frac{P_z}{S_0} \quad (5.4)$$

и условные напряжения при заданном удлинении

$$\sigma_\varepsilon = \frac{P_\varepsilon}{S_0}, \quad (5.5)$$

где P_z и P_ε - нагрузки, соответствующие удлинению в момент разрыва и заданному удлинению; S_0 - первоначальное сечение образца:

$$S_0 = b_0 h_0, \quad (5.6)$$

где b_0 , h_0 - первоначальные ширина и толщина образца.

2 Относительное удлинение при разрыве

$$\varepsilon_z = \frac{l_z - l_0}{l_0} 100, \quad (5.7)$$

где l_z - длина рабочего участка образца в момент разрыва; l_0 - первоначальная длина рабочего участка.

3 Относительное остаточное удлинение

$$\theta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} 100, \quad (5.8)$$

где l_1 - длина рабочего участка образца после "отдыха" в течение одной минуты.

4 Истинные напряжения при заданном удлинении

$$\sigma_\varepsilon = \sigma_\varepsilon \left(\frac{\varepsilon}{100} + 1 \right) \quad (5.9)$$

и разрыве

$$\sigma_z = \sigma_z \left(\frac{\varepsilon_z}{100} + 1 \right). \quad (5.10)$$

Исходные данные, результаты замеров и расчетов заносятся в табл. 5.1. Средние значения определяют только для конечных результатов. При этом учитывают образцы, предел прочности которых отклоняется от среднего значения не более чем на 10 %. По данным испытания (средним значениям) вычерчивают кривую растяжения в координатах напряжение-удлинение.

Определение твердости

Твердость образцов вулканизированной резины, т.е. способность этих образцов сопротивляться проникновению в них постороннего твердого тела, вдавливаемого под нагрузкой, является важным показателем качества смеси и степени вулканизации.

Определение твердости резины производят с помощью твердомера ТМ-2 (рис. 5.3).

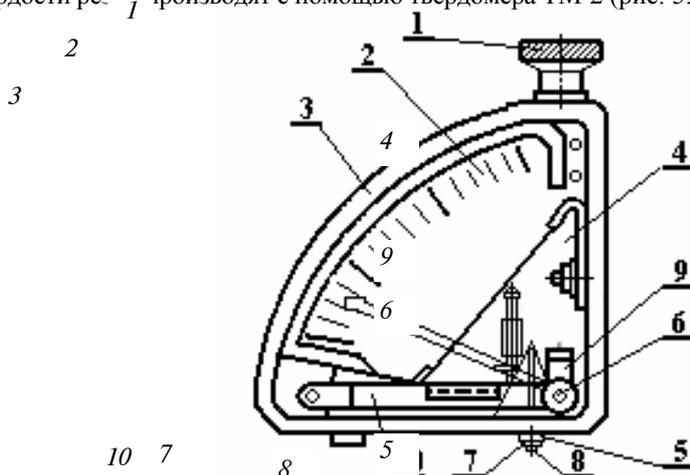


Рис. 5.3 Твердомер ТМ-2

Он смонтирован в хромированном корпусе 3. Для удобства пользования сверху имеется головка 1, на нижней внешней стороне корпуса находится металлическая пластинка 5 и шайба 7 одинаковой толщины. Рабочим органом является игла 8, проходящая сквозь пластинку и находящаяся под давлением плоской тарированной пружины 4. Игла жестко связана с зубчатой рейкой 10, находящейся в зацеплении с шестерней 9. На одной оси с шестерней закреплена стрелка 6. Для замера твердости имеется шкала 2, градуированная в условных единицах 0 - 100. Для замера твердости прибор устанавливают на образец до соприкосновения с ним пластины и шайбы. В зависимости от твердости игла выталкивается давлением резины на определенную глубину прибора. При этом перемещается зубчатая рейка, вращается шестерня и стрелка смещается на определенное число делений. Перед началом работы правильность показания прибора проверяется путем использования вместо образца контрольной пластинки с гнездами. При этом значение твердости, фиксируемое по шкале, должно соответствовать твердости, указанной на пластинке. До соприкосновения иглы твердомера ТМ-2 с образцом стрелка прибора должна стоять против нулевого деления шкалы.

Для испытания применяются образцы в виде шайб или квадратов. Диаметр шайбы или сторона квадрата должна быть равна 5 см, толщина - не менее 6 мм. Не допускается использование образцов с неровной или загрязненной поверхностью. Применение образцов большой толщины необходимо, чтобы исключить влияние твердой подложки на значения показателей.

Принцип испытания заключается в определении степени погружения в образец иглы стандартных размеров под действием тарированной пружины.

Образец помещают на ровную металлическую или стеклянную поверхность, чтобы исключить при замере влияние перекосов образца и изгибающих моментов. Прибор устанавливают на образец до полного соприкосновения с ним площадки и шайбы. Давление, производимое рукой на прибор, должно быть таким, чтобы создать контакт шайбы и пластинки с поверхностью образца. Нажатие на головку прибора следует осуществлять медленно для завершения релаксационных процессов и своевременной остановки стрелки. Образец испытывают не менее чем в трех точках. За результат испытания принимают среднее арифметическое значение твердости.

Результаты всех испытаний и вычислений вносятся в табл. 5.1.

5.1 Механические свойства резин

№ образца	Эластичность, %	Предел прочности при разрыве, Н/м ²	Условное напряжение при заданном удлинении, Н/м ²	Относительное удлинение при разрыве, %	Относительное остаточное удлинение, %	Истинное напряжение при разрыве, Н/м ²	Истинное напряжение при заданном удлинении, Н/м ²	Твердость

Отчет

- 1 Описание основного содержания экспериментальной части.
- 2 Схемы приборов для испытаний.
- 3 Основные расчетные формулы и журнал регистрации опытных данных.
- 4 Вычисленные результаты.
- 5 Графические зависимости.

Контрольные вопросы

- 1 Принцип действия твердомера ТМ-2.
- 2 Способ расчета твердости резины по показанию прибора.
- 3 Эластичность резины.
- 4 Способы измерения эластичности резины.
- 5 Технологические параметры изготовления резины.
- 6 Способ определения предела прочности резины при разрыве.
- 7 Относительное остаточное удлинение при разрыве и растяжении.

Лабораторная работа 6

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ ПРЕСС-МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: изучение технологического процесса получения композиционных пресс-материалов.

Оборудование: лабораторный смеситель РС-2, весы технические, секундомер.

Предварительная подготовка

1. Изучить типы, назначение и свойства волокнистых наполнителей и пресс-композиций на их основе [16, с.150-157].
2. **ОЗНАКОМИТЬСЯ С ОСНОВНЫМИ ВИДАМИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ**

Порядок выполнения работы

- 1 Ознакомиться с инструкцией по охране труда и технике безопасности при работе на резиносмесителе.
- 2 Изучить рецептуру волокнистого композиционного пресс-материала, рассчитать и произвести дозирование компонентов.
- 3 Ознакомиться с конструкцией и работой смесителя РС-2.
- 4 Приготовить по заданной технологии пресс-композицию.

Методические указания

Пресс-композицией называется материал на основе полимерного связующего (чаще всего это термореактивная феноло-формальдегидная или amino-альдегидная смола) и различных наполнителей. В зависимости от типа наполнителя различают следующие композиционные пресс-материалы: пресс-порошки – наполнитель порошкообразный материал, например, древесная мука; волокниты – наполнитель волокнистый материал, например, асбест, хлопок, стекловолно; слоистые пластики – наполнитель пленочный или листовой материал, например ткань, древесный шпон.

Пресс-порошки производятся сухим (вальцовый, экструзионный) или мокрым (в растворе, эмульсии) способом и применяются для изготовления изделий общего и специального назначения.

Из волокнитов в настоящее время наибольшее распространение получили три вида: стекловолнонит, высокопрочный волнонит и кордволнонит. Эти композиционные материалы нашли применение в производстве коллекторов, тормозных колодок, электроизоляционных и фрикционных изделий.

На основе резольной смолы выпускаются волокнистые пресс-материалы марок КО (предназначены для изготовления коллекторов) и КФ-3 (используется в производстве тормозных колодок).

В качестве наполнителя фрикционных пресс-материалов (КФ-3 и КФ-3М) вместо асбестового волнона применяют отходы асбестовой ткани и куски асбестового шнура. Для повышения теплопроводности в их состав вводят 10 – 15 % мелкой латунной стружки или проволоки (кусочками длиной до 20 мм). Применяют также асбестовую ткань, в которую включена медная или латунная проволока. Введением в материал каучука повышают коэффициент трения и износостойчивость.

В качестве слоистых пластиков в настоящее время наибольшее распространение в промышленности получили текстолиты, асботекстолиты, древесно-слоистые пластики (ДСП).

В текстолитах наполнителем является ткань, такая как бязь, миткаль, бельтинг, шифон. Наполнитель пропитывается феноло-формальдегидной смолой, укладывается несколькими слоями, из которых прессуются листы или специальные заготовки. Затем с помощью механической обработки из заготовок получают различные изделия шестерни, втулки, подшипники скольжения, ролики, вкладыши подшипников прокатных станков.

Пластики со слоистым наполнителем, например, асбестовой тканью (асботекстолит), используются в качестве панелей и электрощитков для монтажа низковольтной аппаратуры, тормозных колодок, дисков. Крупногабаритные асботекстолитовые детали находят применение в ракетной и авиационной технике для внутренней и внешней теплозащиты головных частей баллистических ракет, корпусов и днищ ракетных двигателей, теплозащиты различных элементов конструкций (при очень высоких температурах и больших скоростях тепловых потоков). Изделия из асботекстолита могут работать длительно при температурах до 200 °С, ограниченно до 250 – 500 °С и кратковременно до 1800 – 4500 °С.

В древесно-слоистых пластиках в качестве наполнителя используется древесный шпон, обычно березовый, иногда из бука и липы. ДСП применяют как конструкционный и антифрикционный материал в машино-, самолето- и судостроении, как электроизоляционный и конструкционный материал для изготовления деталей аппаратуры высокого напряжения.

Древесно-слоистые пластики обладают хорошими антифрикционными свойствами. Коэффициент трения ДСП по бронзе составляет 0,005 - 0,15 (при любой смазке), по стали 0,004 - 0,008 (смазка водой) и 0,01 - 0,06 (жидкое масло).

Примеры рецептур асборезольных композиционных пресс-материалов (в масс. %).

Рецепт № 1. Для фрикционных изделий. 1) фенолоформальдегидная смола - 32; 2) асбестовое волноно 61; 3) каолин или кизельгур - 5; 4) мыло "монополь" – 2.

Рецепт № 2. Для электроизоляционных изделий. 1) фенолоформальдегидная смола - 33; 2) асбестовое волноно 60; 3) тальк молотый- 5; 4) олеиновая кислота – 2.

Рецепт № 3. Асбомасса износостойчивая.

1) СКД-СР - 26,50; 2) СЕРА - 4,12; 3)КАПТАКС - 0,38; 4) ТИУРАМ - 0,12; 5) БАРИТ - 3,81; 6) ГЛИНОЗЕМ - 5,00; 7) ГРАФИТ - 2,50; 8) ПОЛИМЕРПЛАСТ - 0,06; 9) ПЭС-4 - 0,06; 10) АСБЕСТ 5 С - 56,45.

В производстве волокнистых пресс-материалов наиболее ответственными стадиями являются смешение и пропитка связующим. От их успешного проведения во многом зависит качество выпускаемой продукции.

Смешение волокнистых ингредиентов со связующим осуществляют в лопастных мешателях периодического действия. В настоящее время в промышленности находят применение двухвальные смесительные машины без давления, называемые обычно просто мешателями, и машины с постоянным давлением на массу, обеспечивающие поджатие массы к перемешивающим органам, называемые пластосмесителями. Первые характеризуются значительной емкостью смесительной камеры (100 - 1000 л), небольшой интенсивностью и большей длительностью цикла перемешивания, вторые - меньшей емкостью камеры (40 - 300 л), коротким циклом и значительным потреблением мощности (до 700 кВт).

Изготовление пресс-композиционного волокнистого материала

Смешение компонентов осуществляется на лабораторном смесителе РС-2, принципиальная схема которого представлена на рис. 6.1.

На фундаментной плите 1 установлен корпус смесительной камеры 2, который состоит из двух полуцилиндров 3, 4. Причем последний закреплен шарнирно. В процессе работы камера замкнута, выгрузка осуществляется при поднятой полуцилиндрической стенке 4. В камере помещены два ротора 5, вращающиеся навстречу друг другу с различными скоростями. Роторы установлены в подшипниках качения и приводятся в движение от электродвигателя 6 через блок-редуктор 7 и муфту 8. Внутренняя поверхность смесительной камеры, гребни фигурной (рабочей) части роторов наплавлены твердым сплавом.

В верхней части смесительной камеры расположено загрузочное отверстие, перекрываемое во время работы смесителя затвором 9. Подъем и опускание затвора производится при помощи вертикального пневмоцилиндра 10, установленного на загрузочном бункере 11.

Для загрузки ингредиентов в верхней части камеры находится загрузочный бункер 11, образованный двумя стойками, задней и откидной дверцами 12. В боковинах смесительной камеры в месте прохода шеек роторов установлены лабиринтные уплотнения с обратной винтовой нарезкой, предотвращающей выход смеси из камеры.

При смешении происходит повышение температуры композиции за счет превращения части механической энергии в теплосодержание материала. Для поддержания заданного температурного режима смешения стенки смесительной камеры и роторы интенсивно охлаждаются. Полуцилиндры камеры охлаждаются орошением ее стенок водой, подаваемой через систему трубок и коллектор 13. Для охлаждения роторов вода подается в имеющиеся в этих деталях полости.

Для изготовления пресс-композиции на лабораторном смесителе необходимо знать массу загрузки, рецептуру и технологию смешения (процентное соотношение компонентов; порядок и время введения каждого ингредиента; длительность цикла).

Масса загрузки определяется свободным объемом смесительной камеры. Свободный объем - это объем смесительной камеры за вычетом объема, занимаемого роторами. Объем загрузки обычно равен или несколько больше (на 10 - 15 %) свободного объема смесительной камеры. Это обусловлено тем, что в процессе смешения композиционный материал уплотняется и объем выгружаемой смеси составляет 0,50 - 0,65 от свободного объема.

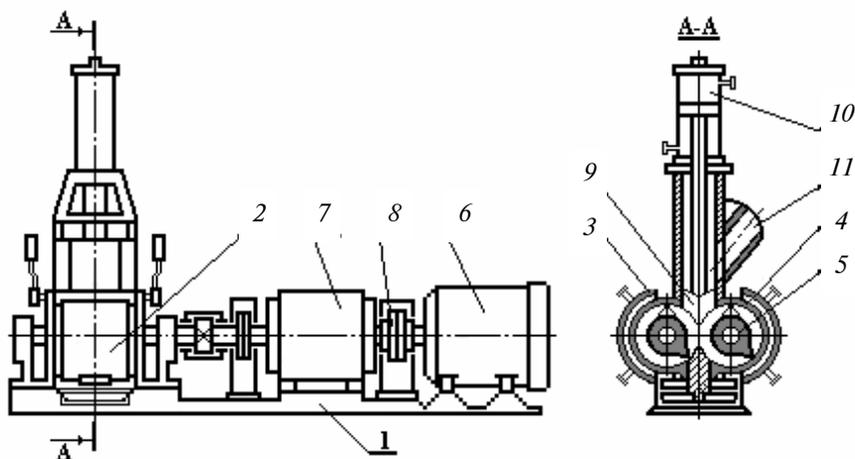


Рис. 6.1 Резиносмеситель РС-2

Объем камеры смесителя РС-2 составляет 2 л. Для резиносмесителей такого типа свободный (полезный) объем, как правило, составляет 0,53 - 0,65 его полного объема.

Зная, полезный объем смесителя, соотношение исходных компонентов рассчитываются навески ингредиентов и полная масса загрузки.

После этого приступают к изготовлению пресс-композиции.

Перед смешением необходимо проверить герметичность рабочей камеры, включить охлаждение, компрессор. В соответствии с рецептурой и технологией изготовить пресс-композицию. Выгрузка смеси производится при вращающихся роторах. После выгрузки отключить установку. Визуально оценить однородность смеси.

Пресс-композиции, приготовленные в результате экспериментов, используются в следующих лабораторных работах для оценки текучести материала и изучения технологии прессования.

Отчет

- 1 Дать описание промышленных способов получения пресс-материалов.
- 2 Привести общую характеристику видов сырья и назначение компонентов.
- 3 Описать технологический процесс получения прессовочного материала (волокнита, асборезольных материалов) и применяемое оборудование (с эскизами, схемами и характеристиками).
- 4 Описать принцип работы смесителей различного назначения.

Контрольные вопросы

- 1 Дайте характеристику основным типам пресс-композиций на основе феноло-формальдегидного связующего.
- 2 Сухой и мокрый способы приготовления пресс-композиций. Преимущества и недостатки методов.
- 3 Основные методы приготовления волокнистых пресс-композиций.
- 4 Особенности технологии приготовления волокнистых пресс-материалов.
- 5 Основные способы оценки качества смешения.
- 6 Интенсивность и эффективность смешения – физическая сущность понятий.

Лабораторная работа 7

ФОРМОВАНИЕ ТЕРМОРЕАКТИВНЫХ ПРЕССМАТЕРИАЛОВ

Цель работы: приобретение теоретических знаний и практических навыков по процессу холодного формования таблеток из реактопластов, изучение взаимосвязи технологических параметров процесса, качества и физико-механических свойств готовых изделий, определение текучести по Рашигу.

Оборудование: гидравлический пресс, обогреваемая пресс-форма Рашига, технические весы, секундомер.

Предварительная подготовка

- 1 Ознакомится с сущностью метода холодного прессования и процессами, протекающими в пресс-форме [1, с. 68 - 75; 18, с. 386 - 397; 2, с. 38 - 46].
- 2 Изучить параметры технологического процесса прессования и их влияние на свойства готовых изделий.
- 3 Изучить способы определения текучести термореактивных полимерных материалов.

Порядок выполнения работы

- 1 Ознакомиться с инструкцией по охране труда и технике безопасности при работе на гидравлическом прессе.
- 2 Изучить работу гидравлического пресса и пресс-формы Рашига.
- 3 Рассчитать и взвесить дозу прессуемого материала.
- 4 Рассчитать давление прессования.
- 5 Отпрессовать стандартные изделия.
- 6 По внешнему виду определить качество полученных изделий.
- 7 Определить текучесть по Рашигу.

Методические указания

Технологический процесс переработки реактопластов прессованием предусматривает проведение следующих операций: подготовку термореактивных пресс-материалов, холодное формование таблеток или заготовок, определение текучести материала по Рашигу, горячее формование изделий в пресс-форме под давлением, механическую обработку, окрашивание и др.

Подготовка пресс-материала включает оценку его технологических свойств (при необходимости доведение их до требуемых значений путем сушки, измельчения, отсева и др. операций) и таблетирование.

Таблетированием называется технологический процесс уплотнения пресс-материала без спекания или сплавления. Способность пресс-материала уплотняться без спекания или сплавления называется таблетированностью. Таблетированность зависит от размера частиц и однородности гранулометрического состава, а также от наличия в материале влаги и смазки.

Переработка таблетированных пресс-материалов имеет ряд преимуществ: объемная или массовая дозировка заменяется

более простой штучной, в связи с уплотнением материала и уменьшения воздушных включений повышается теплопроводность, становится возможным высокотемпературный предварительный подогрев токами высокой частоты (ТВЧ), сокращаются размеры загрузочных камер пресс-форм, уменьшается пылеобразование. Все это позволяет сократить продолжительность цикла прессования, улучшить качество изделий и условий труда, повысить производительность оборудования.

Холодное формование таблеток

Холодное формование таблеток производится в пресс-форме для двухстороннего прессования, позволяющей получать таблетки диаметром 30 мм и высотой до 15 мм. В пресс-форму загружают 7 - 8 г пресс-материала и устанавливают ее между плитами ручного гидравлического пресса с номинальным усилием 50 кН (может быть использована разрывная машина с таким же номинальным усилием).

Усилие, прикладываемое к пуансону, рассчитывается по формуле

$$F = p_{уд} S_{пр} , \quad (7.1)$$

где $p_{уд}$ - удельное давление таблетирования, МПа; $S_{пр}$ - площадь проекции изделия на плоскость, перпендикулярную направлению приложения прессующего усилия.

Начальное удельное давление таблетирования принимается 30 МПа. Последующие запрессовки проводят при давлении, превышающем предыдущие на 15 МПа. Выдержка под давлением должна быть не менее 30 с. При таблетировании применяют нефракционированный пресс-порошок и различные фракции этого же порошка. При каждом значении давления проводят два параллельных опыта.

Определяют плотность и прочность таблеток. Для этого штангенциркулем измеряют диаметр и высоту таблетки с точностью до 0,1 мм, а затем взвешивают ее на технических весах с точностью до 0,01 г. Плотность рассчитывают по формуле (7.2):

$$\rho = G/V , \quad (7.2)$$

где G - масса таблетки, кг; V - объем таблетки, м³.

Прочность таблетки проверяют на разрывной машине путем вдавливания в материал шарика диаметром 5,5 мм. Прочность изделий или полуфабрикатов после холодного прессования обеспечивается за счет механического зацепления частиц, сил трения и электростатического притяжения. Необходимо обеспечить такую прочность таблетки, чтобы ее масса не изменялась при транспортировке к пресс-форме горячего прессования.

За прочность таблетки принимают усилие, при котором происходит ее разрушение. Таблетки пригодны для переработки, если их прочность не ниже 785 Н.

Результаты опытов заносят в табл. 7.1. По результатам опытов строятся графические зависимости прочность таблетки (плотность) - давление таблетирования.

7.1 Параметры таблетирования

№ образца	Материал	Удельное давление, МПа	Плотность, кг/м ³	Прочность, МПа
1	2	3	4	5

На основании анализа полученных данных определяют необходимое удельное давление таблетирования.

Полученные заготовки (таблетки) используются при определении текучести термореактивного материала по Рашигу.

Определение текучести термореактивного материала

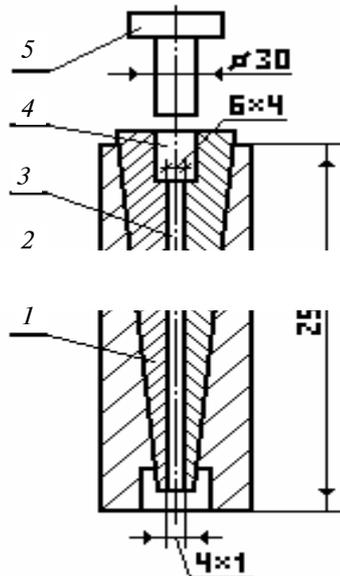
Текучесть по Рашигу характеризует способность материала к заполнению пресс-формы при определенной температуре. При этом учитываются: тип смолы и наполнителя, их соотношение, содержание летучих.

На рабочем месте изучается конструкция прессовой установки. Проверяется работа гидравлического привода. Затем включают электрообогрев пресс-формы.

Из пресс-материала (необходимо взять 7 - 10 г) при комнатной температуре получают таблетку диаметром 30 мм. Можно использовать таблетки от прошлой лабораторной работы. Таблетку помещают в загрузочную камеру специальной пресс-формы Рашига (рис. 7.1). Она представляет собой стальную обойму высотой 250 мм, в которую вставлен стальной

съемный корпус, состоящий из двух половин и имеющих эллиптический канал с уменьшающимся сечением, в котором оформляется стерженек "стрела". Пресс-форма снабжена гнездом для термометра.

Прессование производится без предварительного подогрева таблетки при температуре нагрева пресс-формы от 150 до 200 °С и удельном давлении ($30 \pm 2,5$) МПа. При этом необходимо достигнуть такой интенсивности подачи рабочей жидкости в гидроцилиндр, чтобы время с момента помещения таблетки в форму до достижения полного давления составляло не более 20 с. Время выдержки материала под давлением (в зависимости от типа материала) должно составлять 180 с. Во время прессования поддерживается постоянное давление рабочей жидкости.



По окончании горячего прессования необходимо выключить электрообогрев пресс-формы, с помощью винтового приспособления вынуть конусные полуформы из стальной обоймы. После разъема полуформы линейкой измерить "стрелу" отпрессованного образца. Длина стерженька в миллиметрах до его основания у плотно запрессованного диска является мерой текучести материала. В качестве результата измерения принимают среднее из трех определений. Результаты измерения заносятся в табл. 7.2.

7.2 Режимы определения текучести по Рашигу

№ образца	Материал	Температура, °С	Давление, МПа	Текучесть по Рашигу
1	2	3	4	

Отчет

- 1 Описание процессов, происходящих при холодном прессовании термореактивных пластмасс.
- 2 Последовательность операций технологического процесса переработки реактопластов методом прессования и проведения лабораторной работы.
- 3 Принципиальная схема применяемого оборудования и пресс-форм.
- 4 Технологические параметры процесса прессования изделий.
- 5 Результаты определения качественных показателей сырья и готовых изделий.
- 6 Графические зависимости.

Контрольные вопросы

- 1 Какие материалы называются реактопластами?
- 2 Компоненты феноло-формальдегидных пресс-порошков.
- 3 Перечислите технологические параметры процесса прессования.
- 4 В каких единицах измеряется текучесть пресс-материала, скорость прессования.
- 5 Методы определения текучести термореактивных полимерных материалов.
- 6 Пути повышения производительности процесса прессования.
- 7 Пути повышения качества изделий, получаемых прессованием.

Лабораторная работа 8

ПЕРЕРАБОТКА РЕАКТОПЛАСТОВ МЕТОДОМ КОМПРЕССИОННОГО ПРЕССОВАНИЯ

Цель работы: установление влияния технологических параметров прессования на качество и свойства прессовочных изделий.

Оборудование, оснастка, приборы: пресс гидравлический, пресс-форма для стандартных образцов, термостат на 200 °С, весы технические, секундомер.

Материалы: порошкообразные и волокнистые прессовочные материалы на основе фенолоформальдегидных (фенопласты), карбамидных (аминопласты), полиэфирных смол.

Предварительная подготовка

- 1 Изучить процесс прессования по литературе [1, с. 68 - 81; 2, с. 38 - 51; 17, с. 251 - 266; 19, с. 344 - 361].
- 2 Ознакомиться с конструкциями прессового оборудования [20, с. 87 - 172].
- 3 Изучить методики определения качества изделий, полученных прессованием [21, с. 65 - 72].

Порядок выполнения работы

- 1 Ознакомиться с инструкцией по охране труда и технике безопасности при работе на прессе.
- 2 Определить технологические свойства прессовочных материалов.
- 3 Определить технологические параметры прессования.
- 4 Определить качество отпрессованных изделий.

Методические указания

Прессование - это способ формования изделий из пластических масс при повышенной температуре и давлении в формах, устанавливаемых на прессах. Прессованием получают изделия из пресс-порошков, волокнитов или слоистых пластиков преимущественно на основе реактопластов. Перед формованием контролируют качество и производят подготовку пресс-материалов, которая включает в себя сушку содержащих повышенное количество влаги материалов, дозирование, таблетирование и предварительный подогрев.

Прессование – циклический технологический процесс, включающий в себя следующие стадии: установка арматуры и загрузка пресс-материала или таблетки в матрицу, опускание плунжера и замыкание пресс-формы, подпрессовка или спуск газов, нагрев пресс-материала до температуры прессования, выдержка под давлением, выталкивание изделий, очистка и смазка пресс-формы.

Для повышения производительности пресса материал перед загрузкой предварительно прогревается. У термореактивных пресс-материалов температура прессования составляет 180 – 200 °С, с глубоким предварительным подогревом до 210 °С.

Время выдержки под давлением определяется по формуле (8.1):

$$\tau_{\text{внд}} = vS, \quad (8.1)$$

где v - скорость отверждения (с/мм); S - максимальный размер толщины изделия.

В последние годы выпускаются пресс-материалы со скоростью отверждения 10 - 30 с/мм.

При горячем прессовании реактопластов в пресс-формах происходят два процесса: формование изделия и отверждение материала.

Формование изделия производится при удельном давлении прессования 20 - 60 МПа. Это давление зависит от физико-химических свойств связующего, наполнителя, их соотношения, степени конденсации связующего, от габаритов и конфигурации изделия и др. Процесс формования длится несколько секунд.

Давление отверждения составляет 10 - 20 % от давления формования и должно быть 15 - 20 МПа. Величина давления отверждения на 0,2 - 0,3 МПа превышает парциальное давление паров воды или летучих внутри изделия. В зависимости от влажности материала для вывода паров предусматривается одна или несколько подпрессовок. Продолжительность отверждения определяется скоростью химического процесса - поликонденсации связующего. Минимальное время отверждения определяется из расчета, чтобы изделие при выталкивании из пресс-формы не деформировалось. Дополнительную поликонденсацию связующего желательно вести в бакелизаторе под давлением 1,5 - 2,0 МПа и температуре 80 – 150 °С.

Готовые изделия, полученные прессованием, подвергают высоко- или низкотемпературной термообработке. В процессе высокотемпературной термообработки при температуре равной или выше температуры прессования происходит доотверждение материала, повышение его жесткости, твердости и электроизоляционных свойств. Низкотемпературная термообработка при температуре близкой к температуре стеклования способствует снятию остаточных напряжений и повышению прочности изделий.

Определение технологических свойств материалов

К технологическим свойствам пресс-материала относятся: содержание влаги и летучих, текучесть, удельный объем и насыпная плотность, гранулометрический состав, сыпучесть, таблетуемость и др. Методики определения технологических свойств пресс-материалов описаны в предыдущих лабораторных работах 1 и 7.

В этой работе приводятся методики определения температуры и продолжительности предварительного подогрева пресс-материалов, технологических параметров прессования и оценки качества отпрессованных изделий.

Определение температуры и продолжительности предварительного подогрева пресс-материалов

Температуру и продолжительность предварительного подогрева определяют на пресс-форме Рашига или пластометре Канавца. Предварительный подогрев пресс-материала может осуществляться в термостате, контактным способом или в генераторе токов высокой частоты.

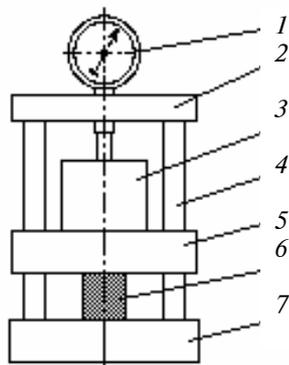
При определении температуры и времени предварительного подогрева пресс-материала в пресс-форме Рашига минимальная температура предварительного подогрева $T_{п.мин}$ должна быть на 10 °С выше температуры размягчения пресс-материала.

Температуру размягчения T_p определяют на таблетках диаметром 30 мм и толщиной 3 мм, которые помещают в вискозиметр с плоскопараллельными пластинами (рис. 8.1).

Таблетку под давлением 0,3 МПа нагревают со скоростью 3 °С/мин. При этом следят за стрелкой индикатора, показывающей изменение высоты таблетки. За T_p принимают такую температуру, при которой происходит резкое уменьшение высоты таблетки.

В термостат или между плитами, нагретыми до $T_{п.мин} = (T_p + 10)$ (°С), помещают таблетку пресс-материала диаметром 30 мм и массой 7,5 г. Продолжительность предварительного подогрева в термостате 3 мин., между плитами - 1 мин. Следующую таблетку прогревают на 3 мин. больше предыдущей. Продолжительность предварительного подогрева каждой таблетки увеличивают до тех пор, пока текучесть подогретого материала не станет ниже текучести, не подогретого материала. Затем температуру термостата (плит) повышают на 20 °С и снова определяют текучесть. За максимальную температуру предварительного подогрева принимают температуру, при которой текучесть материала после 3 мин прогрева в термостате или 1 мин между нагревательными плитами резко уменьшается.

Результаты опытов для разных температур выражают в виде графиков в координатах текучесть - время предварительного подогрева. На основании полученных зависимостей определяют время предварительного подогрева (при разных температурах). За время предварительного подогрева принимается время, при котором материал приобретает максимальную текучесть.



8.1

:

**1 - ИНДИКАТОР
ЧАСОВОГО ТИПА; 2 -
ВЕРХНЯЯ ПЛИТА**

При определении оптимальной температуры и времени предварительного подогрева пресс-материала на пластометре Канавца минимальную температуру предварительного подогрева $T_{п.мин}$ принимают равной $(T_p + 10)$. Минимальное время предварительного подогрева в термостате - 3 мин., между нагревательными плитами - 1 мин. В каждом последующем опыте время предварительного подогрева увеличивают соответственно на 3 мин и 1 мин. При нагреве в термостате или между плитами температуру в каждой последующей серии испытаний повышают на 20 °С.

Предварительно нагретый материал исследуют затем на пластометре Канавца, матрица которого прогрета до оптимальной температуры формования. Для фенопластов эта температура составляет (170 ± 5) °С, для аминопластов она равна (140 ± 5) °С.

Строят графики зависимости в координатах время вязкотекучего состояния ($\tau_{втс}$) - время предварительного подогрева ($\tau_{п}$) для разных температур предварительного подогрева.

Оптимальный режим предварительного подогрева находят следующим образом. Материал в вязкотекучем состоянии помещают в загрузочную камеру формы и придают ему требуемую конфигурацию. Опытным путем определяют

время загрузки $\tau_{загр}$ и время полного смыкания формы $\tau_{упл}$.

Время предварительного подогрева будет оптимальным $\tau_{п.опт}$ при данной температуре, если $\tau_{втс}$ подогретого материала на 10 с больше времени его загрузки и уплотнения. За оптимальную температуру предварительного подогрева принимают такую температуру, при которой $\tau_{п.опт}$ достигается за более короткое время.

Определение технологических параметров прессования

Основными технологическими параметрами прессования терморезактивных материалов являются температура, время выдержки под давлением и давление прессования.

1 Определение температуры прессования. Оптимальную температуру прессования $T_{пр.опт}$ определяют с помощью пластометра Канавца (рис. 8.2).

Пластометр состоит из вращающейся пресс-формы 4, бестрениевой опоры 9, гидравлического цилиндра 2, мотор редуктора 10, силоизмерителя 18 и записывающего приспособления 15, 16.

Пресс-форма 4 представляет собой два коаксиальных цилиндра. Пространство между цилиндрами заполняется испытываемым прессовочным материалом.

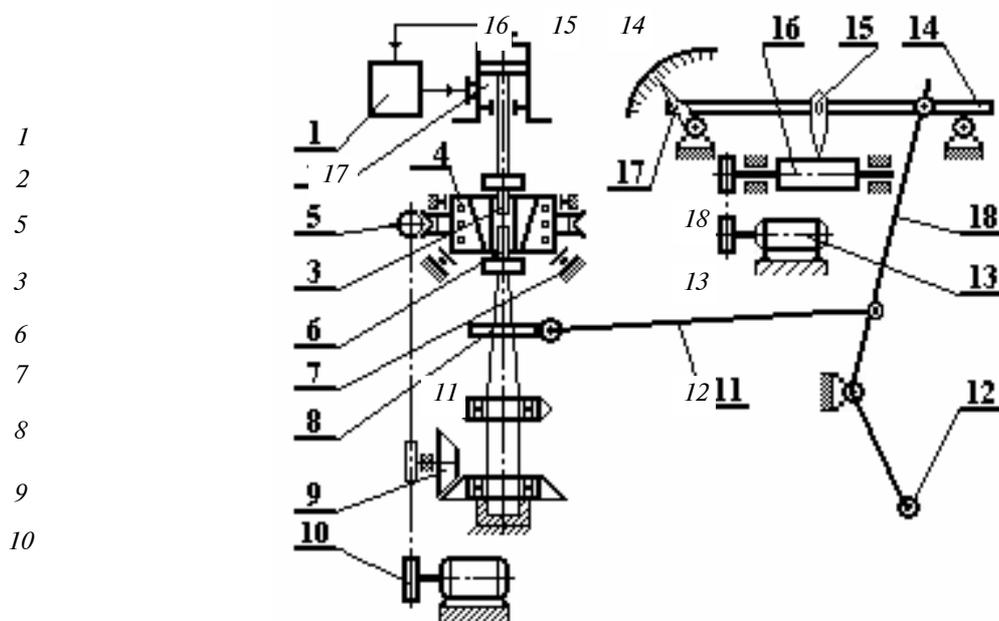


Рис. 8.2 Схема пластометра Канавца

Наружная часть пресс-формы опирается на два подшипника 7 и приводится во вращение через редуктор 5 от электродвигателя 10. На оформляющих поверхностях пресс-формы нанесены рифления глубиной до 1 мм для устранения скольжения материала по стенкам. Внутренняя поверхность пресс-формы касается испытуемого образца и штыря 6, расположенного на особой системе подшипников - бестрениевой опоре 9.

Бестрениевая опора состоит из системы одинаковых двухрядных подшипников. Одной плоскостью подшипник опирается на подвижную опору, а на другой расположен штырь 6.

Под действием давления на испытываемый образец подвижная опора может перемещаться подобно чашке весов. В результате этого перемещения усилие равномерно распределяется на оба подшипника. Средние части подшипников приводятся во вращение с небольшой скоростью в противоположных направлениях. Этим устраняется так называемое трение покоя и достигается равенство противоположно направленных моментов трения в подшипниках.

Штырь 6 через рычаг 11, расположенный на оси вращения, а также через рычаг 18 и вершину призмы связан с маятниковым силоизмерителем 12. Испытываемый образец имеет форму полого цилиндра с верхним дном в виде полусферы. Наружный диаметр образца равен диаметру гнезда пресс-формы, а внутренний - диаметру штыря 6. Усилие на пуансон при формовании материала и разъеме пресс-формы создается поршнем гидравлического цилиндра 2. Этот цилиндр подключен к индивидуальному малолитражному приводу 1. Изменение направления движения пуансона 3 осуществляют с помощью кранового дистрибутора.

Пресс-форма обогревается двумя электрическими нагревателями. Первый нагреватель расположен внутри вращающейся пресс-формы. Электрический ток к нему подводится через скользящие контакты. Второй нагреватель обогревает штырь. Оба нагревателя представляют собой спирали из нихрома с бифилярной (из двух нитей) намоткой. Такая намотка делается для того, чтобы магнитное поле тока не оказывало влияние на показания термопары, измеряющей температуру пресс-формы.

В зависимости от переключения шестерни редуктора вращение наружной части пресс-формы относительно неподвижной внутренней части ее может осуществляться с различными скоростями. Испытания терморезактивных прессовочных материалов производят при вращении пресс-формы. После запрессовки исследуемый материал подвергается деформации чистого однородного сдвига в узком зазоре между двумя коаксиальными цилиндрами при заданном постоянном градиенте скорости сдвига.

В пластометре сила P сопротивления внутреннему трению при сдвиге измеряется маятниковым силоизмерителем 18, состоящим из маятника с грузом 12, шкалы 17 и записывающего приспособления 15, 16.

Рычажная система силоизмерителя рассчитана таким образом, что при отклонении маятника ведущая рейка-палец описывает дугу в ту или другую сторону от вертикальной линии и одновременно перемещает рейку с пером и связанную с ней стрелку силоизмерителя по шкале прибора. Вес груза на маятнике подбирается так, чтобы цена деления шкалы была выражена в целых числах (в кг/см^2).

Барaban должен вращаться с такой скоростью, чтобы каждому сантиметру оси абсцисс на графике, который автоматически пишется прибором, соответствовало целое число секунд.

Так как на пластометре определяются свойства пластмасс в абсолютных физических величинах (вязкости), то прибор не требует градуировки по материалам с известной пластичностью.

В пластометре испытывают таблетированный материал при различных температурах. Начинают с температуры

$(T_p + 10)$ °С и повышают ее в каждом последующем опыте на 10 °С. На основании полученных данных строят графики зависимостей времени вязкотекучего состояния от температуры

$$\tau_{\text{втс}} = f(T) \quad (8.2)$$

и максимального напряжения при сдвиге от температуры

$$\sigma_{\text{сд,макс}} = f(T). \quad (8.3)$$

За оптимальную температуру прессования принимают температуру, при которой $\sigma_{\text{сд,макс}}$ отвержденного материала имеет наибольшую величину, а

$$\tau_{\text{втс}} \geq \tau_{\text{загр}} + \tau_{\text{упл}}. \quad (8.4)$$

Оптимальную температуру прессования определяют для исходного материала и материала, предварительно подогретого в течение различного времени при оптимальной температуре предварительного подогрева.

Как правило, оптимальная температура прессования зависит от типа пресс-материалов, их предварительной подготовки (таблетирование, применение подогрева), давления прессования, формы и размера изделия, а также от требований, предъявляемых к изделиям (внешний вид, электрические свойства и т. п.).

2 Определение времени выдержки материала в пресс-форме. Время выдержки материала в пресс-форме должно обеспечивать переход связующего в неплавкое и нерастворимое состояние в такой степени, какая требуется для получения соответствующего внешнего вида необходимых физико-механических и электрических свойств изделий.

При определении времени выдержки материала в пресс-форме следует учитывать температуру прессования, геометрическую форму изделия, теплофизические характеристики материала и данные испытаний, полученных на пластометре Канавца.

Время выдержки материала в пресс-форме $\tau_{\text{выд}}$ зависит от скорости нагревания материала до температуры отверждения и скорости отверждения. Поскольку теплопередача и отверждение материала в пресс-форме происходят в нестационарных условиях, точный расчет $\tau_{\text{выд}}$ чрезвычайно сложен. Для упрощения представляют $\tau_{\text{выд}}$ как сумму времен последовательных процессов нагрева $\tau_{\text{нагр}}$ и отверждения $\tau_{\text{отв}}$:

$$\tau_{\text{выд}} = \tau_{\text{нагр}} + \tau_{\text{отв}}$$

Величину $\tau_{\text{нагр}}$ рассчитывают по формуле (8.5):

$$\tau_{\text{нагр}} = \frac{R^2 Fo}{\alpha}, \quad (8.5)$$

где Fo - критерий Фурье; α - коэффициент температуропроводности пластмассы, $\text{м}^2/\text{с}$; R - половина толщины стенки изделия, м.

Критерий Фурье определяют по графику (рис. 8.3).

Рассчитывают коэффициент θ по формуле (8.6):

$$\theta = \frac{t_c - t}{t_c - t_0}, \quad (8.6)$$

где t_c - температура стенки пресс-формы, °С; t - требуемая температура нагрева в центре изделия (обычно выбирается на 4 °С ниже t_c), °С; t_0 - температура предварительного нагрева материала, °С.

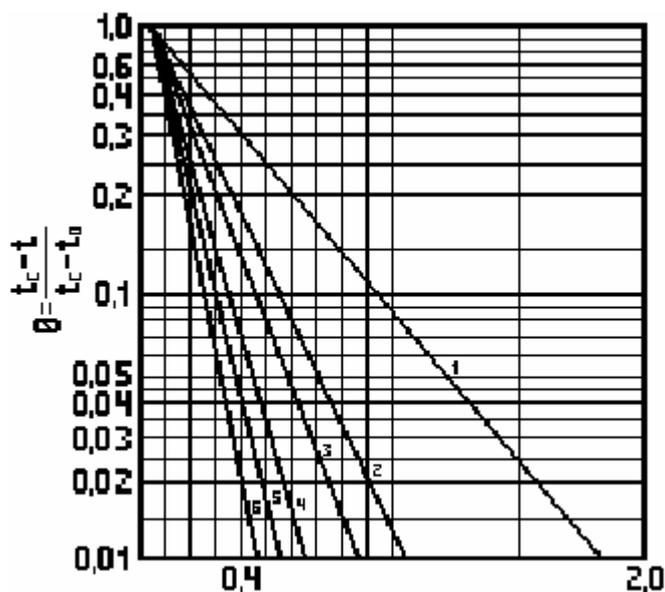


Рис. 8.3 Зависимость $\theta = f(Fo)$ для изделий простейшей геометрической формы:

1 - пластина; 2 - брусок; 3 - цилиндр ($h > d$); 4 - куб;

5 - цилиндр ($h = d$); 6 - шар

Откладывают θ на оси ординат и через эту точку проводят прямую, параллельную оси абсцисс, до пересечения с соответствующей прямой 1 (для пластины), 2 (для бруска) и т.д. Точку пересечения проектируют на ось абсцисс и находят Fo .

Значения коэффициента температуропроводности для различных полимерных материалов приведены в табл. 8.1.

8.1 Значения коэффициента температуропроводности некоторых полимерных материалов при 20 °С

Наименование материала	Коэффициент температуропроводности, м ² /с
Полиизопрен	$0,90 \cdot 10^{-7}$
Полиэтиленоксид	$0,90 \cdot 10^{-7}$
Полистирол	$0,99 \cdot 10^{-7}$
Полиметилметакрилат	$1,19 \cdot 10^{-7}$
Поливинилхлорид	$1,21 \cdot 10^{-7}$
Полиэтилен низкой плотности	$1,40 \cdot 10^{-7}$

Коэффициент температуропроводности может быть рассчитан по формуле (8.7):

$$a = \frac{\lambda}{C_p \rho}, \quad (8.7)$$

где λ - теплопроводность, Вт/м К; C_p - удельная теплоемкость при постоянном давлении, Дж/кг К; ρ - плотность, кг/м³.

Время отверждения при температуре $T_{отв}$ можно рассчитать по формуле (8.8):

$$\tau_{отв} = 0,85(\tau'_{отв} - \tau_0) e^{\gamma(t'_0 - t_0 - 4)}, \quad (8.8)$$

где $\tau'_{отв}$ - время отверждения по пластометру Канавца при температуре испытаний t'_0 (для фенопластов 170 °С, для аминопластов составляет 140 °С), с; τ_0 - время нагревания материала до температуры ($t'_0 - 4$) °С при испытании его на пластометре, с; γ - температурный коэффициент (для новолачных пресс-порошков с древесным наполнителем γ равен 0,032 (1/°С), для резольных пресс-порошков γ составляет 0,025 (1/°С)).

3 Определение давления прессования. Давление при прессовании обеспечивает формирование изделия из пресс-материала, находящегося в вязкотекучем состоянии, и противодействует давлению паров летучих веществ, выделяющихся в

процессе отверждения. Оно зависит от типа пресс-материала и его компонентов (особенно наполнителя), текучести, температуры прессования, скорости отверждения, типа пресс-формы и формы изделия.

Для определения необходимого давления прессования производят пробные запрессовки. Давление должно быть минимальным, обеспечивающим нормальное оформление изделия.

Применяемые давления прессования для некоторых наиболее распространенных пресс-материалов приведены в табл. 8.2.

Пробные запрессовки производят при минимальном давлении (см. табл. 8.2), повышая его в каждой последующей запрессовке на 5 МПа до тех пор, пока при данной температуре формования не получится качественное изделие.

8.2 Параметры прессования

Пресс-материал	Давление прессования, МПа	
	без предвари- тельного подогрева	с предвари- тельным подогревом
Фенопласты		
новолачные пресс-порошки	25 - 30	15 - 30
резольные пресс-порошки	25 - 35	20 - 30
волокнит	30 - 45	25 - 40
пропитанная ткань (крошка)	40 - 60	-
Пресс-материал АГ-4	30 - 40	-
Аминопласты	30 - 40	20 - 35

Определение качества отпрессованных изделий

Качество образцов определяют по внешнему виду, усадке, разрушающему напряжению при изгибе и сжатии, модулю упругости при изгибе, ударной вязкости, твердости, теплостойкости по Мартенсу, диэлектрической проницаемости, тангенсу угла диэлектрических потерь, поверхностному и объемному электрическому сопротивлению, электрической прочности, водопоглощению.

В данной лабораторной работе студенты производят визуальный качественный контроль отпрессованных изделий. Инструментальный контроль производится в последующих лабораторных работах.

Определение качества изделий по внешнему виду. Тщательно осматривают отпрессованные образцы, отмечая следующие дефекты: недопрессовку, вздутия, трещины и коробление.

Недопрессовка проявляется в наличии на поверхности изделия рыхлых или пористых мест. Она может быть обусловлена:

- недостаточным давлением прессования (если заусенец толстый);
- малой навеской пресс-материала (если заусенец тонкий);
- низкой текучестью пресс-материала (несоблюдение режима предварительного подогрева);
- слишком высокой или слишком низкой температурой прессования;
- очень медленным опусканием пуансона и преждевременным отверждением;
- чрезмерным вытеканием пресс-материала вследствие больших зазоров между пуансоном и матрицей;
- нехваткой материала в результате выброса его при быстром замыкании пресс-формы;
- засорением направляющих втулок;
- неисправностью пресс-формы, ее перекосом и т.п.

Разновидностью недопрессовки является матовость, характеризующаяся отсутствием на изделии глянцевой пленки. Матовость появляется при слишком низкой температуре оформляющей поверхности пресс-формы.

Вздутия - это мелкие или крупные пузыри и вспучивания на наружной поверхности изделия, иногда сопровождающиеся появлением трещин. Образование вздутий объясняется преимущественно тем, что оставшиеся в изделии газообразные продукты после снятия давления деформируют еще не полностью отвержденную поверхность.

Вздутия могут появляться из-за низкой температуры пресс-формы, повышенной влажности пресс-материала или попадания воды, недостаточного предварительного подогрева пресс-материала и отсутствия подпрессовок, предусмотренных технологическим режимом, неравномерностью нагрева поверхности пресс-формы или повышения ее температуры, наличия в пресс-материале большого количества воздуха и летучих веществ, удаление которых при прессовании представляет большие трудности.

Коробление проявляется в искажении геометрической формы изделия и в большинстве случаев является следствием неравномерного прогрева оформляющей поверхности пресс-формы или недостаточной степени отверждения пресс-материала.

Изделия с явными поверхностными дефектами отбраковываются.

Анализируют причины появления, дефектов.

Отчет

- 1 Описание предварительной подготовки по рекомендуемой лите- ратуре.
- 2 Кинематическая схема оборудования и экспериментальных установок.
- 3 Графики зависимостей и табличные данные.

Контрольные вопросы

- 1 Технологические свойства, характеризующие пригодность реактопластов к переработке.
- 2 Как влияет содержание влаги и летучих продуктов на технологические свойства пресс-материалов и качество изделий?
- 3 Методы определения текучести пресс-материала.
- 4 Подготовка пресс-материалов к формованию.
- 5 Необходимость таблетирования пресс-материалов.
- 6 Преимущества предварительного подогрева пресс-материалов.
- 7 Способы определения оптимального давления и температуры формования.
- 8 Методика определения времени выдержки материала в пресс-форме.
- 9 Основные виды дефектов и причины их возникновения.
- 10 Влияние технологического режима прессования на усадку пресс-материала.
- 11 Влияние технологического режима прессования на механические и электрические свойства материала.

Лабораторная работа 9

МЕХАНИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ ПЛАСТМАСС

Цель работы: практическое освоение основных методов механических испытаний пластмасс и ознакомление с испытательным оборудованием.

Оборудование: разрывная машина, маятниковый копер, прибор для изгибания пластмасс МН-1, прибор для определения твердости пластмасс.

Предварительная подготовка

- 1 Изучить основные методы механических испытаний пластмасс [22 - 27].
- 2 Ознакомиться с применяемым для испытаний оборудованием и приборами [22 - 27].

Порядок выполнения работы

- 1 Ознакомиться с инструкцией по охране труда и технике безопасности при работе на разрывной машине.
- 2 Подготовить образцы для проведения испытаний.
- 3 С помощью соответствующих инструментов измерить рабочие участки образцов.
- 4 Произвести испытания материалов на растяжение, ударный изгиб, сжатие, статический изгиб.
- 5 По результатам испытаний рассчитать прочность полимерных материалов.
- 6 Определить твердость пластмасс.

Методические указания

Механические испытания пластических масс определяют те или иные свойства полимерных материалов, позволяющие оценить поведение материала в поле механических сил. Испытания проводятся по унифицированным методикам, что позволяет сравнивать поведение различных пластмасс в одинаковых условиях.

Подавляющее большинство механических характеристик полимерных материалов существенно зависит от условий испытаний - времени нагрузки, скорости нагружения, температуры. Поэтому механические свойства пластмасс приходится оценивать множеством показателей, используя большое количество методов испытаний и разнообразную аппаратуру.

Аппаратура для механических испытаний пластмасс разделяется на следующие группы:

- разрывные универсальные машины;
- приборы для испытания на удар;

- приборы для определения твердости;
- машины и приборы для испытания на усталость;
- машины для испытаний на длительную прочность, ползучесть и релаксацию;
- машины для испытания на трение и износ;
- приборы для термомеханических испытаний и определения хрупкости.

Вся испытательная аппаратура должна иметь минимальную инерционность при установленных режимах испытаний, так как она влияет на способность аппаратуры достоверно фиксировать измеряемую величину. Форма и размеры образцов для механических испытаний предусматриваются в соответствующих стандартах и технических условиях на пластмассы, и выбирать их нужно, учитывая вид и величину измеряемой деформации, анизотропию и другие особенности испытываемых материалов. Полученные в результате механических испытаний характеристики применяют для контроля материала при выпуске серийной продукции, его инженерной оценке (при выборе материала для создания изделий), а также для конструкторских расчетов изделий.

Определение прочности

1 Испытание полимерных материалов на растяжение проводят согласно ГОСТ 11262-80. Сущность метода состоит в испытании образца пластмассы на растяжение, при котором определяют:

- разрушающее напряжение при растяжении, Н/м^2 ;
- предел текучести при растяжении, Н/м^2 ;
- условный предел текучести, Н/м^2 ;
- относительное удлинение при разрыве, %;
- относительное удлинение при пределе текучести, %.

Для испытания применяют образцы типов 1, 2 и 3 (рис. 9.1). Выбор типа образца предусматривается в стандартах или ТУ на материал. Размеры образцов указаны в табл. 9.1. Образец типа 1 применяют для испытания пластмасс с высоким относительным удлинением при разрыве (полиэтилен, пластифицированный ПВХ). Образец типа 2 применяют для испытания большинства материалов (терморезистивные, термопластичные и слоистые материалы). Образец типа 3 в форме полоски применяют для испытания стеклопластиков.

Все образцы изготавливают формованием или механической обработкой полуфабрикатов или специальных заготовок. Они должны иметь гладкую ровную поверхность без вздутий, сколов, трещин, раковин и других видимых дефектов. Количество образцов, взятых для испытаний от одной партии материалов в каждом выбранном направлении должно быть не менее пяти.

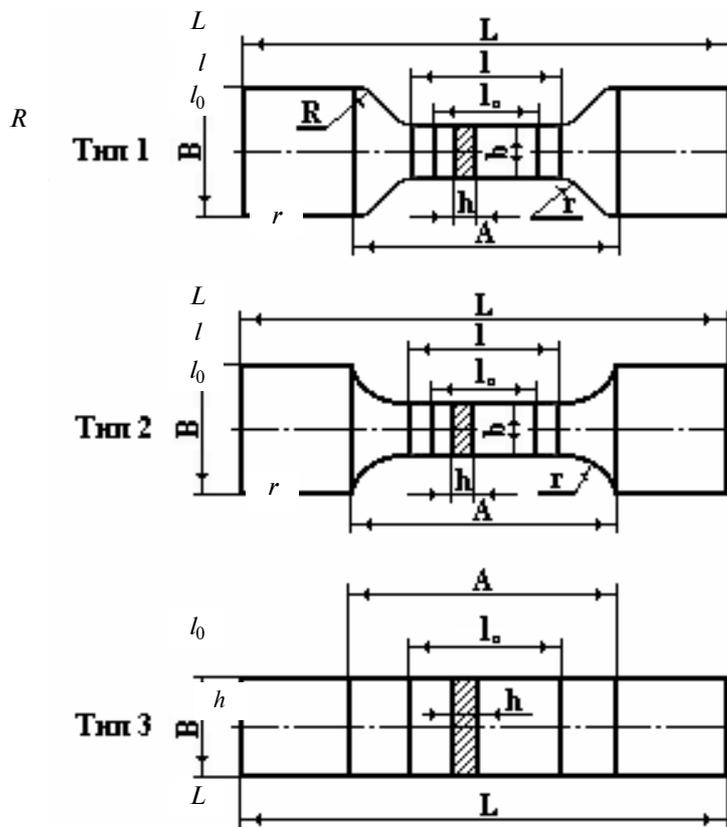


Рис. 9.1 Типы образцов

Испытание проводят при скорости раздвижения захватов испытательной машины, предусмотренной в стандартах или технических условиях на пластмассу. При выборе скорости следует руководствоваться тем, чтобы время от момента

приложения нагрузки к образцу до момента его разрушения было не менее 1 мин при испытании материалов, имеющих предел текучести, и не менее 30 с - для материалов, не имеющих предел текучести.

Перед испытанием измеряют толщину и ширину образца в его рабочей части с точностью до 0,1 мм не менее чем в трех местах. В расчет принимается наименьшая площадь поперечного сечения. Если результаты измерений толщины и ширины рабочей части различаются больше, чем на 0,2 мм, то образец заменяют другим.

Перед испытанием на образец наносят метки, ограничивающие его базу и положение кромок захватов. Метки должны быть расположены симметрично на расстояниях, величины которых приведены в табл. 9.1. Нанесение меток не должно приводить к изменению свойств образца и к его разрушению по меткам.

9.1 Параметры образцов, испытываемых на растяжение

Размеры образцов	Обозначение	Типы образцов		
		1	2	3
1 Общая длина, мм	L	115	150	150
2 Ширина головки, мм	B	25 ± 1	$20 \pm 0,5$	-
3 Длина рабочей части, мм	l	33 ± 1	$60 \pm 0,5$	-
4 Ширина рабочей части, мм	b	$6 \pm 0,5$	$10 \pm 0,5$	$15 \pm 0,5$
5 Размеры закруглений, мм	R r	25 ± 1	-	-
6 Расстояние между метками А, определяющими положение кромок захватов на образце, мм		80 ± 5	115 ± 5	100 ± 2
7 Толщина рабочей части, мм	h	1 - 2	3 - 4	0,5 - 6
8 Длина базы, мм	l_0	252 ± 1	$50 \pm 0,5$	50 ± 1

Образец закрепляют в захваты испытательной машины по меткам, определяющим положение кромок захватов на образце, так, чтобы исключить скольжение его в процессе испытания, при этом разрушение его не должно происходить в месте закрепления. Продольная ось образца должна совпадать с осью захватов и направлением движения подвижного захвата.

В процессе растяжения измеряют нагрузку и удлинение непрерывно или в момент достижения предела текучести и разрушения.

В расчет принимают результаты, полученные на образцах, разрушившихся в пределах рабочей части.

Разрушающее напряжение при растяжении σ_p и предел текучести при растяжении σ_T в Н/м² вычисляют по формулам (9.1) и (9.2):

$$\sigma_p = P_p / bh; \quad (9.1)$$

$$\sigma_T = P_{тр} / bh, \quad (9.2)$$

где P_p - нагрузка, при которой образец разрушился, Н; $P_{тр}$ - нагрузка в момент достижения предела текучести, Н; b и h - ширина и толщина рабочей части образца, м.

Относительное удлинение при разрыве ε_p и относительное удлинение, соответствующее пределу текучести $\varepsilon_{тр}$ в % вычисляют по формулам (9.3) и (9.4):

$$\varepsilon_p = \frac{\Delta l_p}{l_0} 100; \quad (9.3)$$

$$\varepsilon_{тр} = \frac{\Delta l_{тр}}{l_0} 100, \quad (9.4)$$

где Δl_p , $\Delta l_{тр}$ - приращение длины базы образца при разрыве и при пределе текучести, соответственно, м; l_0 - начальная база образца м.

За результат испытания принимают среднее арифметическое всех параллельных определений.

Характеристику разброса данных оценивают по величине среднего или стандартного отклонения.

Среднее отклонение вычисляют по формуле (9.5):

$$\Delta X = \left(\sum (x - x_{cp}) \right) / N . \quad (9.5)$$

Величина стандартного отклонения σ рассчитывается из соотношения (9.6):

$$\sigma = \sqrt{\left(\sum (x^2 - N x_{cp}^2) / (N - 1) \right)}, \quad (9.6)$$

где X - величина показателя каждого образца; x_{cp} - величина среднего арифметического значения из результатов испытания параллельных образцов; $\sum (x - x_{cp})$ - сумма абсолютных величин разностей.

2 Испытание пластмасс на ударный изгиб производится согласно ГОСТ 4647-80, который устанавливает два вида испытаний:

- испытание ненадрезанного образца, свободно лежащего на двух опорах;
- испытание образца с надрезом, свободно лежащего на двух опорах.

Стандарт не распространяется на пластические массы, не разрушающиеся при испытании.

Сущность метода состоит в определении ударной вязкости ($H \cdot м/м^2$), удельной работы ударного разрушения ($H \cdot м/м^2$), коэффициента ослабления (%).

При испытании не надрезанного образца определяют ударную вязкость и удельную работу ударного разрушения, а образца с надрезом - ударную вязкость и коэффициент ослабления.

Испытания производят на маятниковом копре, в котором образец свободно лежит на двух опорах. Нагрузка осуществляется при помощи маятника, производящего удар по середине образца.

Размер копра подбирается такой, чтобы затрачиваемая на разрушение образца работа составляла не менее 10 % и не более 90 % от номинальной работоспособности копра.

Плоскость качания маятника должна быть перпендикулярна оси образца, уложенного на опоры, и проходить в середине пролета между ними (рис. 9.2). Нож маятника должен вписываться в угол $(45 \pm 1)^\circ$ и оканчиваться закруглением 3 мм.

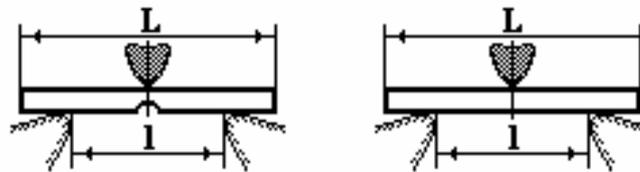


Рис. 9.2 Положение образца на опорах

Расстояние между опорами должно быть $(40 \pm 0,2)$ мм для образцов толщиной 5 мм и не менее $(70 \pm 0,2)$ мм для образцов толщиной более 5 мм. Маятник должен касаться образца по линии, проходящей через всю поверхность широкой стороны.

Образцы испытуемых пластических масс должны иметь форму брусков прямоугольного сечения с размерами, указанными в табл. 9.2 с гладкой ровной поверхностью без трещин, вздутий, сколов и других видимых дефектов.

9.2 Параметры образцов, испытываемых на ударный изгиб

Способ изготовления образцов	Размеры образцов, мм		
	толщина	ширина	длина
1 Прессование	$10 \pm 0,5$	$15 \pm 0,5$	120 ± 2
2 Литье под давлением	$4 \pm 0,2$	$6 \pm 0,2$	55 ± 1
3 Вырезание листовых и слоистых материалов:	фактическая		
а) толщиной от 1 до 5 мм	толщина	$15 \pm 0,5$	55 ± 1
б) толщиной от 5 до 10 мм	листа	$15 \pm 0,5$	120 ± 2

Количество образцов, взятых на испытание от одной партии материалов, должно быть не менее трех. Образцы анизотропных листовых и слоистых материалов должны быть вырезаны в двух направлениях: в продольном и поперечном.

Надрез наносят только на образцы сечением 10×15 мм и 4×6 мм.

Форма, размеры и место расположения надреза должны соответствовать рис. 9.3.

Надрез рекомендуется наносить однозубой фрезой или резцом под углом $15 - 20^\circ$ со скоростью подачи $13 - 130$ мм/мин. в зависимости от материала.

Перед испытанием замеряют толщину и ширину образцов в средней части с точностью до 0,1 мм. Толщину образцов с надрезом непосредственно в месте надреза.

Образцы выдерживают не менее 16 часов при $T = (20 \pm 2)^\circ C$, после чего проводят испытания.

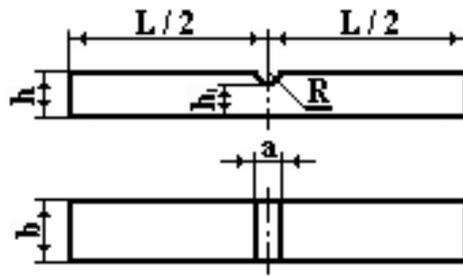


Рис. 9.3 Форма, размеры и место расположения надреза:

$a = (2 \pm 0,2)$ мм для бруска сечением 10×15 мм;

$a = (0,8 \pm 0,1)$ мм для бруска сечением 4×6 мм

Устанавливают опоры в соответствии с требованиями для испытания данного типа образца. Укладывают на них образец так, чтобы удар пришелся по его широкой стороне. При этом образец должен плотно прилегать к стенкам опор.

Удар производится по противоположной надрезу стороне, плоскость удара должна совпадать с плоскостью надреза.

Маятник поднимают до верхнего исходного положения, в котором он удерживается защелкой. Устанавливают стрелку шкалы в начальное положение и освобождают маятник, давая ему свободно падать. После разрушения маятник останавливают и по шкале производят отсчет работы, затраченной на разрушение образца с точностью, равной половине цены деления соответствующей шкалы.

Если шкала копра имеет деление в градусах, то отсчет производят с точностью до 1° и величину затраченной работы (ΔA) вычисляют по формуле (9.7):

$$\Delta A = Gl[(\cos \beta - \cos \alpha) - (\cos \gamma - \cos \alpha)(\alpha + \beta)/(\alpha + \gamma)], \quad (9.7)$$

где G - вес маятника, Н; l - длина маятника - расстояние от оси подвеса до центра тяжести, м; α - угол зарядки маятника, град.; β - угол взлета маятника после разрушения образца, град.; γ - угол взлета маятника при холостом ходе, град.

Удар по образцу производится только один раз. Образец, не разрушившийся при испытании, заменяется другим.

Ударную вязкость образцов без надреза a и с надрезом a_1 вычисляют по формулам (9.8) и (9.9):

$$a = \Delta A / (bh); \quad (9.8)$$

$$a_1 = \Delta A_1 / (bh_1), \quad (9.9)$$

где ΔA , ΔA_1 - соответственно, работы, затраченные на разрушение образца без надреза и с надрезом, Н·м; b - ширина образца, м; h_1 , h - соответственно, толщина образца с надрезом и без надреза, м.

Удельную работу Z ударного разрушения в Н·м/м² вычисляют по формуле (9.10):

$$Z = 6\Delta A / (bh^2), \quad (9.10)$$

где $(bh^2)/6$ - момент сопротивления поперечного сечения образца, м³.

Коэффициент ослабления K в % определяют по формуле (9.11):

$$K = \frac{a_1}{a} \cdot 100. \quad (9.11)$$

За результат испытаний принимают средние арифметические величины ударной вязкости или удельной работы ударного разрушения испытываемых образцов.

3 Испытание пластмасс на сжатие производят по ГОСТ 4651-82.

Сущность метода состоит в определении:

- разрушающего напряжения при сжатии, Н/м²;
- напряжения при заданной относительной деформации сжатия, Н/м²;
- предела текучести при сжатии, Н/м²;
- условного (смещенного) предела текучести, Н/м²;
- относительной деформации сжатия при разрушении, %;
- относительной деформации сжатия при пределе текучести, %.

Испытания проводят на испытательной машине, позволяющей осуществить испытание на сжатие и обеспечивающей измерение нагрузки с погрешностью не более 1 % от измеряемой величины.

Испытательная машина должна быть снабжена двумя плоско-параллельными площадками и обеспечивать сближение их с определенной скоростью.

Для испытания применяют образцы в виде цилиндра, параллелепипеда с квадратным или прямоугольным основанием с размерами, приведенными в табл. 9.3.

9.3 Параметры образцов, испытываемых на сжатие

Вид образца	Модуль упругости материала, Н/м ²	Размеры образцов, мм			
		Высота, <i>h</i>	Длина, <i>a</i>	Ширина, <i>b</i>	Диаметр, <i>d</i>
1 Параллелепипед с квадратным основанием	1 · 10 ⁴	10 ± 0,5	10 ± 0,5	10 ± 0,5	-
	1 · 10 ⁴	15 ± 0,5	10 ± 0,5	10 ± 0,5	-
	1 · 10 ⁴	30 ± 0,5	15 ± 0,5	10 ± 0,5	-
2 Параллелепипед с прямоугольным основанием	1 · 10 ⁴	15 ± 0,5	15 ± 0,5	10 ± 0,5	-
3 Цилиндр	1 · 10 ⁴	30 ± 0,5	-	-	12 ± 0,5
	1 · 10 ⁴	15 ± 0,5	-	-	10 ± 0,5

Опорные плоскости образца должны быть параллельны между собой и перпендикулярны его оси. Количество образцов, взятых для испытания, должно быть не менее пяти. Перед испытанием образцы замеряют с точностью до 0,1 мм, затем устанавливают на опорные плиты испытательной машины так, чтобы продольная ось образца совпадала с направлением действия силы. При испытании скорость сближения должна быть (2 ± 0,1) мм/мин.

Разрушающее напряжение при сжатии $\sigma_{сж}$, предел текучести при сжатии $\sigma_{тс}$, условный (смещенный) предел текучести $\sigma_{утс}$ и напряжение при заданной относительной деформации сжатия σ_{25} в Н/м² вычисляют по формуле (9.12):

$$\sigma = P / F, \quad (9.12)$$

где P - соответствующая нагрузка, Н; F - площадь поперечного сечения образца, м².

Относительную деформацию сжатия при разрушении $\varepsilon_{рс}$ и при пределе текучести $\varepsilon_{тс}$ в процентах вычисляют по формулам (9.13) и (9.14):

$$\varepsilon_{рс} = \frac{\Delta h_{рс}}{h_0} 100; \quad (9.13)$$

$$\varepsilon_{тс} = \frac{\Delta h_{тс}}{h_0} 100, \quad (9.14)$$

где $\Delta h_{рс}$ - уменьшение высоты образца при разрушении, мм, $\Delta h_{тс}$ - уменьшение высоты образца при пределе текучести, мм; h_0 - начальная высота образца, мм.

За результат испытания принимают среднее арифметическое всех параллельных определений.

4 Испытание пластмасс на статический изгиб осуществляется согласно ГОСТ 4648-71.

Сущность метода заключается в кратковременном приложении нагрузки на образец, при котором определяют:

- разрушающее напряжение при изгибе (Н/м²) и прогиб в момент разрушения (мм) для пластмасс, разрушающихся при испытании;
- изгибающее напряжение (Н/м²) при заданной величине прогиба равного полуторной толщине образца для пластмасс не разрушающихся при изгибе;
- максимальное напряжение при изгибе (Н/м²) для пластмасс, у которых нагрузка проходит через максимум при заданной величине прогиба или до достижения этой величины.

Максимальное напряжение при изгибе определяют в момент достижения первого максимума нагрузки.

Прогиб определяют как расстояние, на которое отклоняется от своего исходного положения продольная ось образца при изгибе по середине между опорами.

Испытания проводят на машине, имеющей устройство с нагружающим наконечником и опорами (рис. 9.4). Сближение их производят с постоянной скоростью, указанной в стандарте. Радиусы наконечника r_1 , и краев опор r_2 должны иметь

следующие размеры в мм: $r_1 = 5 \pm 0,1$;
образца свыше 3 мм.

$r_2 = 0,5 \pm 0,2$ - при толщине образца до 3 мм; $r_2 = 2,0 \pm 0,2$ - при толщине

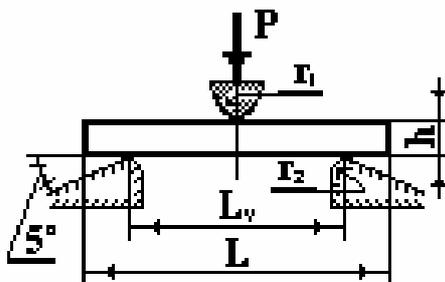


Рис. 9.4 Схема нагружения при изгибе

Образцы для испытания должны иметь следующие размеры в мм: длина L - не менее 80; ширина $b - 10 \pm 0,5$; толщина $h - 4 \pm 0,2$. Допускается применять образцы, соотношение длины и толщины которых составляет $L = 20h$, а ширина образца выбирается в зависимости от его толщины по табл. 9.4.

Перед испытанием в средней трети длины образца измеряют его ширину с точностью не менее 0,1 мм и толщину - с точностью не менее 0,02 мм.

9.4 Параметры образцов, испытываемых на статический изгиб

Толщина образца, мм	Ширина образца, мм
1 - 3	$25 \pm 0,5$
свыше 3 до 5	$10 \pm 0,5$
свыше 5 до 10	$15 \pm 0,5$

В зависимости от толщины расстояние между опорами L_v в мм устанавливают согласно соотношению: $L_v = 16h \pm 0,5$. Образец устанавливают на опоры машины широкой стороной, нагружение производят посередине между ними. Для стандартных образцов скорость нагружения должна быть $(2 \pm 0,5)$ мм/мин.

Разрушающее напряжение при изгибе $\sigma_{и}$ напряжение при изгибе при заданной величине прогиба $\sigma_{инп}$, максимальное напряжение при изгибе $\sigma_{и\max}$ в Н/м^2 вычисляют по формуле (9.15):

$$\sigma_{и} = M / W, \quad (9.15)$$

где M - изгибающий момент, $\text{Н} \cdot \text{м}$; W - момент сопротивления сечения образца, м^3 .

Изгибающий момент M вычисляется по формуле (9.16):

$$M = P_{и} L_v / 4, \quad (9.16)$$

где $P_{и}$ - нагрузка, Н ; L_v - расстояние между опорами, м .

Момент сопротивления образца W вычисляют по формуле (9.17):

$$W = (bh^2) / 6, \quad (9.17)$$

где b , h - ширина и толщина образца, м .

За результат испытания принимается среднее арифметическое всех параллельных измерений.

5 Под твердостью пластмасс подразумевают их способность сопротивляться внедрению других тел. Ее оценивают, относя силу, под действием которой внедряется индентор, к размеру отпечатка, образовавшегося при внедрении. При одинаковой общей схеме испытаний существующие многочисленные методы определения твердости пластмасс различаются по значениям нагрузок и глубине внедрения, времени приложения нагрузки и форме индентора.

В России и большинстве европейских странах определяют твердость по Бринеллю. Существуют два метода определения твердости:

- путем вдавливания шарика при заданной нагрузке, согласно ГОСТ 4670-91;

- путем вдавливания шарика на заданную глубину, согласно ГОСТ 133323-67.

Метод определения твердости путем вдавливания шарика при заданной нагрузке основан на вдавливании стального шарика диаметром 0,5 см в испытуемый образец. Вдавливание производится сначала предварительной силой F_0 , обеспечивающей контакт шарика с образцом, затем основной силой F , плавно добавляемой в течение 30 с к предварительной силе. Воздействие основной силы продолжается 60 с, после чего измеряют глубину вдавливания шарика в материал.

Основная сила должна быть равна одной из следующих величин: 50; 135; 365; 980 Н. Если сила 980 Н недостаточна, допускается применять силу в 1500 Н. Толщина образцов для испытания составляет 0,4 - 1,0 см.

Испытуемый образец помещают на стол прибора так, чтобы обеспечить плотное соприкосновение поверхности образца к плите прибора и предотвратить изгибание при вдавливании шарика.

Под воздействием предварительного усилия шарик приводит в соприкосновение с поверхностью испытуемого образца, после чего индикатор, отсчитывающий величину вдавливания, устанавливают на 0.

Предварительное усилие плавно в течение (30 ± 2) с увеличивают до основной силы. Выбор основной силы проводят после предварительного испытания материала.

Под действием одной из указанных сил вдавливают шарик в материал в течение 60 с на глубину 0,013 - 0,036 см. Глубина вдавливания к моменту истечения 60 с должна быть постоянной. Глубину отпечатка h отсчитывают с точностью не менее 0,0005 см через 60 с после приложения основной силы. На каждом образце делается не менее двух измерений.

Величину твердости $H_R(F)$ в Н/м^2 вычисляют по формуле (9.18):

$$H_R(F) = F / \pi 0,5h, \quad (9.18)$$

где F - величина основной силы вдавливания, Н; 0,5 - диаметр шарика, см; h - максимальная глубина вдавливания, см.

Метод определения твердости путем вдавливания шарика на заданную глубину основан на вдавливании стального шарика диаметром 0,5 см в испытуемый образец на глубину $(0,03 \pm 0,002)$ см с постоянной скоростью за 30 с.

Вдавливание производят после обеспечения контакта шарика с образцом под действием предварительной силы F_0 и измеряют затраченную на это основную силу F , которую поддерживают постоянной в течение 60 с. После чего производят отсчет полученной глубины вдавливания шарика в материал.

Испытуемый образец помещают на стол прибора так, чтобы обеспечить плотное соприкосновение поверхности образца к плитой прибора и предотвратить его изгибание при вдавливании шарика. Под воздействием предварительного усилия приводят шарик в соприкосновение с поверхностью испытуемого образца, после чего индикатор, отсчитывающий величину вдавливания, устанавливают на 0.

В течение (30 ± 2) с равномерно вдавливают шарик в пластмассу на глубину $(0,03 \pm 0,002)$ см и измеряют величину затраченной на это основной силы, которую поддерживают постоянной в течение 10 с.

Глубину отпечатка h отсчитывают с точностью не менее 0,0005 см через 60 с после приложения основной силы. На каждом образце делается не менее двух определений.

Величину твердости $H_{R_{0,03}}$ в Н/м^2 вычисляют по формуле (9.19):

$$H_{R_{0,03}} = F / \pi 0,5h, \quad (9.19)$$

где F - величина основной силы вдавливания, Н; 0,5 - диаметр шарика, см; h - максимальная глубина вдавливания, см.

Отчет

- 1 Описание основных методов механических испытаний пластмасс.
- 2 Техническая характеристика и основные данные приборов, на которых проводились испытания.
- 3 Результаты испытаний и рассчитанные показатели.
- 4 Графические зависимости.

Контрольные вопросы

- 1 С какой целью проводят испытание пластмасс на растяжение, ударный изгиб, сжатие, статический изгиб?
- 2 Оборудование, применяемое для испытания на растяжение, ударный изгиб, сжатие, статический изгиб.
- 3 Кривая растяжения, анализ кривой по участкам.
- 3 Виды испытаний на ударный изгиб.
- 4 Форма и тип образцов при испытании на ударный изгиб.
- 5 Аппаратура и образцы, применяемые для испытания на сжатие.
- 6 Что такое твердость?
- 7 Чем отличается определение твердости по Роквеллу от определения твердости по Бринеллю?

ВАКУУМФОРМОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЛИСТОВЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ

Цель работы: установление влияния технологических режимов вакуумного формования (температуры разогрева листовой заготовки, температуры оформляющего инструмента, рабочего перепада давления) на свойства и качество изделий.

Оборудование: вакуум-формовочная установка, приборы контроля температуры и давления, разрывная машина, воздушный термостат, ножовка (для раскроя листов на заготовки), вырубной штамп (для изготовления образцов), секундомер, штангенциркуль, линейка, чертилка.

Материалы: листовые термопласты: полиметилметакрилат (органическое стекло), жесткий поливинилхлорид, ударопрочный полистирол, полиэтилен высокой и низкой плотности.

Предварительная подготовка

Изучить технологию и ознакомиться с оборудованием процесса вакуумного формования изделий из листовых термопластов [28, с. 13 - 99; 17, с. 286 - 324; 19, с. 400 - 446].

Порядок выполнения работы

- 1 Ознакомиться с инструкцией по охране труда и технике безопасности при работе на вакуум-формовочной установке.
- 2 Изучить режимы работы установки.
- 3 Ознакомиться с методами подготовки заготовок.
- 4 Определить технологические параметры вакуумного формования.
- 5 Провести изготовление изделий при различных режимах.
- 6 Осуществить контроль качества полученных изделий.

Методические указания

Вакуумное формование - метод переработки, основанный на способности пластической массы в высокоэластическом состоянии к большим деформациям, которые фиксируются до снятия формующего усилия охлаждением изделия ниже температуры стеклования полимера. Вакуумным формованием получают изделия из заранее изготовленных заготовок различной конфигурации.

Определение технологических параметров вакуумного формования

Параметрами вакуумного формования являются продолжительность нагревания заготовок, температура, давление и продолжительность процесса вытяжки.

- 1 Время вытяжки материала (в с) рассчитывают по формуле (10.1):

$$\tau = H_{\phi} / v_{\phi}, \quad (10.1)$$

где H_{ϕ} - максимальная глубина вытяжки, равная глубине формующей матрицы, м; v_{ϕ} - скорость вытяжки, равная 0,18 м/с (в зависимости от типа оборудования ее можно изменять в пределах 0,15 - 0,20 м/с).

- 2 За оптимальную температуру вытяжки принимают такую температуру в области высокоэластического состояния материала, при которой он способен удлиняться без разрушения на достаточную для формования изделия величину при минимальном напряжении. Оптимальную температуру вытяжки находят по термомеханической кривой формируемого материала и кривым, описывающим зависимости относительного удлинения при разрыве и максимального напряжения при растяжении от температуры (рис. 10.1).

3
4

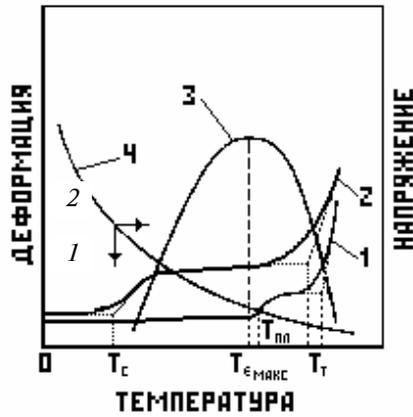


Рис. 10.1 Деформационные и прочностные характеристики термопластов при повышенных температурах:

- 1, 2 - термомеханические кривые аморфного и кристаллического термопластов;
- 3 - изменение относительной деформации термопласта при разрыве;
- 4 - изменение максимального напряжения при растяжении термопласта при повышенной температуре

Кривую относительное удлинение при разрыве - температура строят по данным испытания образцов в форме стандартной лопатки. Образцы (18 шт.) изготавливают вырубкой из листового термопласта, нагретого выше температуры стеклования. Установленную на разрывной машине термокамеру нагревают до температуры $(T_c + 20) \text{ }^\circ\text{C}$ (температуру стеклования определяют по термомеханической кривой). Закрепляют первый образец в зажимах разрывной машины, закрывают термокамеру и выдерживают в ней образец в течение 3 мин.

Скорость перемещения подвижного зажима разрывной машины должна быть равной скорости вытяжки материала при вакуумном формовании (0,15 - 0,20 м/с). Проверяют работу приспособления для автоматической записи кривых в координатах напряжение - деформация и испытывают первый образец. При тех же условиях испытывают еще два образца. Затем, повышая температуру камеры каждый раз на $20 \text{ }^\circ\text{C}$, испытывают по три образца и рассчитывают среднеарифметические значения относительного удлинения материала при разрыве и максимального напряжения при растяжении при каждой температуре. На основании полученных данных строят соответствующие зависимости (кривая 3 и 4 рис. 10.1).

Температуру формования выбирают в интервале между T_{max} и T_T (или $T_{\text{пл}}$) в зависимости от материала и заданной глубины вытяжки. Измерение температуры заготовки производится с помощью специальной термопары и милливольтметра, проградуированного в $^\circ\text{C}$.

3 Давление p (МПа) при вакуумной вытяжке листовых заготовок, закрепляемых по периметру матрицы прижимным кольцом, рассчитывают по формуле (10.2):

$$p = 2\sigma\delta / R, \tag{10.2}$$

где σ - максимальное напряжение в материале при выбранной температуре и скорости вытяжки, МПа (σ - определяют по кривым напряжение-деформация, полученным при выполнении лабораторной работы; δ - толщина заготовки, м; R - радиус протяжного кольца, м.

4 Время нагревания τ (с) листовых заготовок перед вакуумным формованием, помещенных между металлическими плитами, снабженными электронагревателями, рассчитывают по формуле (10.3):

$$\tau = \delta^2 Fo / 4a, \tag{10.3}$$

где δ - толщина листа, м; a - коэффициент температуропроводности термопласта, m^2/c ; Fo - критерий Фурье, определяемый графически по данным рис. 10.2 и критерию температурной разности θ , рассчитываемому по формуле (10.4):

$$\theta = \frac{t_c - t_\phi}{t_c - t_0}, \tag{10.4}$$

где t_c - температура плит, $^\circ\text{C}$; t_ϕ - температура вытяжки, $^\circ\text{C}$; t_0 - начальная температура заготовки, $^\circ\text{C}$.

Рассчитанное время нагревания заготовки не должно превышать время, через которое в материале за счет термоокислительной деструкции произойдет снижение относительного удлинения при разрыве на 10%.

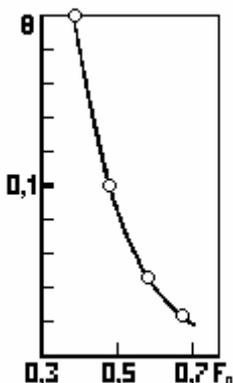


Рис. 10.2 Номограмма для определения критерия Фурье:

Fo - критерий Фурье;

$\theta = (t_c - t_\tau) / (t_c - t_0)$ - критерий температурной разности

Для определения этого времени нагревают между плитами по три лопатки в течение 5, 10, 15, 20 и 25 мин. Измеряют при комнатной температуре относительное удлинение при разрыве прогретых образцов, нагружая их со скоростью 0,15 - 0,20 м/мин (см. ГОСТ 11262-76).

Оптимальные технологические параметры вакуумного формования изделий заносятся в табл. 10.1.

10.1 Технологические параметры вакуумного формования

Полимер	Условия нагрева заготовки			Условия вытяжки заготовки		
	температура, °С	время, мин	способ нагрева	температура, °С	время, мин	савление, Па

Изготовление изделий вакуумным формованием

Изделия изготавливают на установке, изображенной на рис. 10.3.

Установка состоит из рамы 1, сменной матрицы 2, зажимного устройства 3, нагревателя 4, вакуумного насоса 5, ресивера 6, системы трубопроводов 7, запорной арматуры 8, камеры 9.

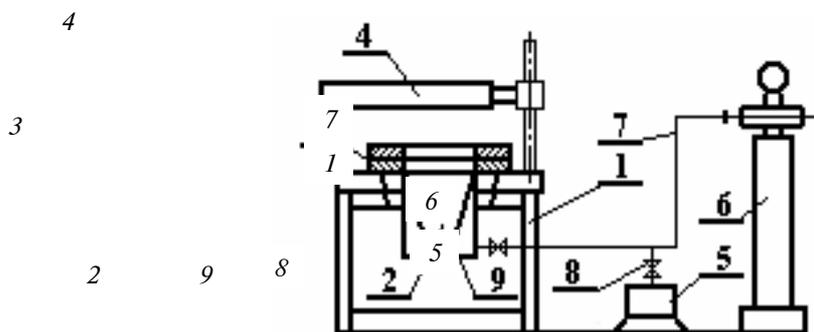


Рис. 10.3 Схема лабораторной установки

Перед формованием типовых изделий - полусферы и конического стаканчика (рис. 10.4) необходимо определить размеры заготовок и рассчитать усилие прижима заготовок во время формования.

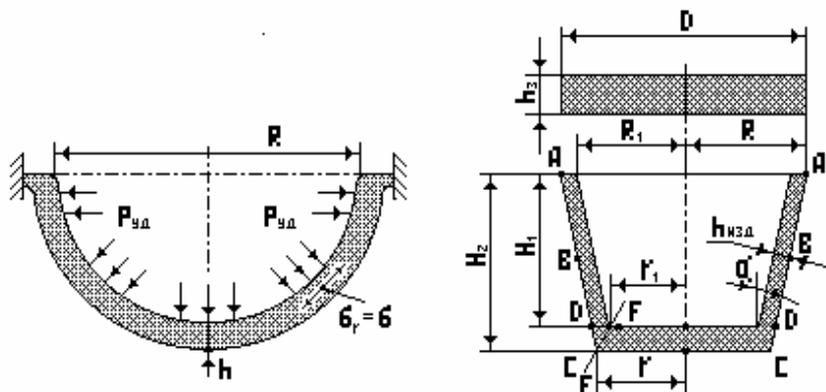


Рис. 10.4 - Типовые изделия:

a - полусфера; *b* - конический стаканчик

1 Для формования изделий, представленных на рис. 10.4, применяют заготовки квадратной формы со стороной L (м), рассчитываемой по формуле (10.5):

$$L = (D + 2b) \left(1 + \frac{V}{100} \right), \quad (10.5)$$

где D - наибольший диаметр изделия, м; b - ширина прижимной рамки, м; V - усадка материала при температуре вытяжки, %.

Усадку материала определяют на трех квадратных образцах со сторонами около 100 мм, измеренных штангенциркулем с точностью до 0,05 мм. Образцы выдерживают при условиях, рекомендуемых для предварительного нагрева (см. табл. 10.1), затем их охлаждают на воздухе до комнатной температуры и снова измеряют.

Усадку (%) рассчитывают по формуле (10.6):

$$Y = \frac{a-c}{a} 100, \quad (10.6)$$

где a - размер стороны образца до нагревания, м; c - тот же размер после охлаждения, м.

2 Усилие прижима заготовки (в Н) вычисляют по формуле (10.7):

$$Q = bq2\pi r, \quad (10.7)$$

где b и r - ширина и средний радиус прижимной рамки соответственно, м; q - давление прижима, МПа.

Давление прижима должно быть ниже разрушающего напряжения материала при сжатии при $(T_c - 5)^\circ\text{C}$ (предполагается, что заготовка, прижатая рамкой к форме, охлаждается до T_c).

Значение q должно удовлетворять условию (10.8):

$$q \geq \sigma_r \pi R \delta / S f, \quad (10.8)$$

где σ_r - радиальное напряжение в заготовке в первый момент формования, равное максимальному напряжению, развивающемуся в материале в процессе вытяжки при оптимальной температуре и выбранной скорости (кривая 4 на рис. 10.1), МПа; R - радиус деформируемой части заготовки, м; δ - толщина заготовки, м; S - площадь прижимной рамки, м²; f - коэффициент трения заготовки о форму.

3 Из листов термопласта ленточной пилой или ножовкой вырезают заготовки, размеры которых определены заданием к лабораторной работе. Общее число заготовок должно втрое превышать число применяемых режимов вакуумного формования. Измеряют толщину каждой заготовки с точностью до 0,05 мм, чертилкой в одном углу отмечают номер заготовки. На трех заготовках проводят через центр две взаимно перпендикулярные прямые. Используя точку пересечения их в качестве центра, циркулем прочерчивают концентрические окружности. Радиус каждой последующей окружности увеличивают на 5 мм.

Каждую заготовку непосредственно перед формованием нагревают по режиму, указанному в табл. 10.2, быстро закрепляют в оснастке и изготавливают изделие как описано ниже.

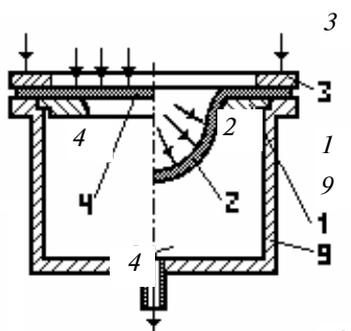
4 Свободное вакуумформование через протяжное кольцо производится на лабораторной установке (см. рис. 10.1).

В камеру 9 установки вставляют протяжное кольцо. Схема формования показана на рис. 10.5.

Закрывают краны и включают вакуумный насос. Создают разрежение в ресивере. Между прижимным и протяжным кольцами закрепляют первую из трех расчерченных заготовок, нагретую до температуры формования T_ϕ .

Регулируя кранами, степень разрежения в камере, формируют полусферическое изделие. При этом глубина вытяжки не должна превышать радиус протяжного кольца. Не изменяя степени разрежения, охлаждают изделие до комнатной температуры. Затем, открыв кран, снимают прижимное кольцо и формируют до разной глубины

5 Вакуумформование детали показанной на рис. 10.6.

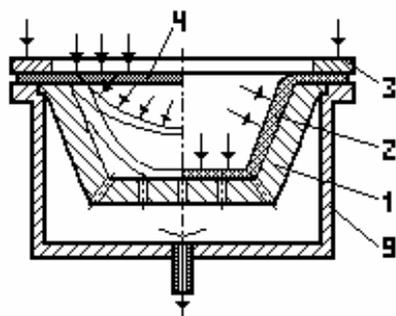


**ИС. 10.5 СВОБОДНОЕ
ВАКУУМФОРМОВАНИЕ
ЧЕРЕЗ ПРОТЯЖНОЕ
КОЛЬЦО:**

1 - протяжное кольцо; 2 - изделие.

создают в камере атмосферное давление, извлекают деталь. Оставшиеся заготовки вытяжки, изменяя степень разрежения. в жесткую матрицу производится по схеме,

В камеру 9 установки вставляют жесткую матрицу 2. Краны (рис. 10.1) закрывают, включают вакуумный насос и создают разрежение в ресивере. Прижимным кольцом закрепляют в установке заготовку, нагретую до T_ϕ . При работающем вакуум-насосе создают разрежение в камере и матрице. После охлаждения изделия до комнатной температуры снимают разрежение, изделие извлекают из формы.



**Рис. 10.6 Вакуумформование
в жесткую матрицу:**

1 - матрица; 2 - изделие; 3 - прижимное кольцо; 4 - заготовка; 9 - камера

**Определение качества изделий,
изготовленных вакуумным формованием**

Оценивают качество изделий (конический стаканчик, полусфера) одинаковой формы и размеров, полученных при различных режимах вакуумного формования. Качественные детали должны иметь минимальные усадку, разнотолщинность стенок, степень ориентации, остаточные напряжения и оптические искажения.

1 При определении относительной усадки размеры изделий, полученных при выполнении лабораторной работы, по сечениям AA , BB , DD и AC (рис. 10.4, б), сравнивают с размерами формы по тем же сечениям. Усадку (%) рассчитывают по формуле (10.9):

$$Y = \frac{D_{\phi} - D_{\text{изд}}}{D_{\phi}} 100, \quad (10.9)$$

где D_{ϕ} - размер формы, м; $D_{\text{изд}}$ - размер изделия по тому же сечению, м.

Полученные данные заносятся в табл. 10.2.

2 Разнотолщинность стенок изделий определяют измерением микрометрической скобкой толщины стенки детали у верхней ее кромки (рис. 10.4, б, точка A), в средней части (точка B), в углу (точка F) и в середине доньшка. Разнотолщинность рассчитывают по формуле (10.10):

$$\Delta = h_{\text{max}} / h_i, \quad (10.10)$$

где h_{max} - максимальная толщина стенки изделия, мм; h_i - толщина стенки в данной точке, мм.

Полученные данные заносятся в табл. 10.2.

3 Степень ориентации определяют в различных сечениях детали. Для этого измеряют расстояния между концентрическими линиями, нанесенными на деталь. Помещают деталь в термостат, нагретый до температуры $(T_c + 20) ^\circ\text{C}$, и выдерживают в нем до тех пор пока не прекратится изменение размеров детали. Затем деталь охлаждают до комнатной температуры, измеряют расстояния между линиями и определяют степень ориентации (%) по формуле (10.11):

$$\varepsilon_{\text{оп}} = \frac{a-b}{b} 100, \quad (10.11)$$

где a, b - расстояние между линиями до и после нагревания соответственно, м.

Полученные данные заносятся в табл. 10.2.

10.2 Параметры изделий, полученных вакуумным формованием

Режим формования	Вид изделия	Усадка, %	Разнотолщинность	Степень ориентации, %	Остаточные напряжения, МПа	Температура начала деформирования, $^\circ\text{C}$

По экспериментальным данным оценивают влияние режимов формования на качество и свойства изделий. Строится зависимость (10.12):

$$\delta_3 / \delta_i = f(l), \quad (10.12)$$

где δ_3 - толщина заготовки; δ_i - толщина изделия в точке; l - линейный размер от выбранной точки отсчета.

Отчет

- 1 Описание основных характеристик перерабатываемых материалов.
- 2 Схема установки.
- 3 Последовательность выполнения операций.
- 4 Графики зависимостей.
- 5 Таблицы экспериментальных данных
- 6 Выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Температурный интервал вакуумного формования.
- 2 Какие свойства материала и параметры процесса влияют на давление формования?
- 3 Методы нагрева заготовок.
- 4 Методика выбора оптимальной температуры вакуумного формования.
- 5 Чем определяется продолжительность формования?
- 6 Виды и причины брака при изготовлении изделий.

Лабораторная работа 11

ЭКСТРУЗИЯ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: определение основных технологических параметров процесса экструзии, получение навыков работы на экструзионном оборудовании и выявление закономерностей влияния технологических параметров экструзии на свойства и качество отформованных изделий.

Оборудование: лабораторная экструзионная установка с приемным и тянущим устройством для производства трубы, капиллярный вискозиметр (ИИРТ), разрывная машина, нож для вырубki образцов, штангенциркуль, металлическая линейка, термошкаф до 200 °С.

Материалы: полиэтилен низкой и высокой плотности, ударопрочный полистирол.

Предварительная подготовка

- 1 Изучить процесс экструзии полимерных материалов [17, с. 141 - 223; 19, с. 302 - 344].
- 2 Ознакомиться с конструкциями экструзионного оборудования и формующих головок [1, с. 117 - 229; 29, с. 11 - 43; 30, с. 3 - 94].
- 3 Изучить методики расчета производительности червячных машин и формующего инструмента [31, с. 23 - 43; 18, с. 133 - 137; 1, с. 149 - 157; 29, с. 65 - 101].

Порядок выполнения работы

- 1 Ознакомиться с инструкцией по охране труда и технике безопасности при работе на экструзионной установке.
- 2 Определить технологические свойства применяемых для переработки полимерных материалов.
- 3 В зависимости от вида перерабатываемого материала определить технологические параметры процесса экструзии (температуру материального цилиндра по зонам, температуру формующей головки, частоту вращения шнека, скорость вытяжки).
- 4 По заданным технологическим параметрам провести опытное формование изделий.
- 5 Оценить качество экструдата.
- 6 Проанализировать полученные результаты, построить графические зависимости.

Методические указания

Экструзия - метод формования изделий путем непрерывного или периодического выдавливания пластичного материала через канал формующего инструмента - головки, конфигурация поперечного сечения которого определяет профиль изделия (труба, пруток и др.). При экструзии термопластов фиксация формы выходящего изделия достигается охлаждением расплава ниже температуры стеклования или кристаллизации.

Непрерывное выдавливание осуществляют на экструдерах шнекового типа - червячных прессах, или шнекмашинах; периодическое - на машинах поршневого типа.

В производстве различного рода длинномерных изделий из термопластов используют преимущественно шнековые экструдеры.

В процессе экструзии гранулированный полимерный материал из бункера машины попадает в межвитковое пространство вращающегося шнека и перемещается им в направлении формообразующей головки, вследствие большей

силы трения между материалом и внутренней поверхностью цилиндра экструдера по сравнению с силой трения между материалом и поверхностью шнека. При движении вдоль цилиндра экструдера материал уплотняется, постепенно нагревается от стенок цилиндра и за счет тепла, выделяющегося под действием внешнего и внутреннего трения, и переходит в вязкотекучее состояние. Давление в материале, находящемся в цилиндре экструдера, постепенно увеличивается от зоны загрузки к выходу из канала шнека. Если процесс осуществляется в изотермических условиях, а винтовой канал шнека имеет неизменный шаг и глубину, объемная производительность экструдера Q зависит от частоты вращения шнека n , перепада давления по длине шнека Δp и эффективной вязкости η расплава полимера. Величина Q (в м³/с) определяется суммой прямого, обратного потоков и потока утечки (11.1):

$$Q = \alpha n - \beta \frac{\Delta p}{\eta_k} - \gamma \frac{\Delta p}{\eta_z}, \quad (11.1)$$

где η_k , η_z - эффективная вязкость расплава в винтовом канале шнека и в зазоре между гребнем шнека и внутренней поверхностью цилиндра, α , β , и γ - константы соответственно прямого (вынужденного), обратного (противодавления) потоков и потока утечки, рассчитываемые по формулам (11.2) – (11.4):

$$\alpha = \frac{1}{2} \pi m D h \left(\frac{t}{m} - e \right) \cos^2 \varphi; \quad (11.2)$$

$$\beta = \frac{m h^3 \left(\frac{t}{m} - e \right) \sin \varphi \cos \varphi}{12 L}; \quad (11.3)$$

$$\gamma = \frac{\pi^2 D^2 \delta^3 \operatorname{tg} \varphi}{10 e L}, \quad (11.4)$$

где m - число заходов шнека; t - шаг нарезки, м; h - глубина нарезки, м; D - диаметр шнека, м; δ - зазор, м; φ - угол подъема винтовой линии; e - ширина гребня, м; L - длина нарезной части червяка, м.

Давление в формообразующей головке, объемная производительность экструдера, коэффициент сопротивления головки k и эффективная вязкость расплава полимера, находящегося в головке, связаны между собой зависимостью (10.5):

$$Q = k \Delta p / \eta_z. \quad (11.5)$$

На рис. 11.1 показаны типичные характеристики червяка 1 и головки 2, являющиеся графической интерпретацией уравнений. Точки пересечения характеристических кривых определяют режимы работы экструдера в паре с головкой, имеющей заданные размеры формообразующего канала.

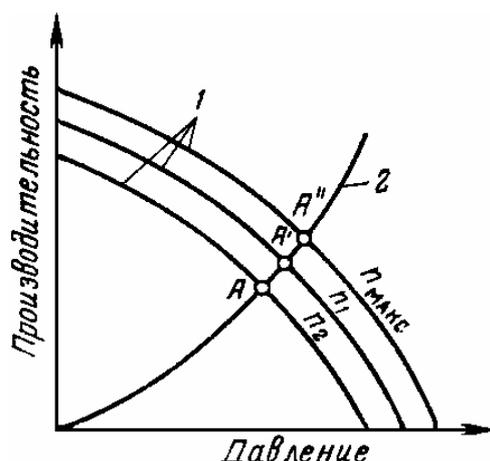


Рис. 11.1 Типичные характеристики червяка и головки:

1 - характеристика червяка при частоте вращения n_{\max} , n_1 , n_2 ;

2 - характеристика головки; A , A' , A'' - точки рабочего режима экструдера при выбранной частоте вращения

Определение технологических свойств полимеров и параметров экструзии

К технологическим параметрам экструзии относятся температура материального цилиндра $T_{\text{ц}}$ и головки $T_{\text{г}}$, частота вращения шнека n , производительность процесса Q , скорость вытяжки изделия v и давление в головке $p_{\text{г}}$. Производительность процесса и давление расплава полимера в головке во многом зависят от вязкости и скорости течения расплава.

1 Температурные параметры экструзии выбираются на основе температур переходов, полученных по термомеханическим кривым.

Температура материального цилиндра экструдера должна быть 10 - 30 °С, а головки - от 20 до 40 °С выше температуры текучести (плавления) полимерного материала.

2 Вязкость и скорость течения расплава полимера определяют из кривых течения, снятых на вискозиметре ИИРТ, при температурах, соответствующих температуре материального цилиндра экструдера и температуре головки.

Полученные результаты выражают в виде зависимости логарифм эффективной вязкости $\lg \eta$ - логарифм эффективного градиента скорости сдвига $\lg \dot{\gamma}$ (рис. 11.2).

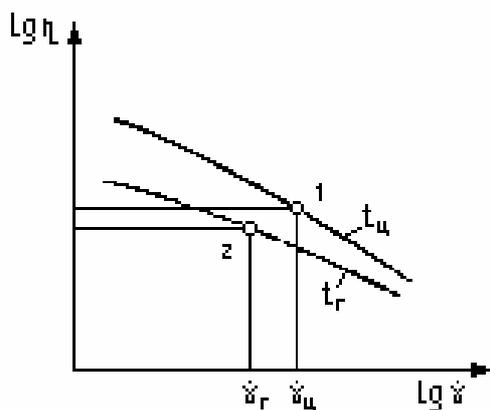


Рисунок 11.2 Изменение эффективной вязкости в зависимости от эффективного градиента скорости при температуре головки ($t_{\text{г}}$) и температуре материального цилиндра экструдера ($t_{\text{ц}}$)

3 Экспериментально определяют зависимость давления в формообразующей головке от производительности экструдера. Для этого при четырех-пяти частотах вращения шнека в течение 30 - 60 с экструдировать расплав полимера и измеряют величину давления датчиком, установленным на выходе из цилиндра экструдера. Производительность экструдера (в м³/с) рассчитывают по формуле (11.6):

$$Q = \frac{G}{\rho \tau}, \quad (11.6)$$

где G - масса материала, экструдированная из головки за время τ , кг; ρ - плотность экструдированного материала, кг/м³.

Полученные результаты представляют графически и сравнивают их с теоретическими данными. Теоретические значения вычисляют по формуле для значений Δp , полученных экспериментально.

Эффективную вязкость расплава в головке η_e находят по вязкостно-скоростным кривым (рис. 11.2) и эффективному градиенту скорости сдвига $\dot{\gamma}_e$, величина которого для объемной производительности Q и конфигурации поперечного сечения канала головки может быть рассчитана по одной из формул, приведенных в [30 С. 12].

Поскольку поперечное сечение канала изменяется по длине головки, то общий перепад давления Δp находят по формуле (11.7), суммируя перепады давления Δp_i , по участкам канала, различающимся коэффициентом сопротивления (см. [30, с. 12]):

$$\Delta p = \sum \Delta p_i. \quad (11.7)$$

Изготовление изделий

Изготовление изделий производится на лабораторной экструзионной установке, схема которой представлена на рис. 11.3, в следующей последовательности:

1 В зависимости от вида перерабатываемого материала по табл. 11.1 выбирается температурный режим формования и

устанавливается заданная температура на соответствующих приборах для цилиндра и головки экструдера.

2 Разогревается материальный цилиндр и формующая головка до заданных температур.

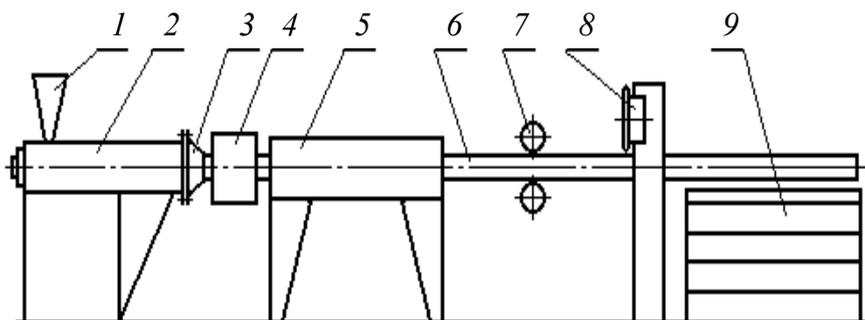


Рис. 11.3 Экструзионная установка для производства трубы:

1 – загрузочное устройство; 2 – шнековый экструдер; 3 – формующая головка;
4 – калибратор; 5 – охлаждающее устройство; 6 – труба; 7 – тянущее устройство;
8 – режущее устройство; 9 – контейнер

3 После выхода машины на заданный температурный режим формируются образцы при трех различных скоростях вращения шнека - максимальной n_{\max} , минимальной n_{\min} и средней $n_{\text{ср}}$, при этом скорость приема экструдата должна быть равна скорости выхода его из головки. При заданных режимах работы определяется фактическая производительность машины.

11.1 Температурные режимы при экструзии

Полимер	Температура, °С		Вид изделия
	зоны цилиндра	головки	
Полиэтилен НП	110-120-130	135	Труба
Полиэтилен ВП	180-190-200	210	-"-
Поливинилхлорид (пластикат)	150-165-180	180	Пруток
Полипропилен	230-250-280	280	-"-
Полиэтилен ВП	180-200-220	250	-"-

4 При средней скорости вращения шнека $n_{\text{ср}}$ формируют образцы изделий. Для выяснения влияния технологических параметров процесса на свойства и качество изделий экструзию проводят при различных режимах. Переменными параметрами процесса экструзии являются температура расплава T_p , температура цилиндра T_c , формующей головки T_ϕ , степень вытяжки ε .

Степень продольной вытяжки ε определяется как отношение скорости приемки $V_{\text{пр}}$ и скорости экструзии $V_{\text{эк}}$ по формуле (11.8):

$$\varepsilon = V_{\text{пр}} / V_{\text{эк}} \quad (11.8)$$

После формования необходимо провести механические испытания образцов. На основании результатов, полученных после испытания, оценивают влияние технологических параметров процесса экструзии на прочностные свойства экструдированных изделий.

В качестве прочностных характеристик выбираются пределы текучести и прочности и относительное удлинение при разрыве.

Механическую прочность при одноосном растяжении необходимо определять в соответствии с ГОСТ 11262-80 на разрывных машинах при постоянной скорости деформирования.

Определение качества экструдата

Качество экструдата оценивают по степени разбухания изделия на выходе из головки, степени вытяжки, степени ориентации, разнотолщинности и механической прочности при одноосном растяжении.

1 Под степенью разбухания понимают отношение какого-либо характерного размера экструдата к этому же размеру оформляющей полости головки, определяемое по формуле (11.9):

$$C_p = \frac{A - B}{B} 100, \quad (11.9)$$

где A - характерный размер изделия (для прутка - диаметр, для листа - толщина); B - соответствующий размер оформляющей полости головки.

Степень разбухания определяют только для экструдата, получаемого при скорости приемки, равной скорости выхода его из головки.

По данным эксперимента строят график в координатах степень разбухания - эффективный градиент скорости, который рассчитывают при объемном расходе, определенном при разной частоте вращения шнека.

2 Степень вытяжки определяют только для экструдата, получаемого при скорости приемки, превышающей скорость выхода его из головки.

Степень продольной вытяжки рассчитывают по формуле (11.10):

$$\varepsilon_{в.пр} = \frac{v_{пр}}{v_3}, \quad (11.10)$$

где $v_{пр}$ - скорость приемки, м/с; v_3 - скорость экструзии, м/с.

3 Значение степени ориентации для всех экструдированных изделий определяют только в направлении экструзии на образцах длиной 100 мм.

Измеряют длину образца с точностью до 0,1 мм, укладывают его на пластинку из фторопласта и помещают в термостат, нагретый до $(T_c + 20)$ °С для аморфных полимеров и до $(T_{пл} - 10)$ °С для кристаллических полимеров и выдерживают при указанной температуре не менее 30 минут.

Извлекают образец из термостата, охлаждают на воздухе до комнатной температуры и повторно измеряют его длину.

Значение степени ориентации определяют по формуле (11.11):

$$\varepsilon_{ор} = \frac{l_1 - l_2}{l_2} 100, \quad (11.11)$$

где l_1 и l_2 - размер образца до и после термообработки соответственно, мм.

Значение $\varepsilon_{ор}$ определяют для трех образцов при каждом режиме экструзии. Вычисляют среднее арифметическое значение трех измерений.

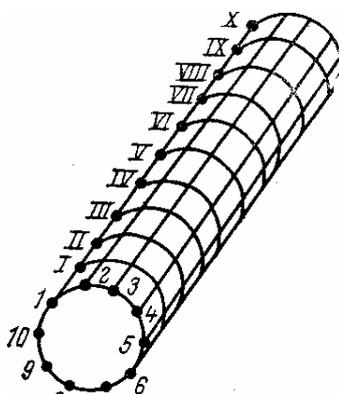
4 Мерой разнотолщинности изделия служит коэффициент вариации V , представляющий собой отношение среднего квадратичного отклонения σ толщины δ к среднему значению $\bar{\delta}$. Коэффициент рассчитывается по формуле (11.12):

$$V = \pm \frac{\sigma}{\bar{\delta}} 100, \quad (11.12)$$

где $\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum n_i (\delta_i - \bar{\delta})^2}{N}}$,

здесь $N = \sum n_i$, число измерений; среднее значение в выбранном интервале толщин; n - число значений толщины, укладываемых в данном интервале.

Коэффициент вариации
Если получают трубу, ее разрезают поперек (рис. 11.4). Измеряют Результаты измерений заносятся в



определяют для изделий длиной один метр. на 100 равных прямоугольников - 10 вдоль, 10 толщину в середине каждого прямоугольника. табл. 11.2.

11.2 Параметры трубы

Рис. 11.4 Схема разметки трубного образца

Нумерация прямоугольников в окружном направлении	Толщина трубы в середине прямоугольника, мм						Среднее значение толщины трубы в осевом направлении, мм
	нумерация прямоугольников в осевом направлении						
	1	11	111	IV	...	X	
1							
2							
...							
10							

Выбрав масштаб длины, ширины и толщины, строят график изменения толщины по длине и окружности трубы (рис. 11.5). Изменение толщины по длине трубы указывает на пульсирующую подачу материала или на неравномерность отбора изделия тянущим устройством.

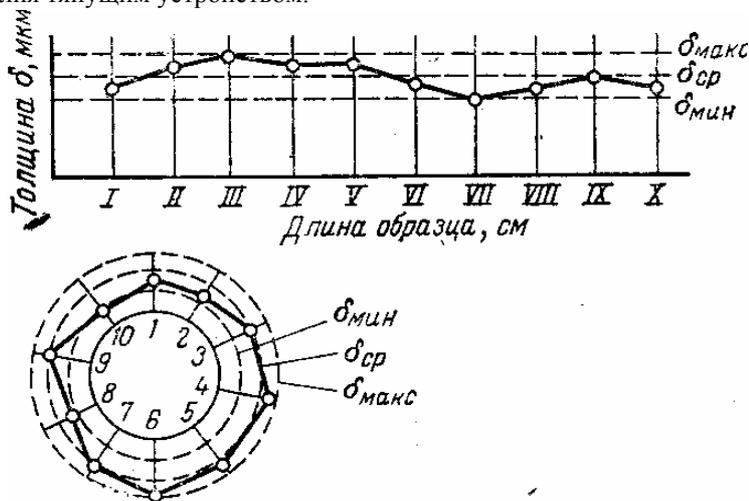


Рис. 11.5 Изменение толщины трубы по длине и диаметру

Одностороннее утолщение трубы по окружности является следствием неправильной установки дорна или неравномерного охлаждения ее в калибраторе.

Если выдавливают пруток, то его разнотолщинность проверяют путем измерения диаметра в трех направлениях через каждые 60° и по длине прутка через каждые 30 мм.

5 Механическую прочность при одноосном растяжении определяют в соответствии с ГОСТ 11262-76.

Данные испытаний и рассчитанные значения разрушающего напряжения при растяжении, относительного удлинения образца при разрыве заносятся в табл. 11.3.

Строят графики в координатах нагрузка - удлинение и определяют по ним предел текучести материала σ_m , т. е. то напряжение, при котором образец начинает деформироваться без существенного увеличения нагрузки. Предел текучести материала может быть рассчитан по формуле (11.13):

$$\sigma_T = P / S, \quad (11.13)$$

где P - усилие, при котором образец деформируется без изменения нагрузки, Н; S - первоначальная площадь поперечного сечения, m^2 .

11.3 Качественные показатели образцов

Размеры образца	Удлине	Длина	Нагрузк	Разрушаю	Относи	Предел
-----------------	--------	-------	---------	----------	--------	--------

ширина b , мм	толщина h , мм	база l_0	площадь поперечного сечения S , мм ²	ниже при разрыве $\Delta = l_1 - l_0$, мм	рабочего участка после разрыва l_1 , мм	а при разрыве p , Н	шее напряжение при растяжении или σ_p , МПа	тельное удлинение при разрыве ε , %	текущее σ_t , МПа

Данные всех испытаний сводятся в табл. 11.4, анализируются и выбирается оптимальный режим процесса.

11.4 Технологические параметры экструзии

Показатели	Частота вращения червяка, с ⁻¹	Скорость приемки, см/мин	Степень раздува
Степень разбухания, %			
Степень вытяжки, %			
Степень ориентации, %			
Степень разнотолщинности			
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа			
Предел текучести при растяжении, МПа			
Относительное удлинение при разрыве, %			

Отчет

- 1 Сущность процесса экструзии.
- 2 Технологические параметры процесса формования.
- 3 Технологическая схема процесса экструзии трубы.
- 4 Результаты механических испытаний образцов.
- 5 Графические зависимости прочностных характеристик материалов от технологических параметров процесса экструзии.
- 6 Выводы.

Контрольные вопросы

- 1 Перечислите технологические параметры процесса экструзии.
- 2 Факторы, влияющие на производительность экструзии.
- 3 Параметры экструзии, оказывающие влияние на качество экструдата.
- 4 Основные причины разбухания экструдата.
- 6 Факторы, вызывающие разнотолщинность экструдата.
- 7 Ориентация при экструзии, причины ее возникновения.
- 8 Влияние ориентации на механические и деформационные свойства экструдата.
- 9 Основные регулируемые параметры процесса экструзии.

Лабораторная работа 12

ЛИТЬЕ ПОД ДАВЛЕНИЕМ ТЕРМОПЛАСТОВ

Цель работы: изучение технологии процесса литья под давлением полимерных материалов, исследование влияния параметров процесса на качество готового изделия.

Оборудование: литьевая машина, формы для отливки образцов, аналитические весы, приспособленные для гидростатического взвешивания, приспособление для определения сыпучести гранул, капиллярный вискозиметр ИИРТ,

разрывная машина, секундомер, ультратермостат жидкостной до 100 °С, штангенциркуль, приспособление для определения температуры расплава полимера.

Предварительная подготовка

- 1 Ознакомиться с устройством литьевых машин [1, с. 229 - 231; 32, с. 161 - 226].
- 2 Изучить технологию получения изделий из термопластов, реактопластов и резиновых смесей методом литья под давлением [17, с. 223 - 251; 19, с. 362 - 400; 33, с. 402 - 455].
- 3 Изучить режимы работы литьевых машин [34, с. 72 - 98; 35, с. 349 - 428].

Порядок выполнения работы

- 1 Ознакомиться с инструкцией по охране труда и технике безопасности при работе на литьевой машине.
- 2 Ознакомиться с сырьем и определить его технологические свойства.
- 3 Определить технологические параметры литья под давлением (температуру материального цилиндра, температуру формы, продолжительность цикла и давление литья).
- 4 Рассчитать пластикационную производительность.
- 5 Построить циклограмму работы литьевой машины.
- 6 По выбранному для имеющегося материала режиму провести процесс литья под давлением.
- 7 Определить качество изделий.

Методические указания

При литье под давлением пластическая масса, загружаемая в материальный цилиндр литьевой машины, переводится в вязко-текучее состояние и впрыскивается в охлаждаемую (для термопластов) или нагреваемую (для реактопластов) форму, в которой под давлением происходит оформление изделия и фиксация формы за счет затвердевания (отверждения) материала.

Процесс литья под давлением включает следующие стадии: дозирование материала; нагревание материала (перевод его в вязкотекучее состояние); впрыск расплава полимера в форму и уплотнение его; охлаждение материала в форме и извлечение готового изделия. Обычно все стадии процесса совмещены в едином агрегате - литьевой машине и протекают в определенной последовательности.

Литье под давлением может производиться на плунжерных машинах и машинах со шнековой пластикацией материала.

На рис. 12.1 схематически показано изменение давления p , температуры T и массы m расплава в литьевой форме при литье под давлением на плунжерной машине.

Плунжер, захватывая поступившую из дозатора порцию гранул (равную объему одной отливки) (I), движется вперед (II), создавая давление, которое передается через пробку гранул на расплав полимера в цилиндре, достигший необходимой температуры. Под действием этого давления происходит впрыск расплава в замкнутую прижатую к соплу литьевую форму. По мере заполнения формы давление в ней возрастает, достигая некоторого значения p .

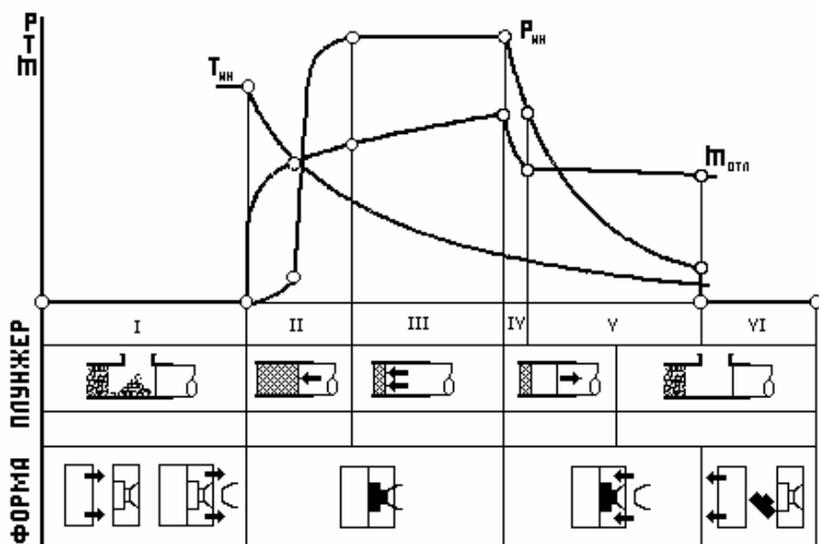


Рис. 12.1 Изменение давления (p), температуры (T) и массы полимера (m)

в литевой форме при литье под давлением

В результате охлаждения происходит уменьшение объема отливки, которое компенсируется дополнительным ходом плунжера (подпитка). Поэтому давление в форме остается постоянным (III). Затем плунжер возвращается в исходное положение (IV). При этом давление в литевом цилиндре резко падает. Это обусловлено тем, что часть не застывшего расплава из формы может поступить обратно в цилиндр.

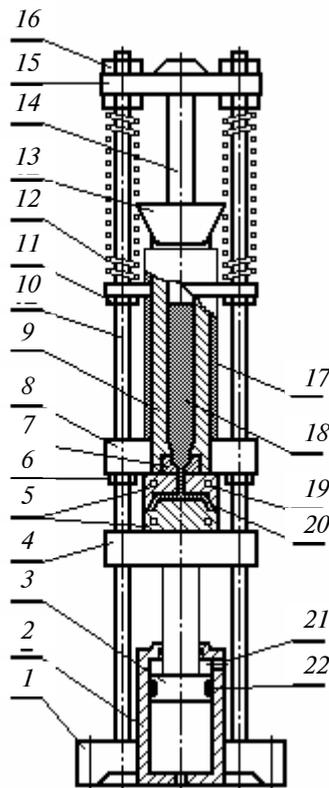
В момент застывания расплава во впуске (части литниковой системы с наименьшим сечением) вытекание расплава из формы прекращается - форма закупоривается. Если закупоривание происходит до движения плунжера назад, стадия IV может отсутствовать.

Для интенсификации охлаждения отливки форма отводится от сопла (V). По достижении некоторой температуры, позволяющей без ущерба для качества извлечь отливку, форма раскрывается (VI).

Описание лабораторной установки

Лабораторная литевая машина предназначена для литья под давлением термопластических материалов. Схема литевой машины изображена на рис. 12.2.

Перед началом процесса формы d_{ϕ} и h_{ϕ} , диаметр поршня пластикации. Температура устанавливается на 400 °С. Гранулированный расплав (через 15 - этого включается насос формы. После впрыска материала изделия включается гидроцилиндр изделие извлекается из литевой время каждой операции.



литья измеряются размеры гнезда литевой формы d . Затем включается обогрев цилиндра. Материал засыпается в бункер. После плавления (20 мин) производится изготовление изделия. Для гидроцилиндра на смыкание в форму, выдержки под давлением и охлаждения на размыкание формы. После размыкания формы. Во время работы машины измеряется

Определение технологических свойств полимеров

О технологических свойствах полимера судят на основании данных о его влажности, сыпучести, плотности, насыпной плотности гранул и термомеханических свойствах.

Рис. 12.2 Схема литевой машины

1 - основание; 2 - гидроцилиндр впрыска (смыкания формы); 3 - поршень гидроцилиндра впрыска; 4 - подвижная нижняя плита; 5 - полуформа; 6 - ограничитель хода нижней плиты; 7 - мундштук (сопло); 8 - подвижная средняя плита; 9 - цилиндр пластикации; 10 - колонна; 11 - ограничитель хода верхней плиты; 12 - пружина; 13 - бункер; 14 - поршень пластикации; 15 - подвижная верхняя плита; 16 - крепление колонны; 17 - упор; 18 - упор; 19 - упор; 20 - упор; 21 - упор; 22 - упор.

1 Влажность, сыпучесть, насыпную плотность полимера определяют по методике, приведенной в лабораторной работе 1.

2 Плотность полимера определяют гидростатическим способом по методике, изложенной в лабораторной работе 4.

3 Термомеханические кривые термопластов снимают на приборе ПТП-1, с помощью весов Каргина или на приборе Вика. По термомеханическим кривым определяют температурные переходы термопластов и выбирают оптимальный температурный режим формования изделий.

Температурный режим переработки термопластов может быть выбран из табл. 12.1.

12.1 Температурные режимы переработки термопластов

Параметры процесса литья	Перерабатываемый материал			
	ПЭВП	ПС	ПП	ПЭНП
1 Температура литья, °С	200 - 280	150 - 250	200 - 280	150 - 270
2 Температура литьевой формы, °С	40 - 70	20 - 40	40 - 70	20 - 60

4 Кривые течения расплавов термопластов снимают на капиллярном вискозиметре ИИРТ в интервале температур $(T_T + 20) - (T_{дестр} - 30)$ через каждые 40 °С при трех скоростях сдвига (минимальной, средней и максимальной допустимой для данного типа вискозиметра). По результатам экспериментов строят кривые в координатах $\tau = f(\dot{\gamma})$, $\eta = f(\dot{\gamma})$.

Определение технологических параметров литья под давлением

К технологическим параметрам литья под давлением относятся: температура материального цилиндра $T_{ц}$, температура формы $T_{ф}$, продолжительность цикла $\tau_{ц}$ и давление литья $p_{л}$.

1 По термомеханическим кривым определяют температуры стеклования T_c , температуры текучести T_T (для аморфных термопластов) и температуры плавления $T_{пл}$ (для кристаллических термопластов). На основании этих данных выбирают температуру цилиндра литьевой машины и формы. Температура материального цилиндра литьевой машины должна быть выше минимальной $T_{ц,мин}$ и ниже максимально допустимой $T_{ц,макс}$:

$$T_{ц,мин} = (T_T + 20) \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$T_{ц,макс} = (T_{дестр} - 30) \text{ } ^\circ\text{C},$$

где $T_{дестр}$ - температура деструкции материала, находится по таблицам в справочной литературе или определяется экспериментально, °С.

Температурный интервал $T_{ц,макс} - T_{ц,мин}$ разбивают на несколько подинтервалов. Если материальный цилиндр литьевой машины имеет три зоны регулирования, то первый температурный интервал составляет от $T_{ц,мин}$ до $(T_{ц,мин} + 40)$ и распределяется по зонам следующим образом:

$$\text{I зона } T_{ц,мин}; \quad \text{II зона } (T_{ц,мин} + 20); \quad \text{III зона } (T_{ц,мин} + 40).$$

В каждом следующем интервале температура зоны материального цилиндра должна на 20 °С превышать температуру той же зоны предыдущего интервала. Температура третьей зоны в последнем интервале не должна превышать $T_{ц,макс}$.

Температура формы для литья аморфных термопластов не должна превышать $T_{ф,макс}$, определяемую как $(T_c - 30)$. Температура формы для литья кристаллизующихся термопластов выбирается из таблиц справочной литературы.

2 Продолжительность цикла $\tau_{ц}$ (в с) рассчитывается по формуле

$$\tau_{ц} = \tau_{м} + \tau_{т}, \quad (12.1)$$

где $\tau_{м}$, $\tau_{т}$ - машинное и технологическое время (с):

$$\tau_{м} = \tau_{см} + \tau_{впр} + \tau_{разм} + \tau_{п}; \quad (12.2)$$

$$\tau_{т} = \tau_{впд} + \tau_{охл.б/д}, \quad (12.3)$$

где $\tau_{см}$, $\tau_{впр}$, $\tau_{разм}$, $\tau_{п}$ - соответственно, время смыкания, впрыска, размыкания формы, подвода и отвода узла пластикации и впрыска; $\tau_{впд}$, $\tau_{охл.б/д}$ - время выдержки и охлаждения материала в форме под давлением и без давления

соответственно.

Слагаемые τ_m берутся из паспорта на литьевую машину или определяют экспериментально. Технологическое время τ_T для изделий различной формы можно приближенно рассчитать по формуле (12.4)

$$\tau_{\text{техн}} = 0,101 \frac{\delta^2}{a} \left(\ln A - \ln \frac{T_{\text{охл}} - T_{\text{ф}}}{T_m - T_{\text{ф}}} \right), \quad (12.4)$$

где a - коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; δ - толщина детали, м ; $T_{\text{охл}}$ - температура, до которой охлаждается изделие, $^{\circ}\text{C}$; $T_{\text{ф}}$ - температура формы, $^{\circ}\text{C}$; T_m - температура впрыскиваемого материала, $^{\circ}\text{C}$; A - число, равное 1,6 для цилиндрических; 2,0 - для сферических и 1,27 - для плоских деталей.

По формуле (12.4) рассчитывается время застывания материала во впускном литниковом канале, принимая δ равной толщине литника и $T_{\text{охл}}$, равной T_c . Время застывания материала в литнике принимается за время выдержки под давлением $\tau_{\text{впл}}$.

Время охлаждения изделия в форме без давления определяется из выражения (12.5):

$$\tau_{\text{охл.б/д}} = 30,4 \cdot 10^5 \frac{\delta^2}{a} \lg \left(0,785 \frac{T_{\text{л}} - T_{\text{ф}}}{T_{\text{изд}} - T_{\text{ф}}} \right), \quad (12.5)$$

где δ - наибольшая толщина, получаемого изделия, м .

Продолжительность плаستيляции материала

$$\tau_{\text{пл}} = \tau_{\text{охл.б/д}} + \tau_{\text{см}} + \tau_{\text{раз}} + \tau_{\text{п}}. \quad (12.6)$$

Время выдержки под давлением можно рассчитать по формуле

$$\tau_{\text{впл}} = 57,1 \cdot 10^5 \frac{r^2}{a} \lg \left(0,62 \frac{T_{\text{л}} - T_{\text{ф}}}{T_{\text{изд}} - T_{\text{ф}}} \right), \quad (12.7)$$

где r - радиус литника, м ; a - коэффициент температуропроводности материала, $\text{м}^2/\text{с}$.

3 Определяют допустимый интервал изменения давления литья $p_n - p_v$.

По данным табл. 12.2 устанавливают наименьшее и наибольшее значение эффективного давления литья $p_{\text{эн}}$ и $p_{\text{эв}}$ (в МПа):

$$p_n = K_1 p_{\text{эн}}; \quad (12.8)$$

$$p_v = K_2 p_{\text{эв}}. \quad (12.9)$$

где K_1 и K_2 - коэффициенты, значения которых определяются конструкцией формы и реологическими особенностями расплава.

Значения коэффициентов выбираются из интервала $K_1 = (0,6 - 0,8)$; $K_2 = (1,2 - 1,4)$, при чем большие значения выбираются для форм с повышенным сопротивлением и вязких расплавов.

12.2 Эффективное давление инъекции и допустимая линейная усадка

Полимер	Эффективное давление инъекции, МПа		Допустимое значение линейной усадки, %
	$p_{\text{эн}}$	$p_{\text{эв}}$	
Полистирол	40,0	60,0	0,2 - 0,5
Полистирол ударопрочный	60,0	100,0	0,3 - 0,6
Полиакрилаты (полиметакрилаты)	80,0	150,0	0,7 - 1,5
Полиэтилен	70,0	100,0	1 - 2,5
Полипропилен	80,0	120,0	1 - 2,5
Полиамиды	80,0	100,0	1 - 2,5
Поликарбонат	80,0	120,0	0,5 - 0,8
Полиформаль-дегид	80,0	120,0	1,5 - 3,5

Полученный интервал $p_n - p_b$ делят на четыре - шесть уровней. Для каждого давления литья p_l определяют соответствующее ему давление (в МПа) в гидросистеме впрыска p_r :

$$p_r = p \frac{d^2}{D^2}; \quad (12.10)$$

$$p = p_l + p_{пот}; \quad (12.11)$$

$$p_{пот} = p_l K, \quad (12.12)$$

где d, D - диаметр соответственно литьевого плунжера и гидравлического плунжера, м; $p_{пот}$ - потери давления в цилиндре на трение пробки гранул, Па; K - коэффициент, зависящий от геометрических размеров загрузочной зоны и коэффициента трения гранул о стенки цилиндра: $K = (0,2 - 0,5)$.

Величина p_r не может быть больше 0,90 - 0,95 допустимого давления в гидросистеме.

Далее определяют необходимое давление в гидросистеме смыкания (в МПа), исходя из среднего значения давления литья:

$$p_{см} = \frac{2(p_n + p_b)F_n}{\pi D_{см}^2}, \quad (12.13)$$

где F_n - площадь проекции отливки на плоскость разъема литьевой формы, м²; $D_{см}$ - диаметр плунжера гидросистемы смыкания, м.

Определение пластикационной производительности

Пластикационная производительность $Q_{пл}$ рассчитывается по формуле

$$Q_{пл} = 3,6 \frac{V_0 \rho}{\tau_{пл}}, \quad (12.14)$$

где V_0 - номинальный объем отливки (см³); ρ - плотность материала (г/см³); $\tau_{пл}$ - время пластикации, с.

Номинальный объем отливки рассчитывается по формуле

$$V_0 = V_{изд} \frac{k}{\beta} n, \quad (12.15)$$

где $V_{изд}$ - объем, получаемого изделия, см³; k - коэффициент, учитывающий объем литниковой системы; β - коэффициент использования литьевой машины; n - гнездность формы.

Построение циклограммы работы литьевой машины

Построение циклограммы работы литьевой машины проводится в следующей последовательности (рис. 12.3): 1 - смыкание формы (отрезок 0-1); 2 - перемещение механизма инъекции (1-2); 3 - впрыск подготовленной дозы (2-3); 4 - выдержка под давлением (3-4); 5 - отвод механизма впрыска (4-5); 6 - отвод червяка назад и одновременное вращение (время набора дозы) (5-6 и 5'-6'); 7 - раскрытие формы (7-8).

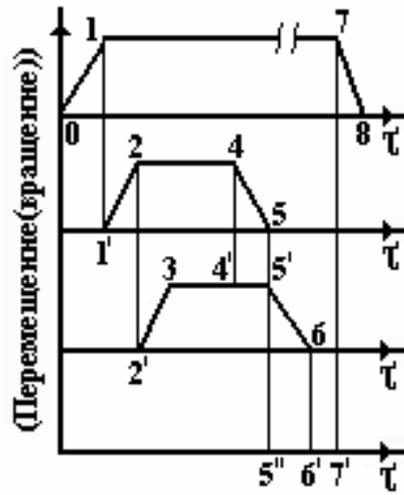


Рис. 12.3 Циклограмма литейной машины

Определение качества изделий

1 Массу изделия определяют взвешиванием на аналитических весах с точностью до 0,001 г.

2 Усадку - уменьшение размеров изделия по сравнению с размерами полости формирующего инструмента - определяют в соответствии с нормативными требованиями [36].

Если усадку определяют на изделиях сложной конфигурации, то следует учитывать зависимость усадки от направления течения расплава в форме при ее заполнении. В этом случае определяют численные значения усадки вдоль $S_{\text{в}}$ и поперек $S_{\text{п}}$ течения. И по ним рассчитывают анизотропию усадки по формуле

$$A_s = \frac{S_{\text{в}} - S_{\text{п}}}{S_{\text{в}}} 100. \quad (12.16)$$

3 Для определения степени ориентации макромолекул на рабочий участок каждого из трех образцов, отформованных при одинаковых условиях, скальпелем или лезвием наносят две риски перпендикулярно более длинной оси образца на расстоянии около 40 мм друг от друга. Штангенциркулем с точностью до 0,1 мм измеряют расстояние между ними. Размеченные образцы раскладывают на стальной пластине, покрытой пленкой из фторопласта. Пластины с образцами помещают в термостат, предварительно нагретый до температуры T_0 , и выдерживают в течение 30 минут. Для аморфных полимеров $T_0 = T_c + 20$, для кристаллических $T_0 = T_{\text{пл}} - 10$. Затем образцы извлекают из термостата, охлаждают до комнатной температуры и вновь измеряют на них расстояние между рисками.

Данные опытов вносятся в табл. 12.3.

12.3 Параметры и степень ориентации образцов

Расстояние между рисками, мм		Степень ориентации $\varepsilon_{\text{ор}}$, %	
l_1 (до нагревания)	l_2 (после нагревания)	каждого образца $\varepsilon_{\text{ор}i}$	среднее значение $\bar{\varepsilon}_{\text{пр}}$

Степень ориентации оценивается величиной усадки $\varepsilon_{\text{ор}}$, вызванной дезориентацией:

$$\varepsilon_{\text{ор}} = \frac{l_1 - l_2}{l_1} 100. \quad (12.17)$$

Плотность полимера в отформованных деталях определяют гидростатическим взвешиванием.

5 Прочностные показатели - разрушающее напряжение при растяжении σ_p , относительное удлинение при разрыве

ε_p , предел текучести σ_T , соответствующее ему относительное удлинение ε_T и модуль упругости E при растяжении определяют на образцах, отлитых при различных технологических режимах. Полученные данные вносятся в табл. 12.4. Анализируют влияние технологических параметров литья на прочность и деформируемость деталей.

12.4 Технологические параметры литья под давлением

Характеристика образцов	Расположение литника	Температура цилиндра, °С	Температура формы, °С	Давление литья, МПа	Продолжительность выдержки под давлением, с
Усадка, %					
Масса, г					
Степень ориентации					
σ_p					
ε_p					

Отчет

- 1 Схема литьевой машины.
- 2 Характеристика материала.
- 3 Режим переработки.
- 4 Технологические расчеты.
- 5 Циклограмма работы литьевой машины.
- 6 Показатели качества изделий.

Контрольные вопросы

- 1 Особенности переработки методом литья под давлением термопластов, реактопластов и резиновых смесей.
- 2 Цикл литья под давлением. Основные стадии.
- 3 Режимы работы литьевой машины.
- 4 Необходимость выдержки под давлением термопласта в литьевой форме.
- 5 Термический КПД материального цилиндра.
- 6 Технологические параметры процесса, влияющие на термический КПД.
- 7 Зависимость степени ориентации макромолекул полимера от режима литья под давлением.

Лабораторная работа 13

ТЕРМОКОНТАКТНАЯ СВАРКА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: изучение технологических параметров термоимпульсной и термоконтактной сварки прессованием пленочных и листовых термопластичных материалов, исследование влияния параметров сварки на качество сварного шва изделия.

Оборудование: аппарат для термоимпульсной сварки, приспособление для контактно-тепловой сварки прессованием, машина разрывная.

Предварительная подготовка

- 1 Ознакомиться с конструкцией аппарата для термоимпульсной сварки и приспособлением для контактно-тепловой сварки прессованием [37, с. 13 - 37; 17, с. 335 - 342; 19, с. 464 - 474].
- 2 Изучить технологию термоимпульсной и контактно-тепловой сварки прессованием [38].

3 Для заданных термопластов изучить режимы сварки и методы контроля качества сварных соединений [37, с. 55 - 62, 199 - 218].

Порядок выполнения работы

- 1 Ознакомиться с инструкцией по охране труда и технике безопасности при работе на аппарате для термоимпульсной сварки и приспособлении для контактно-тепловой сварки прессованием.
- 2 Подготовить образцы полимерных материалов к сварке.
- 3 Ознакомиться с технологическими режимами сварки пленочных и листовых полимерных материалов.
- 4 Провести процесс термоимпульсной сварки пленок из термопласта при различных технологических режимах.
- 5 Провести процесс термокотактной сварки листов из термопласта при различных технологических режимах.
- 6 Определить оптимальный технологический режим сварки заданного пленочного и листового полимерного материала.

Методические указания

Сварка пластмасс - один из способов создания неразъемного соединения элементов конструкций. В результате сварки между соединяемыми поверхностями исчезает граница раздела, превращаясь в размытый переходный слой. Прочность соединения обуславливают возникающие в этом слое силы межатомного и межмолекулярного взаимодействия. При сварке термопластов и термоэластопластов переходный слой образуется в результате диффузии макромолекул полимера, находящегося в вязкотекучем состоянии. Это состояние реализуется при нагревании свариваемых материалов или при действии на них растворителя. Соответственно различают диффузионную тепловую сварку и диффузионную сварку с помощью растворителя.

Прочное сварное соединение терморезактивных полимеров, которые невозможно перевести в расплав или раствор, может быть образовано при химическом взаимодействии макромолекул между собой или с введенным в зону сварки сшивающим агентом. Такой способ создания соединения называется химической сваркой. Его используют также для сварки некоторых кристаллических или ориентированных термопластов, когда необходимо в максимальной степени сохранить структуру свариваемых материалов.

Источники нагрева при сварке - нагретые газ, инструмент, присадочный материал или тепло, генерируемое в материалах в результате преобразования различных видов энергии - токов высокой частоты, ультразвука, трения, инфракрасного или лазерного излучения.

Контактно-тепловая (термокотактная) сварка - универсальный способ, которым принципиально можно соединить все термопласты больших и малых толщин. При данном методе сварки нагрев соединяемых поверхностей деталей происходит за счет контакта с нагревательным (сварочным) инструментом, через который чаще всего передается давление на свариваемые поверхности.

Определение оптимальных параметров термоимпульсной сварки

Термоимпульсная сварка заключается в нагревании внешних поверхностей свариваемого пакета за счет импульсной подачи тепла с помощью малоинерционных нагревателей и последующем быстром охлаждении сварного шва.

1 Оптимальный режим термоимпульсной сварки определяется на образцах полиэтиленовой пленки при изменении величины и продолжительности импульса электрического тока, пропускаемого по нагревателю сварочного аппарата, с последующим испытанием их по заданной программе. Испытаниям подвергаются кусочки пленки размером 100 × 160 мм, соединяемые внахлестку с расположением сварного шва посередине образцов (рис. 13.1). Испытания проводятся на сдвиг и на расслаивание на одном образце. Для испытания двух образцов при каждом режиме нужно 42 кусочка пленки указанного размера.

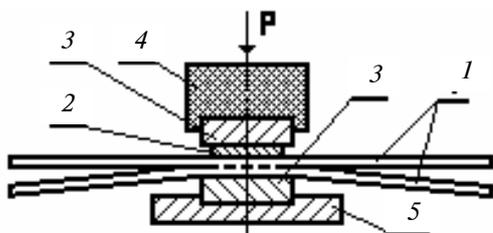


Рис. 13.1 Схема сварки пленок термоимпульсным методом:
1 - свариваемые пленки; 2 - нагреватель; 3 - эластичные прокладки;
4 - подвижный электрод; 5 - неподвижная опора

Сварку образцов при различных режимах выполняют после очистки подлежащих соединению поверхностей от

загрязнения с помощью тканевого тампона, смоченного в бензине.

Сварку выполняют на портативном сварочном термоимпульсном аппарате (рис. 13.2) с нагревающим инструментом (электродом) в виде рейки.

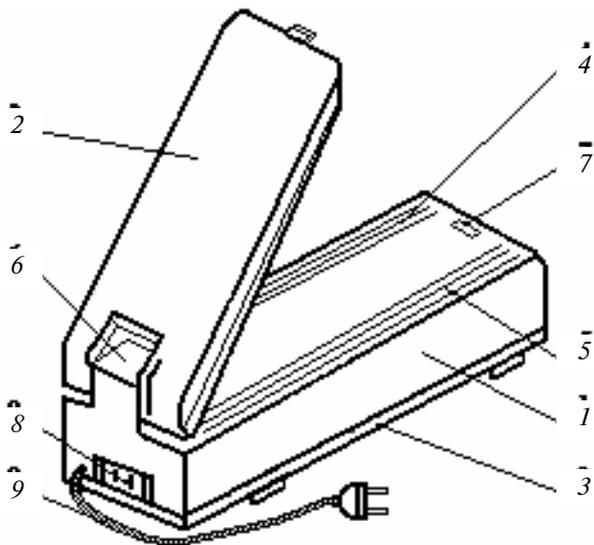


Рис. 13.2 Аппарат для термоимпульсной сварки

Основными деталями аппарата являются корпус 1, крышка-рычаг 2, основание 3, нагреватель ленточный 4, нагреватель проволочный 5, индикатор 6, микропереключатель 7, вилка 9 для подключения в электрическую сеть прибора. На аппарате можно сваривать пленки из термопластов толщиной до 1 мм и длиной до 310 мм.

Работа сварочного аппарата заключается в следующем.

Необходимо подготовить пакет из пленок термопласта к сварке, для чего места сварки очистить от загрязнения (влаги, жира) и т.д. Затем опустить крышку-рычаг 2 на свариваемый пакет и с заданным усилием нажать со стороны нагревателя. Момент начала и окончания сварки фиксируется по секундомеру.

Необходимое давление на свариваемый материал создают вручную или подвесив груз на рукоятку сварочного аппарата.

Груз (в Н) рассчитывают по формуле

$$P = pS \frac{l}{L}, \quad (13.1)$$

где p - давление сварки, МПа; S - площадь сварки, мм²; l и L - расстояние от опоры рамы сварочного аппарата до электрода и рукоятки соответственно, мм.

Давление сварки во всех опытах поддерживают равным 0,05 МПа.

Различные значения напряжения тока (15, 20 и 25 В), подаваемого на нагреватель, задают с помощью автотрансформатора, а продолжительность импульса - с помощью реле времени.

Образцы сваривают при каждом напряжении на нагревателе и продолжительности импульса от долей секунды до нескольких секунд, например 0,25; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0 и 5,0. После нагрева образцы выдерживают в течение 5 с для охлаждения сварного шва, затем сваренные образцы извлекают из-под электрода.

Для оценки прочности соединения образцы испытывают по следующей программе.

Определение прочности при расслаивании и при сдвиге проводят на полосках прямоугольной формы, вырезанных из сваренных образцов. Для каждого вида испытания вырезают не менее трех образцов шириной 10 мм (рис. 13.3).

Испытания проводят при температуре 18 - 22 °С и скорости перемещения подвижного зажима испытательной машины 100 мм/мин.

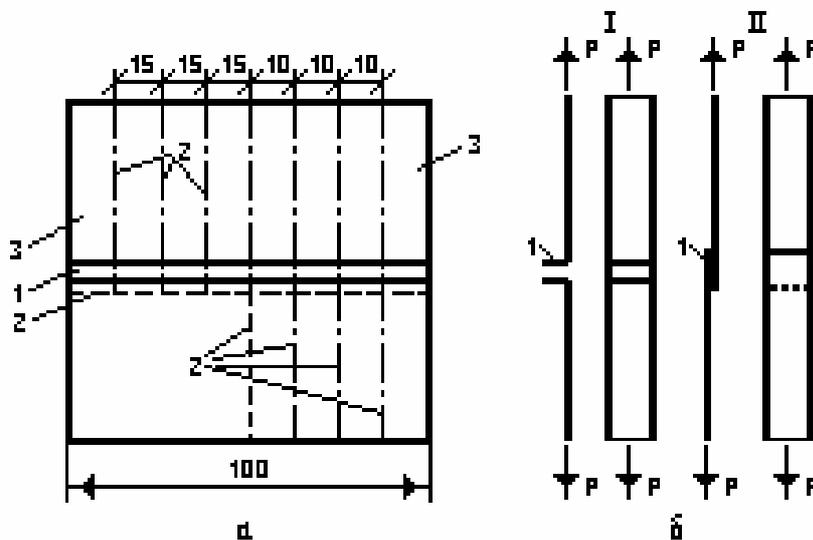


Рис. 13.3 Схема раскроя сваренных кусков пленки на образцы для испытания на механическую прочность (а) и виды испытания образцов (б):

1 - сварной шов; 2 - линии разреза; 3 - неиспользуемые участки; испытание при расслаивании (I) и при сдвиге (II)

Разрушающее напряжение при расслаивании $\sigma_{\text{рас}}$ (Н/см) вычисляют по формуле

$$\sigma_{\text{рас}} = \frac{P}{b}, \quad (13.2)$$

где P - разрушающая нагрузка, Н; b - ширина образца, см.

Разрушающее напряжение при сдвиге $\tau_{\text{сдв}}$ рассчитывают, относя разрушающую нагрузку к ширине образца по формуле

$$\tau_{\text{сдв}} = \frac{P}{b}. \quad (13.3)$$

Полученные результаты вносятся в табл. 13.1. Строятся графики зависимостей абсолютной и относительной прочности сварных соединений от напряжения на нагревателе и от продолжительности нагрева.

13.1 Технологические режимы сварки и характеристики сварного шва

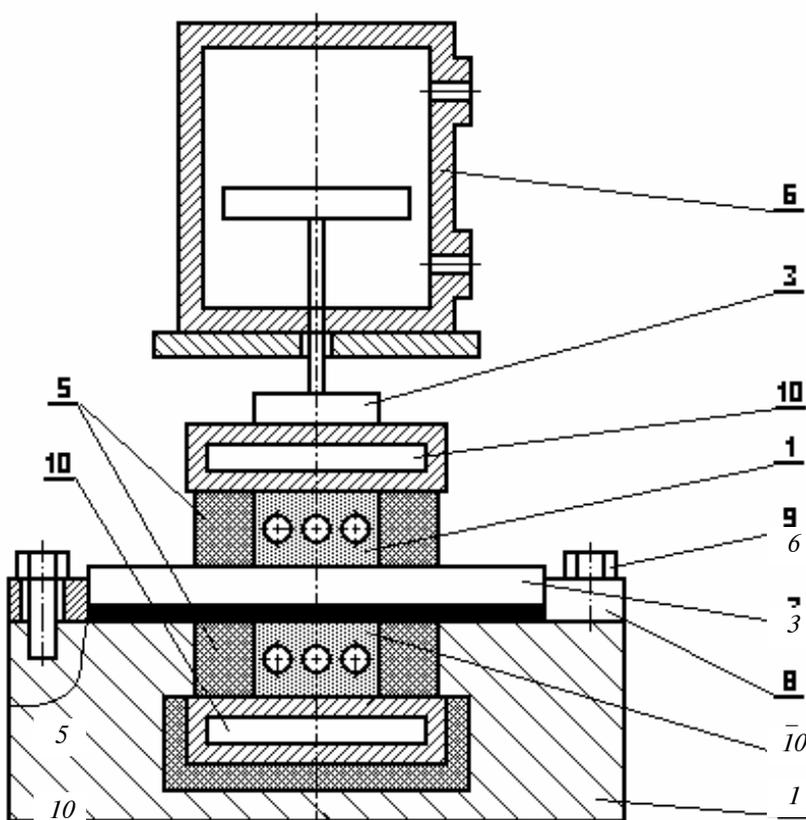
Режим сварки		Прочность, Н/см			Модуль упругости, МПа
напряжение на нагревателе, В	продолжительность нагрева, с	при расслаивании	при сдвиге	при растяжении	

На основании анализа данных табл. 13.1 выбирают оптимальные режимы сварки, обеспечивающие достижение максимальных показателей прочности при минимальной продолжительности процесса.

2 Для проверки найденного оптимального режима сварки сваривают не менее трех образцов заданных размеров и испытывают их согласно программе. Сопоставив полученные результаты испытаний с данными табл. 13.1, уточняют найденный режим сварки.

Определение оптимальных технологических параметров термоконтактной сварки прессованием

1 Определение оптимальных технологических параметров контактно-тепловой сварки прессованием (температуры сварки и давления прижима свариваемых



в которых фрезеруют скос по одной из коротких

импоном, смоченным в бензине, и выдерживают

цы соединяют по обработанным поверхностям и , крепятся соответственно к верхней подвижной

пловой сварки

ЛИСТОВЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ ПРЕССОВАНИЕМ

Питание на электроспиралью инструментов подается через автотрансформатор типа РНО. Мощность электроспиралей должна обеспечивать разогрев инструментов до температуры сварки за время не более 10 минут. Контроль и поддержание заданной температуры осуществляется терморпарой, помещаемой в зоне контакта инструмента с поверхностью образцов, и электронным потенциометром (например, марки ЭПВ2-10). Продолжительность сварки контролируют с помощью секундомера. Во избежание расхождения соединяемых кромок в процессе сварки после укладки образцов 7 на основание их фиксируют ограничительными планками 8, которые прижимают винтами 9. Сварные швы перед распрессовкой образцов охлаждают проточной водой, подаваемой в полость 10 инструментов.

Критериями оценки качества сварных соединений, получаемых при различных параметрах сварки, могут служить показатели прочности, изменение структуры швов по сравнению со структурой исходного материала и степень изменения свойств материала по месту сварки.

Для испытания сварных соединений на прочность вырезают по три пластинки прямоугольной формы шириной 20 мм (рис. 13.5) и измеряют штангенциркулем толщину H и ширину b сварных швов с точностью до 0,1 мм.

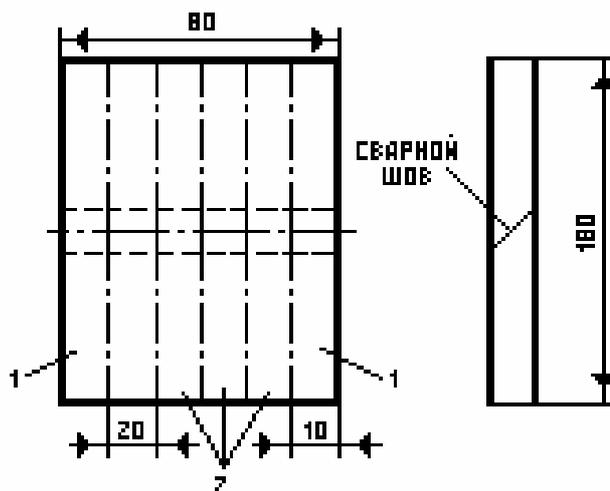


Рис. 13.5 Схема раскроя сваренных образцов:

1 - неиспользуемые участки;

2 - пластинки для испытания на прочность при растяжении

Сварные соединения испытывают на прочность при растяжении при температуре 18 - 22 °С на испытательной машине по методике, приведенной в ГОСТ 11262-76. Скорость перемещения подвижного захвата машины 10 мм/мин. Расстояние между захватами испытательной машины для всех образцов равняется 70 мм.

Параллельно определяют исходную прочность свариваемых материалов.

Для количественной оценки изменения механических свойств материала шва рассчитывают относительную прочность по формуле (13.4):

$$\gamma = \sigma_{p_{с.ш}} / \sigma_{p_{м}}, \quad (13.4)$$

где $\sigma_{p_{с.ш}}$, $\sigma_{p_{м}}$ - разрушающее напряжение при растяжении сварного шва и свариваемого материала соответственно, МПа.

Определяют относительное удлинение при разрыве исходного материала и сваренных образцов.

Степень изменения свойств материала рекомендуется определять только для сварных швов, полученных по оптимальному режиму.

Определяют оптимальную температуру сварки. Оптимальная температура обуславливает быстрое взаимопроникновение макромолекул в зоне соединения при небольших усилиях прижима без протекания деструкции полимера.

Оптимальная температура сварки $T_{св}$ термопластов по диффузионному механизму лежит в интервале между температурой текучести T_T и температурой деструкции T_D . Смещение $T_{св}$ в область температур ниже или выше T_T зависит от продолжительности сварки и давления.

Температуру текучести определяют по термомеханическим кривым этих полимеров.

Сварку проводят при температурах $(T_T - 20)$, T_T и $(T_T + 20)$ с выдержкой в течение 5 мин и при постоянном давлении, равном 0,5 МПа для полипропилена или 1,5 МПа для полиметилметакрилата и поливинилхлорида.

Образцы устанавливают в приспособлении так, чтобы шов располагался посередине нагревающего инструмента. Первоначальное усилие должно составлять 150 - 200 Н на всю поверхность образцов. Образцы фиксируют с помощью ограничительных планок.

После окончания выдержки, не снижая давления, сварные образцы охлаждают до (30 - 40) °С, затем извлекают из приспособления и подготавливают к испытаниям.

Результаты испытаний вносятся в табл. 13.2. Оптимальной температурой сварки считается такая температура, при которой обеспечивается максимальная прочность сварного шва.

За оптимальную продолжительность сварки принимается минимальное время выдержки при температуре сварки, в течение которого достигается максимальная прочность соединения материалов.

Термопласты с высокой молекулярной массой даже в вязкотекучем состоянии обладают высокой вязкостью. Поэтому при контактно-тепловой сварке прессованием для достижения однородной структуры шва необходимо выдерживать образцы при температуре сварки в течение нескольких минут.

Максимально допустимую продолжительность выдержки (термостойкость) при оптимальной температуре сварки $T_{\text{опт}}$ определяют на приборе, показанном на рис. 13.6.

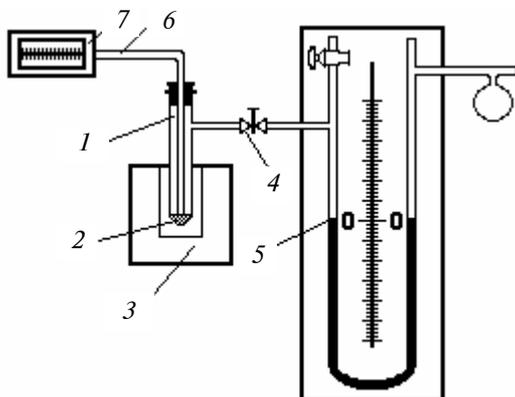


Рис. 13.6 Схема прибора для определения термостойкости полимеров

Пробирку 1 с исследуемым термопластом 2 помещают в термостат 3 с заданной температурой. Посредством стеклянного крана 4 пробирку соединяют с ртутным манометром 5, свободный конец которого сообщается с атмосферой. В момент достижения образцом заданной температуры (она измеряется термопарой 6 и милливольтметром 7 включают секундомер и через каждую минуту записывают показания манометра. По результатам испытания строят график $P = f(t)$ и на нем отмечают момент резкого возрастания давления.

Сварку проводят при $T_{\text{опт}}$ и постоянном давлении. Выдержку отсчитывают с момента достижения в зоне шва $T_{\text{опт}}$. Образцы сваривают при трех значениях выдержки, например, 5, 10 и 15 мин. Сваренные образцы подвергают испытаниям.

Результаты испытаний вносятся в табл. 13.2.

13.2 Режимы сварки и физико-механические показатели сварного шва

Термопласт	Режимы сварки			Физико-механические показатели	
	T , °C	t , мин	P , МПа	σ_p , Мпа	γ
1	2	3	4	5	6

Определяют оптимальную выдержку для каждого испытываемого термопласта.

Оптимальное давление сварки определяют при заданной температуре и продолжительности сварки. Сварку проводят при давлениях 0,2, 0,5 и 1 МПа для полипропилена и 0,5, 1,5 и 2,5 МПа для полиметилметакрилата и поливинилхлорида.

Испытывают сварные соединения. Результаты испытаний вносятся в табл. 13.2. Определяется максимальное давление для каждого испытываемого термопласта.

На основании полученных данных выбирается оптимальный режим сварки.

2 Для проверки найденного оптимального режима сварки сваривают на ус три пары образцов размером 80×100 мм. Вырезают из них образцы и проводят испытания по приведенным методикам.

Отчет

1. Дать описание физической сущности процесса сварки пластмасс, классификацию методов сварки.
2. Описать технологию и применяемое оборудование термоконтактной сварки термопластов.
3. Представить графические зависимости по определению оптимальных параметров термоконтактной сварки термопластов:

$$\sigma = f(\tau); \quad \sigma = f_1(p),$$

где σ - предел прочности при разрыве, Н/м²; τ - время сварки, с; p - усилие, оказываемое на свариваемые поверхности, Н.

Контрольные вопросы

1. Механизм процесса сварки пластмасс.
2. Основные факторы, влияющие на свариваемость полимерных материалов.
3. Основные параметры процесса контактно-тепловой сварки.
4. Качество сварных швов. Причины брака.
5. Как изменяются свойства аморфных и кристаллических термопластов при контактно-тепловой сварке?
6. Термоимпульсная сварка. Отличие от контактно-тепловой сварки прессованием.

Лабораторная работа 14

ТЕХНОЛОГИЯ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: изучение технологии и ознакомление с оборудованием вторичной переработки термопластов.

Оборудование: ножевой измельчитель для термопластов.

Предварительная подготовка

1. Ознакомиться с основными видами вторичного полимерного сырья [40, с. 12 - 244, 41, с. 21 - 155].
2. Изучить существующие технологии вторичной переработки полимерных материалов [40, с. 53 - 204; 41, с. 61 - 172].
3. Изучить технологический процесс дробления термопластов на ножевом измельчителе [41, с. 82 - 102; 42, с. 105 - 143].

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с инструкцией по охране труда и технике безопасности при работе на ножевом измельчителе.
2. Ознакомиться с видами вторичных полимерных материалов.
3. Измельчить полимерный материал на лабораторной установке.
4. Определить экспериментально и рассчитать основные параметры технологического процесса измельчения.

Методические указания

Вторичная переработка полимерных материалов обусловлена необходимостью утилизации промышленных и бытовых изделий из пластмасс, отслуживших свой срок и пришедших в негодность. К сожалению, не все отслужившие изделия из полимеров могут быть использованы для вторичной переработки. Часть их составляют невозвратные потери (например, зарытые в землю трубы, пленки мелиоративного назначения, кабельная изоляция), а часть должна использоваться как топливо для металлургических процессов или в других энергоемких производствах. Небольшая часть изделий изготавливается из полимерных материалов, которые после использования саморазлагаются.

Та часть общего объема производства пластмасс, которая может быть использована при вторичной переработке, подвергается измельчению для использования в виде порошкообразных добавок при первичной переработке пластмасс.

Технологическая схема вторичной переработки полимерных материалов включает в себя следующие стадии и операции: сбор, сортировка, очистка, измельчение и грануляция. Наиболее ответственными стадиями являются измельчение и грануляция.

При вторичной переработке полимерных отходов необходимо помнить, что материал, подвергнутый вторичной переработке, не обладает в полной мере свойствами, присущими первичному полимерному материалу этого типа. В процессе эксплуатации происходит, например, накопление кислородсодержащих атомных групп, являющихся реакционно-способными центрами, способствующими дальнейшей деструкции.

Измельчение полимерных материалов

Технологический процесс измельчения осуществляется в ножевом измельчителе. Ножевой измельчитель предназначен для измельчения полимерных отходов в лабораторных условиях.

Ножевой измельчитель (рис. 14.1) состоит из станины 1, на которой жестко закреплен корпус 3. К корпусу болтами 18 крепится фланцевый электродвигатель 2. На валу электродвигателя, с помощью шпоночного соединения 7, смонтирован диск 14. На центрирующий цилиндрический выступ диска установлен ротор 9, который крепится болтом 8 к валу электродвигателя. Кроме того, ротор и диск между собой соединены шпильками 6. Шпильки работают на срез и служат предохранительными элементами от перегрузки электродвигателя.

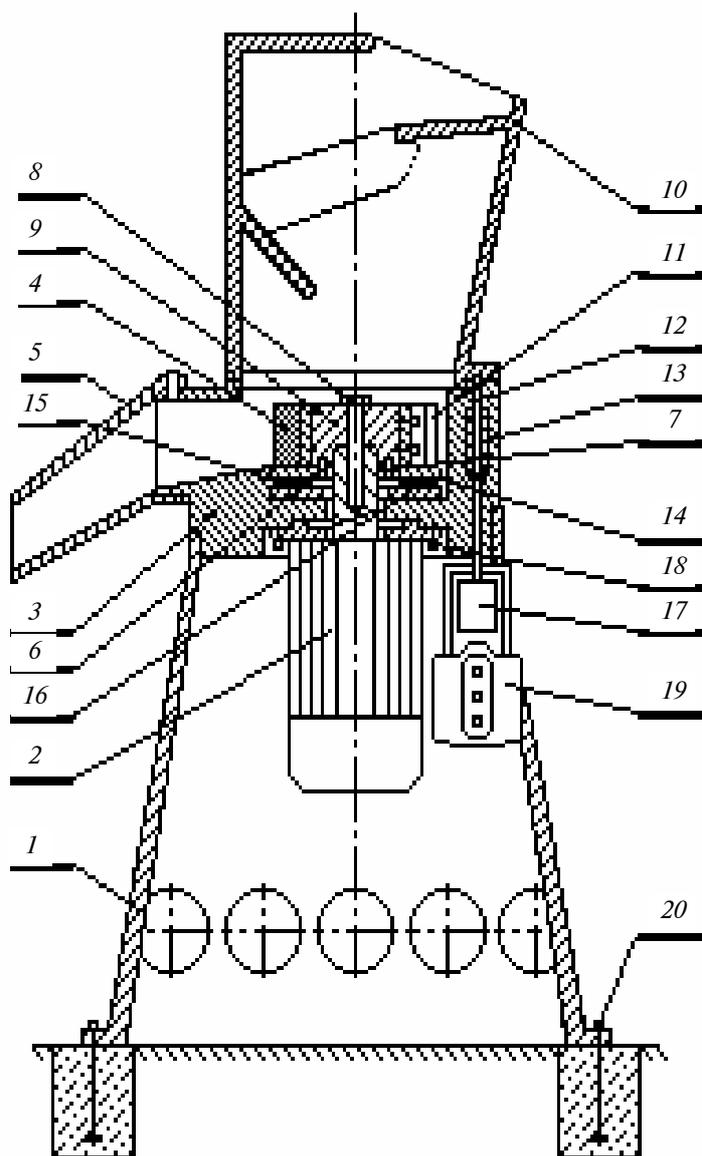


Рис. 14.1 Конструктивная схема ножевого измельчителя

На роторе закреплены два ножа 11. На корпусе установлено два неподвижных ножа. Для регулировки зазоров между неподвижными и подвижными ножами имеется возможность их радиального перемещения. Корпус с ротором и диском образуют камеру измельчения. Измельчитель снабжен литой загрузочной воронкой 10, которая устанавливается над корпусом. На внутренней поверхности воронки предусмотрены две защитные перегородки, предотвращающие выброс частиц материала из камеры измельчения при работе измельчителя.

Измельченный материал отводится из камеры измельчения через калибровочную сменную решетку 4 и наклонный лоток

5, закрепленный на корпусе.

Для ускоренного торможения ротора при выключенном электродвигателе измельчитель снабжен тормозным устройством, состоящим из электромагнита 17, штока 12, пружины 13, плоской колодки 16, к которой крепится фрикционная накладка 15. Управление работой измельчителя осуществляется с помощью кнопочного пульта 19. Измельчитель в сборе установлен на фундаменте и закреплен болтовым соединением 20.

Работа лабораторного ножевого измельчителя осуществляется следующим образом. Полимерные отходы, подлежащие переработке, вручную подаются в загрузочный бункер. Из бункера они поступают в измельчительную камеру, где захватываются вращающимся ротором. При вращении за счет центробежных сил они отбрасываются к периферии камеры и попадают в зону измельчения. Процесс измельчения осуществляется между двумя ножами, установленными на неподвижном корпусе и вращающемся роторе. В зависимости от вида перерабатываемых материалов может быть их хрупкое разрушение или упругопластический срез.

Качество измельчения материалов определяется величиной зазора между ножами. С уменьшением зазора при переработке вязкоупругих материалов (в основном термопластов) приближается вероятность чистого среза материала, а при его увеличении - излом. Регулировка зазора осуществляется путем радиального перемещения ножей на роторе в пределах 1,0 - 1,5 мм.

Степень измельчения определяется величиной отверстия калибровочной решетки (сита), закрепленной к боковой поверхности корпуса. Выход измельченного материала через сито (крошки размерами 1 - 5 мм), осуществляется за счет центробежных сил, действующих на частицы материала.

Работа тормозного устройства измельчителя осуществляется следующим образом. При включенном электродвигателе шток электромагнита втягивается в катушку, сжимает пружину и тормозная колодка отходит от поверхности диска. При этом ротор имеет возможность свободного вращения. При окончании процесса измельчения и отключении электродвигателя пружина прижимает тормозную колодку к диску и происходит торможение ротора.

В случае возникновения перегрузки (например, заклинивания ножей или попадания между ножами металлических элементов), т.е. возникновения большого крутящего момента на валу электродвигателя, шпильки установленные между ротором и диском, могут быть срезаны. Тогда диск будет иметь возможность свободного вращения относительно ротора и тем самым электродвигатель будет предохранен от перегорания.

Определение технологических параметров

Основными параметрами ножевого измельчителя являются производительность и мощность привода вращения ротора. Производительность ножевого измельчителя в общем случае определяется видом перерабатываемых полимерных отходов, их формой, величиной и количеством отверстий на сите, числом оборотов ротора, числом ножей на роторе и корпусе, а также шириной ножей.

Для определения объемной и массовой производительности ножевого измельчителя можно воспользоваться формулами (14.1) и (14.2):

$$V = 3600vS\varphi \text{ [м}^3\text{/ч];} \quad (14.1)$$

$$G = 3600vS\gamma\varphi, \text{ [кг/ч],} \quad (14.2)$$

где v - скорость движения измельченного материала (крошки) через сечения отверстий сита, м/с; S - суммарная площадь отверстий сита, м²; γ - насыпная плотность измельченного материала, кг/м³; φ - коэффициент полноты заполнения отверстий сита крошкой.

Обычно φ (в зависимости от типоразмера измельчителя) изменяется от 0,5 до 0,8.

Так как параметры V , G , S и γ могут быть определены экспериментально, то представляет интерес найти из опытных данных скорость движения измельченной крошки через сечение отверстий сита.

Для этих целей в процессе измельчения материала с помощью специального мерника и секундомера определяют объемную и массовую производительность, а также насыпную плотность. Затем находят суммарную площадь сечения отверстий сита по формуле (14.3):

$$S = \frac{\pi d^2}{4} n, \quad (14.3)$$

где d - диаметр отверстий сита, м; n - количество отверстий в сите.

По опытным данным S , V и G рассчитывают скорость движения измельченной крошки через сито.

При определении V , G и γ опыты повторяют не менее трех раз и в расчетах используют их средние значения.

Отчет

- 1 Описание назначения, конструкции и принципа работы лабораторного ножевого измельчителя.
- 2 Конструктивная схема измельчителя.
- 3 Методика определения экспериментальных и расчетных параметров измельчителя.

Контрольные вопросы

- 1 Основные виды вторичного полимерного сырья.
- 2 Общая технологическая схема вторичной переработки полимерных материалов.
- 3 Современные методы переработки отходов полимерных материалов.
- 4 Особенности вторичной переработки термопластов, реактопластов и эластомеров.
- 5 Назначение ножевых измельчителей при вторичной переработке полимерных материалов.
- 6 Основные параметры процесса измельчения на ножевом измельчителе.
- 7 Механизм разрушения вторичных полимерных материалов.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 *Басов Н. И., Казанков Ю. В., Любартович В. А.* Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов. М.: Химия, 1986. 488 с.
- 2 *Салазкин К. А.* Прессование, прессы. М.: МИХМ, 1975. Ч. 1. 196 с.
- 3 *Клишков А. С., Маликов О. Г., Кочетов В. И., Жуков Н. П.* Основы проектирования и расчета литьевого и прессового оборудования для переработки полимерных материалов. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 1999. 162 с.
- 4 *Белозеров Н. В.* Технология резины. М.: Химия, 1967. 660 с.
- 5 *Лукомская А. И.* Механические испытания каучука и резиновой смеси. М.: Химия, 1968. 500 с.
- 6 *ГОСТ 10722-78.* Каучуки и резиновые смеси. Метод определения вязкости и способности к преждевременной вулканизации.
- 7 **ИВАНОВА В. Н., АЛЕШУНИНА Л. А. ТЕХНОЛОГИЯ РЕЗИНОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ. Л.: ХИМИЯ, 1980. 264 С.**
- 8 *ГОСТ 415-75.* Определение пластичности каучука и невулканизованных резиновых смесей на пластометре.
- 9 *ГОСТ 412-76.* Определение "кольцевого" модуля резины.
- 10 *ГОСТ 263-53.* Определение твердости резины твердомером ТМ-2.
- 11 *ГОСТ 267-73.* Резина. Методы определения плотности.
- 12 *ГОСТ 269-66.* Резина. Общие требования к проведению физико-механических испытаний.
- 13 *ГОСТ 6950-54.* Резина. Метод определения эластичности.
- 14 *ГОСТ 270-64.* Резина. Метод определения предела прочности при разрыве.
- 15 *ГОСТ 263-53.* Определение твердости резина твердомером ТМ-2.
- 16 *Николаев А. Ф.* Технология пластических масс. Л.: Химия, 1977. 368 с.
- 17 *Гуль В. Е., Акутин М. С.* Основы переработки пластмасс. М.: Химия, 1985. 400 с.
- 18 *Техника переработки пластмасс / Под ред. Н. И. Басова, В. Броя.* М.: Химия, 1985. 528 с.
- 19 *Основы технологии переработки пластмасс / С. В. Власов, Э. Л. Калинин, Л. Б. Кандырин и др.* М.: Химия, 1995.
- 20 *Завгородний В. К., Калинин Э. Л., Махаринский Е. Г.* Оборудование предприятий по переработке пластмасс. Л.: Химия, 1972. 464 с.
- 21 *Басов Н. И., Любартович В. А., Любартович С. А.* Контроль качества полимерных материалов. Л.: Химия, 1977. 94 с.
- 22 *ГОСТ 14359-69.* Пластмассы. Методы механических испытаний. Общие требования.
- 23 *ГОСТ 11262-80.* Пластмассы. Метод испытания на растяжение.
- 24 *ГОСТ 4647-80.* Пластмассы. Метод определения ударной вязкости по Шарпи.
- 25 *ГОСТ 4651-71.* Пластмассы. Метод испытания на сжатие.
- 26 *ГОСТ 4648-71.* Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб.
- 27 *ГОСТ 4670-77.* Пластмассы. Метод определения твердости путем вдавливания шарика.

- 28 Салазкин К. А., Шерышев М. А. Машины для формования изделий из листовых термопластов. М.: Машиностроение, 1977. 158 с.
- 29 Каплун Я. Б., Ким В. С. Формующее оборудование экструдеров. М.: Машиностроение, 1967. 159 с.
- 30 Клинков А. С., Кочетов В. И., Маликов О. Г. Основы проектирования и расчета червячных машин для переработки полимерных материалов. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 1992. 94 с.
- 31 Рябинин Д. Д., Лукач Ю. Е. Червячные машины для переработки пластических масс и резиновых смесей. М.: Машиностроение, 1965. 363 с.
- 32 Оборудование для переработки пластмасс: Справочное пособие / Под ред. В. К. Завгороднего. М.: Машиностроение, 1976. 407 с.
- 33 Торнер Р. В. Основные процессы переработки полимеров. (Теория и методы расчета). М.: Химия, 1972. 464 с.
- 34 Лапшин В. В. Основы переработки термопластов литьем под давлением. М.: Химия, 1974. 271 с.
- 35 Бернхардт Э. Переработка термопластичных полимерных материалов / Пер. с англ. Под ред. Г. В. Виноградова. М.: Госхимиздат, 1962. 748 с.
- 36 ГОСТ 18616-86.
- 37 Зайцев К. И., Мацюк Л. М. Сварка пластмасс. М.: Машиностроение, 1978. 128 с.
- 38 Тростянская Е. Б., Комаров Г. В., Шишкин В. А. Сварка пластмасс. М.: Машиностроение, 1967. 294 с.
- 39 ГОСТ 11262-76.
- 40 Быстров А., Гальперин В. М., Титов Б. П. Обезвреживание и утилизация отходов в производстве пластмасс. Л.: Химия, 1982. 264 с.
- 41 Штарке Л. Использование промышленных и бытовых отходов пластмасс. Л.: Химия, 1987. 175 с.
- 42 Сиденко П. М. Измельчение в химической промышленности. М.: Химия, 1977. 468 с.