

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»**  
(ВлГУ)

Кафедра химических технологий

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
ДЛЯ СТУДЕНТОВ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРНЫХ  
СИСТЕМ»**

**для студентов ВлГУ, обучающихся по направлению  
18.04.01 «Химическая технология»**

Владимир – 2015 г.

Данные методические указания включают рекомендации по содержанию и выполнению лабораторных работ по дисциплине «Современные методы переработки полимерных систем» для студентов направления 18.04.01. «Химическая технология» ВлГУ.

Методические указания составлены на основе требований ФГОС ВО и ОПОП направления 18.04.01. «Химическая технология», рабочей программы дисциплины «Современные методы переработки полимерных систем»

Рассмотрены и одобрены на  
заседании УМК направления  
18.04.01 «Химическая технология»  
Протокол №7 от 5.02.2015 г.

**Рукописный фонд кафедры ХТ ВлГУ**

## **Методические рекомендации по подготовке к лабораторным занятиям**

Методические указания к выполнению лабораторных работ, входящих в состав УМКД включают:

1. Цель выполнения лабораторной работы.
2. Порядок выполнения лабораторной работы.
3. Варианты индивидуальных или групповых заданий.
4. Содержание отчета по лабораторной работе.
5. Контрольные вопросы.
6. Список литературы.

Лабораторные работы – необходимая и ответственная часть образовательной программы, требующая серьезной и тщательной домашней подготовки. Студент получает задание на проведение лабораторной работы (обычно в конце предыдущего лабораторного занятия). Студент должен изучить методику проведения работы. Далее выполняются необходимые расчеты (расчет подается на проверку преподавателю). Правильность выполнения расчетов – залог успешной работы, адекватных результатов исследований. Студент получает допуск на работу. Во время работы данные заносятся в рабочий журнал студента. По окончании работы студент оформляет отчет. Подготовка к защите заключается в ответе на вопросы к лабораторной работе и теоретической подготовке по теме работы.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Лабораторная работа № 1. Получение изделий из термопластов методом литья под давлением	5
Лабораторная работа № 2. Получение изделий методом экструзии.	8
Лабораторная работа № 3. Переработка пластмасс на валковых машинах.	14
Лабораторная работа № 4. Получение изделий методом вакуумформования.	18
Лабораторная работа № 5. Изготовление изделий методом прессования.	22
Лабораторная работа № 6. Изготовление изделий из армированных пластиков методом намотки.	26
Лабораторная работа № 7. Определение текучести пресс-материалов	30
Лабораторная работа № 8. Изготовление изделий методом контактного формования	33
Лабораторная работа № 9. Сварка пластмасс.	40
Лабораторная работа № 10. Склеивание пластмасс.	46
ПРИЛОЖЕНИЕ	49

# Лабораторная работа 1.

## «Получение изделий из термопластов методом литья под давлением»

### 1. Цель работы:

Приобрести практические навыки работы на лабораторной литьевой машине, научиться определять основные параметры процесса литья под давлением термопластов и устанавливать взаимосвязь между ними.

### Оборудование и материалы:

Литьевая машина с объемом впрыска 90см<sup>3</sup>. Кроме литьевой машины, при выполнении работы необходимы микрометр или индикатор часового типа, весы, измельчитель пластмасс роторный,

По заданию преподавателя можно использовать полиэтилен низкой плотности, полипропилен, АБС-пластик и другие термопластичные материалы.

### 2. Методика выполнения работы:

Студентам необходимо найти в литературе и согласовать с преподавателем температурный режим переработки, заданного материала. Обычно по зонам литьевой машины устанавливают температуру, превышающую температуру текучести термопласта на 20, 40 и 60 градусов, но не выше температуры начала деструкции.

При выполнении лабораторной работы студент выставляет на пульте управления машины технологические параметры литья под давлением. Далее студент снимает показания и рассчитывает технологическое время и время цикла литья под давлением, которые приведены в практической части.

### Практическая часть:

Продолжительность цикла литья рассчитывают по формулам:

$$t_{ц} = t_{см} + t_{впр} + t_{разм} + t_{техн};$$

где  $t_{см}$ ,  $t_{впр}$ ,  $t_{разм}$  - продолжительность смыкания, впрыска и размыкания;  $t_{техн}$  - технологическое время (время охлаждения изделия в форме), с;

Технологическое время определяется по формуле:

$$t_{техн} = 0.101 \frac{\delta^2}{\alpha} \left( \ln 1.27 - \ln \frac{T_{и} - T_{ф}}{T_{рс} - T_{ф}} \right),$$

где  $\alpha$  - температуропроводность;  $T_{и}$ ,  $T_{ф}$ ,  $T_{рс}$  - температура изделия, формы и расплава соответственно, К.  $T_{и}$  принимается приблизительно на 10-30 градусов ниже  $T_{с}$  или  $T_{пл}$ ,  $T_{рс}$  принимается приблизительно равной  $T_{цилиндра}$ .  $T_{ф}$  выбирается из справочных данных.

При экспериментальном определении цикла литья

$$t_{техн} = t_{выд} + t_{охл},$$

где  $t_{выд}$  - время выдержки под давлением, с;  $t_{охл}$  - время охлаждения изделия, с.

Полученные результаты оформить в отчете в виде таблицы, где указать характеристики используемого материала, параметры технологического процесса, результаты расчетов и измерений, определить ошибку эксперимента. Обсудить результаты расчетов, сделать выводы, дать список использованной литературы.

### Требования безопасности при работе на экструдере

1. Термопластавтомат (литьевая машина) относится к оборудованию с повышенной

опасностью для обслуживающего персонала. Возможно получение ожогов, механических травм, поражения электротоком при несоблюдении условий, обеспечивающих безопасную эксплуатацию оборудования.

2. В процессе литья под давлением перерабатываемые материалы подвергаются воздействию высокой температуры (до 300°C).

3. Включение и выключение литейной машины, переключение режимов работы осуществляется лаборантом.

4. Следить за чистотой машины. При чистке машины нужно отключить электрообогрев.

5. При работе на литейной машине запрещается:

- работать при открытых защитных кожухах.
- пользоваться открытым огнем.
- прикасаться к движущимся частям машины и частям машины, находящимися за ограждением.

### **3. Варианты индивидуальных или групповых заданий:**

1. Ознакомиться с конструкцией литейной машины, найти все рукоятки и кнопки управления, определить их назначение.

2. Выбрать или рассчитать технологические параметры литья под давлением: температуру материального цилиндра по зонам, температуру формы, давление литья, показания манометра литейной машины, продолжительность выдержки под давлением и без давления, продолжительность цикла, машинное и технологическое время. Рассчитать технологическое время литья под давлением.

3. Ознакомиться с рабочими приемами регулирования технологических параметров (машину включает лаборант).

4. Получить методом литья под давлением 10-15 изделий, визуально оценить их качество.

5. Найти режим термообработки литейных изделий, построить графики зависимости «температура термообработки – усадка» и «температура термообработки – твердость» по экспериментальным данным.

### **4. Содержание отчета по лабораторной работе.**

Отчет по лабораторной работе должен включать в себя:

- титульный лист;
- теоретическая часть;
- цель работы;
- оборудование, приборы и вспомогательные средства;
- расчетную (практическую) часть;
- выводы по лабораторной работе;
- список использованных источников.

Пример оформления лабораторной работы приведен далее.

### **5. Контрольные вопросы**

1. Дайте характеристику цикла формования изделия литьем под давлением. Выполните расчет примерного цикла литья под давлением.

2. С какой целью выполняется операция выдержки под давлением в литейной форме при литье термопласта? Выполняется ли эта операция при литье реактопластов?

3. Объясните, почему масса изделий, как правило, увеличивается с повышением температуры литья термопластов?

4. Как зависит прочность изделия в местах спаев и расположения литника от режима литья?
5. От каких факторов зависит время охлаждения изделия в форме? Как рассчитать время охлаждения?
6. Как зависит усадка изделия от сырья и технологических параметров процесса литья под давлением?
7. Объясните причины падения давления в форме в ходе процесса литья под давлением. Каким должно быть остаточное давление и почему?
8. Как выбирают технологические параметры литья под давлением?
9. Назовите причины брака литьевых изделий и способы их устранения?
10. Составьте технологическую карту на заданное изделие?
11. Как приводиться в движение цилиндр, шнек, форма, выталкиватель?

#### **6. Список рекомендуемой литературы**

1. Современные методы переработки полимерных материалов. Экструзия. Литье под давлением: учеб. Пособие / Ю.Т. Панов, Л.А. Чижова, Е.В. Ермолаева; Владим. гос. ун-т имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. - Владимир: Изд-во ВЛГУ, 2013. - 128с.
2. Технология литья [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.Г. Кузнецов, Ф.А. Гарифуллин, Г.С. Дьяконов. - Казань: Издательство КНИТУ, - 2012.
3. Принципы управления качеством полимерной продукции [Электронный ресурс] / Садова А.Н. - М. : КолосС, - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений) - 2009.

## Лабораторная работа 2 «Получение изделий методом экструзии»

### 1. Цель работы:

Приобрести практические навыки работы на лабораторном экструдере, научиться определять основные параметры процесса экструзии и устанавливать взаимосвязь между ними.

### Оборудование и материалы:

Лабораторный одночервячный экструдер; гранулированный термопласт; секундомер; весы лабораторные (точность до 0,1 г); измерительная линейка с миллиметровыми делениями.

### 2. Методика выполнения работы:

1. Получить у преподавателя данные, необходимые для выполнения работы: а) вид перерабатываемого материала; б) уточненное задание по работе.

2. Включить электрообогрев трех зон экструдера, подавая на электронагреватели каждой зоны необходимое напряжение автотрансформатором. Проконтролировать исправность электронагревателей (по отклонению стрелки амперметра на пульте управления экструдера) и установить необходимые температуры по зонам экструдера.

ВНИМАНИЕ: достижение стационарного теплового режима экструдера происходит в течение 1-1,5 часа.

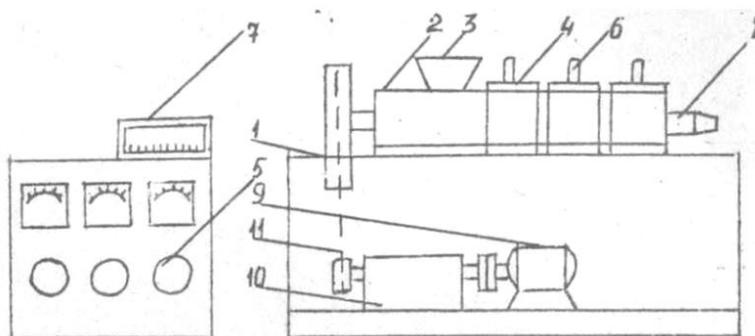


Рис. 3.1. Схема лабораторного одночервячного экструдера:

1 – рама; 2 – цилиндр экструдера; 3 – загрузочный бункер; 4 – электронагреватели; 5 – автотрансформаторы; 6 – терморезисторы; 7 – милливольтметр; 8 – профилирующая головка; 9 – электродвигатель переменного тока; 10 – редуктор; 11 – цепная передача

Геометрические параметры червяка экструдера:

1. Число заходов червяка  $t=2$ ;
2. Диаметр червяка  $D=30\text{мм}$ ;
3. Шаг винтовой нарезки червяка  $t=60\text{мм}$ ;
4. Глубина винтовой нарезки червяка в зоне дозирования  $h_d=2,5\text{мм}$ ;
5. Глубина винтовой нарезки червяка в зоне загрузки  $h_z=5,0\text{мм}$ ;
6. Длина зоны дозирования  $l_d=220\text{мм}$ ;
7. Длина зоны пластикация  $l_n=60\text{мм}$ ;
8. Длина зоны загрузки  $l_z=160\text{мм}$ ;
9. Ширина гребня винтовой нарезки червяка  $e=4\text{мм}$ ;

10. Величина зазора между гребнями винтовой нарезки червяка и стенками цилиндра  $\delta=0,15\text{мм}$ ;
11. Угол подъёма винтовой нарезки червяка  $\varphi=\text{arctg}^*(t/\pi*D)$ ;
12. Геометрические параметры головки экструдера видны из рис.3.2.

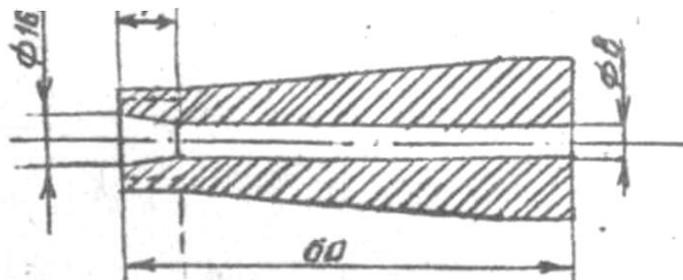


Рис. 3.2. Экструзионная головка для изделия «стержень»

Таблица 3.1

Температурные режимы экструзии при переработке различных термопластов

Термопласт	Температура по зонам и в головке			
	I	II	III	ГОЛОВКА
Полиэтилен ВД	110	150	180	180
Полиэтилен НД	150	180	200	250
Полипропилен	230	250	280	280
Поливинилхлорид с 48% дибутилфталата и 3% стеарата калькия	150	165	180	180

Таблица 3.2

Определение коэффициентов геометрической формы  $K$  каналов головок экструдеров и скоростей сдвига  $\gamma$  в этих каналах

Вид канала	Расчетная схема	Расчетные формулы
Круглый цилиндрический		$K_i = \frac{\pi d^4}{128L}$ $j = \frac{32Q}{\pi d^3}$
Круглый конический		$K_i = \frac{3\pi D^3 d^3}{128L(D^2 + Dd + d^2)}$ $j = \frac{256Q}{\pi(D-d)^2}$

Перемещением рычага коробки скоростей привода редуктора установить заданную скорость вращения шнека. Ее контролировать, используя метку на большом приводном колесе шнека экструдера и секундомер. Засыпать гранулированный термопласт в

загрузочную воронку экструдера. Спустя некоторое время после выхода перерабатываемого материала из головки экструдера (около 10-15 минут) измерить массовую производительность экструдера  $G$  (г/мин), для чего одновременно с включением секундомера отсечь выходящий из головки экструдера пруток расплава термопласта. По истечении одной минуты вторично отсечь пруток термопласта, а охлажденную порцию экструдата, вышедшую из машины за 1 минуту, перенести на весы и взвесить с точностью до 0,1 г.

С помощью штангенциркуля или другого измерительного инструмента измерить диаметр выходящей из головки экструдера струи расплава  $d_3$ , которую в дальнейшем использовать для расчета степени разбухания струи экструдата (%) из соотношения

$$C = \frac{(d_3 - d_2)}{d_2},$$

где  $d_2$  – диаметр отверстия на выходе головки экструдера, мм

Скорость вращения шнека  $h$ , производительность  $G$  и  $d_3$  измерять не менее трех раз. При дальнейших расчетах и анализе полученных данных принимать во внимание средние арифметические значения указанных параметров, вычисленных из многократных измерений. Результаты измерений и расчетов занести в таблицу.

По окончании измерений прекратить подачу гранулированного термопласта в загрузочную воронку экструдера, дождаться прекращения выхода расплава из головки, после чего выключить привод вращения червяка и электрообогрев цилиндра экструдера.

### Практическая часть

Таблица 3.3

Результаты экспериментального и теоретического изучения работы экструдера

Перерабатываемый термопласт	Температура по зонам и в головке, °С	Скорость вращения червяка, с <sup>-1</sup>	Массовая и объемная производительность, г/см <sup>3</sup> с	Объемная производительность (теоретич.), г/см <sup>3</sup>	$\frac{Q_{\text{эксп}} - Q_{\text{теор}}}{Q_{\text{эксп}}}$ , %	Разбуксование, %
По заданию преподавателя	1- 2- 3- головка-	$n_1=$ $n_2=$ $n_3=$ $n_{\text{сред}}=$	$G_1$ $G_2$ $G_3$ $G_{\text{сред}}$ $Q_{\text{эксп}}$	$Q_{\text{теор}}=$		$C_1=$ $C_2=$ $C_3=$ $C_{\text{сред}}$ =

При обработке анализе полученных данных необходимо выполнить следующее:

1. Теоретически оценить производительность экструдера по соотношению:

$$Q = \frac{\alpha \cdot K}{K + \beta \cdot \frac{\mu_{\text{эк}}}{\mu_{\text{зз}}} + \gamma \cdot \frac{\mu_{\text{эз}}}{\mu_{\text{зз}}}} \cdot n$$

где  $Q$  – объемная производительность экструдера;  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  – коэффициенты прямого,

обратного потока и потока утечки;  $K$  – коэффициент геометрической формы головки;  $\mu_3$  – вязкость в канале, зазоре, головке.

Величины  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$  в случае однозаходного червяка с постоянной глубиной нарезки в зоне дозирования можно рассчитать из соотношений:

$$\alpha = \frac{\pi \cdot D \cdot h \cdot g \cdot (t - e) \cdot \cos^2 \varphi}{2}$$

$$\beta = \frac{h^3 \cdot g \cdot (t - e) \cdot \sin 2\varphi}{24 \cdot l \cdot g}$$

$$\gamma = \frac{\pi^2 D^2 \delta^3 \cdot \operatorname{tg} \varphi \sin \varphi}{10e \cdot l \cdot g}$$

где  $D$  – диаметр червяка;  $h_\delta$  – глубина нарезки в зоне дозирования;  $t$  – шаг винтовой нарезки червяка;  $e$  – ширина гребня винтовой нарезки червяка;  $\varphi$  – угол подъема винтовой линии нарезки червяка;  $l_\delta$  – длина зоны дозирования;  $\delta$  – величина зазора между наружным диаметром и внутренней поверхностью цилиндра экструдера

Величины  $\mu_{\text{эк}}$ ,  $\mu_{\text{эз}}$ ,  $\mu_{\text{эг}}$  следует определить из графиков зависимостей  $\mu_3$  от средней скорости сдвига  $j$ . Температуры в зоне дозирования экструдера и в головке определить на основании фактического температурного режима работы экструдера, а величину  $\gamma$  оценить из соотношений:

а) для винтового канала червяка

$$j_k = \frac{\pi^2 (D - h_\delta)(D - 2h_\delta)}{h_\delta \sqrt{\pi^2 (D - 2h_\delta)^2 + t^2}} n$$

где  $D$  – диаметр шнека экструдера;  $h_\delta$  – глубина винтовой нарезки в пределах зоны дозирования;  $t$  – шаг винтовой нарезки червяка

б) для зазора между цилиндром и гребнями винтовой нарезки червяка

$$j_3 = \frac{\pi^2 D^2}{\delta \sqrt{\pi^2 D^2 + t^2}} n,$$

где  $\delta$  – величина этого зазора

в) для головки (приближенно)

$$j_2 = \frac{\sum_{i=1}^m j_{2i}}{m},$$

где  $j_{2i}$  – средняя скорость сдвига на  $i$ -том участке канала экструзионной головки

2. Оценить величину перепада давления в головке из соотношения

$$\Delta P = Q \sum_{i=1}^n \frac{\mu_{3i}}{K_i}$$

3. В координатах  $Q$ - $\Delta P$  представить графические характеристики червяка и головки, воспользовавшись при этом соотношениями

$$Q = \alpha \cdot n - \beta \frac{\Delta p}{\mu_{эф.к}} - \gamma \frac{\Delta p}{\mu_{эф.з}} \quad Q = K \frac{\Delta p}{\mu_{эф.2}}$$

где  $\Delta p$  – величина перепада давления в головке, принятая равной величине давления на выходе дозирующей зоны экструдера

Найти рабочую точку экструзии и ее координаты.

Построить характеристики червяка при изменениях: а) скорости вращения и б) геометрических параметров червяка (по заданию преподавателя). Найти соответствующие им рабочие точки экструзии и их координаты.

Анализ совокупности полученных данных и формулирование выводов по проделанной работе, включая вывод о применимости теоретических соотношений для описания процесса экструзии термопластов, возможных причинах наблюдающегося несоответствия величин  $Q_{теор}$  и  $Q_{эсп}$  и границах применимости соотношения для оценки производительности червячного экструдера.

### ***Требования безопасности при работе на экструдере***

1. Экструдер относится к оборудованию с повышенной опасностью для обслуживающего персонала. Возможно получение ожогов, механических травм, поражения электротоком при несоблюдении условий, обеспечивающих безопасную эксплуатацию оборудования.
2. В процессе экструзии перерабатываемые материалы подвергаются воздействию высокой температуры (до 250°C).
3. Включение и выключение экструдера, переключение режимов работы осуществляется лаборантом
4. Засыпать материал в зону загрузки осторожно небольшими порциями, равномерно, не допуская пыления.
5. Следить за чистотой машины. При чистке машины нужно отключить электрообогрев.
6. При работе на экструдере запрещается:
  - пользоваться открытым огнем.
  - измерять температуру местного цилиндра на ощупь.
  - прикасаться к движущимся частям машины.

### ***3. Варианты индивидуальных или групповых заданий:***

1. Изучить конструкцию и принцип действия лабораторного одночервячного экструдера.
2. Определить экспериментально производительность экструдера и степень разбухания струи расплава на выходе.
3. Оценить теоретически производительность  $Q$  экструдера, соответствующую условиям эксперимента, и анализ характеристик червяка и головки экструдера в координатах  $Q$ – $P$ .
4. Обработать результаты измерений и расчетов, проанализировать полученные данные, составить отчет.

### ***4. Содержание отчета по лабораторной работе.***

Отчет по лабораторной работе должен включать в себя:

- титульный лист;
- теоретическая часть;
- цель работы;

- оборудование, приборы и вспомогательные средства;
- расчетную (практическую) часть;
- выводы по лабораторной работе;
- список использованных источников.

Пример оформления лабораторной работы приведен далее.

### **5. Контрольные вопросы**

1. Какие зоны различают по длине цилиндра и червяка червячного экструдера? Каковы их функции?
2. Что понимают под изотермическим, адиабатическим и политропическим режимами работы червячного экструдера?
3. Каковы основные геометрические параметры червяка?
4. На каких допущениях основана теоретическая оценка производительности червячного экструдера?
5. Что означают понятия «характеристика червяка», «характеристика головки» и «рабочая точка экструзии»?
6. Какие факторы и каким образом влияют на положение рабочей точки экструзии и производительность экструдера?
7. На чем основан выбор основных технологических параметров процесса экструзии?
8. Какие факторы являются причиной разбухания струи расплава экструдата на выходе из головки экструдера?

### **6. Список рекомендуемой литературы**

1. Современные методы переработки полимерных материалов. Экструзия. Литье под давлением: учеб. Пособие / Ю.Т. Панов, Л.А. Чиждова, Е.В. Ермолаева; Владим. гос. ун-т имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. - Владимир: Изд-во ВЛГУ, 2013. - 128с.
2. Технология получения полимерных пленок из расплавов и методы исследования их свойств [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Н. Садова - Казань: Издательство КНИТУ, 2013.-
3. Принципы управления качеством полимерной продукции [Электронный ресурс] / Садова А.Н. - М. : КолосС, - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений) - 2009.

### **Лабораторная работа 3** **«Переработка пластмасс на валковых машинах»**

*Вальцевание* – подготовительная операция, при которой дополнительно смешиваются композиции и переходят в пластицированное состояние.

Каландрование предназначено для формования листа или пленки заданной ширины и толщины.

В вальцах материал через один и тот же зазор проходит многократно, в каландрах однократно. Конструкции вальцев и каландров в зависимости от назначения несколько различаются.

Сущность процесса вальцевания заключается в следующем. Слои материала, расположенные вблизи поверхности валков, перемещаются в зазор со скоростью  $V$ , близкой к скорости валков. При наличии «запаса» в центральной части получаются два завихрения, где отдельные слои материала двигаются по замкнутым траекториям. "Запас" непрерывно обновляется за счет поступления новой порции материала с переднего валка. Поверхностный слой "запаса" материала, переходя с одного валка на другой, создает видимость его вращения. Из валкового зазора выходит лента, толщина которой в *1,2-1,5* раза больше минимального зазора.

С увеличением фракции симметричная картина течения нарушается за счет увеличения одной зоны противотока, в зоне переработки слой материала вблизи поверхности рабочего валка увлекаются в зазор, формируя одну поверхность выходящего листа или пленки. Наружные слои ленты перемещаются по выпуклой поверхности «запаса» материала, переходят на второй валок и образуют вторую поверхность листа (рисунок). В центре запаса имеется противоток в виде двух завихрений. В области деформации существуют замкнутые траектории движения слоев материала. При отсутствии осевого перемещения и малой фрикции смещение ухудшается, поэтому при работе валков необходимо подогревать перерабатываемый материал.

При работе валков в зазоре возникает распорное усилие. При их большой величине возможна поломка вальцев. Их можно рассчитать. При этом в пусковой момент величина распорных усилий в 2-2,5 раза больше, чем в установившийся.

#### ***1. Цель работы:***

Изучить технологические процессы при переработке пластмасс на валковых машинах, рассчитать и выбрать параметры вальцевания, подучить навыки работы на валковых машинах, оценить качество полученного материала.

#### ***Оборудование и материалы:***

Работу выполняет на лабораторных вальцах. Вальцы обогревают электроспиральями, вставленными внутрь валков. Температуру контролируют термопарой с милливольтметром. Вальцы приводятся в движение с помощью электродвигателя, муфты и редуктора. Фрикция задается установкой соответствующих шестеренок. Вальцы относятся к классу оборудования с повышенной опасностью обслуживания. Поэтому они имеют сверху штангу аварийного останова валков.

Толщину пленки измеряют микрометром или индикатором часового типа. Допустимо измерять несколько слоев пленки с помощью штангенциркуля.

#### ***2. Методика выполнения работы:***

1. Получить задание с указанием рецептуры для вальцевания.

2. Определить геометрические характеристики вальцев, ознакомиться с их работой на холостом ходу.
3. Включить обогрев вальцев, приготовить композицию.
4. После разогрева вальцев и измерения температуры произвести вальцевание по выбранному режиму, устанавливая заданную толщину пленки.
5. Во время вальцевания, вальцуемую массу периодически подрезать ножом, установленным на вальцах и повернуть массу на 90°.

**Техника безопасности:**

При работе на вальцах и каландрах часто возникает опасность механической травмы и ожога. Поэтому к работе допускаются лица, знакомые с приемами безопасной работы, с инструкцией по работе на вальцах, с пультом управления.

Вальцуемую массу запрещается проталкивать или направлять в валки руками, стальными предметами. Запрещается держать на станине и ограждениях вальцов посторонние предметы. Температуру измерять при остановленных вальцах термомпарой. Нельзя пускать вальцы при сдвинутых валках, без предупреждения окружающих. Запрещается работать с незаправленными длинными волосами и не застегнутыми рукавам халата.

**Практическая часть**

**Расчет параметров процесса вальцевания**

Основные расчеты параметров процесса состоят в следующем. Производительность вальцев (кг/с) периодического действия находят по формуле:

$$G = 60 W \rho \alpha / t_u$$

$W$  – объем загружаемой смеси, равный  $(0,0065-0,0085)DL$ , ( $D$  и  $L$  – диаметр и длина валка, м),  $\rho$  – плотность смеси, равная  $900-1100 \text{ кг/м}^3$ ,  $t_u$  – время цикла,  $\alpha$  – коэффициент использования машинного времени  $(0,85-0,9)$ .

Удельное давление и распорное усилие между валками может быть рассчитано по формулам:

$$P = p \cdot L$$

$$p = 2,22 \frac{1+f}{\sigma} \cdot \frac{V_1 \cdot \eta \cdot R \cdot L}{h}$$

$f$  – фрикция;  $V_1$  — линейная скорость переднего валка, м/с;  $R$  — радиус валка, м;  $h$  — минимальный зазор между валками, м  $\eta$  – эффективная вязкость, Па • с.

Полезная мощность рассчитывается по формуле:

$$N = P V_1 \sqrt{h/R}$$

По полученной мощности делается вывод о выборе электродвигателя. Эффективную вязкость композиции либо определяется на приборе ИИРТ, либо находят информацию о ней в литературе.

Кроме того, студенты выбирают температуру процесса вальцевания исходя из свойств композиции и полимерв, а также ее определение с помощью термомпары.

### Рецептуры для вальцевания

Композиция	Состав, масс.ч.											
	поливинилхлор ид	Пластификатор (ДФФ, ДФФ, ДДФ)	Стеарат Са, Ва, Со, W	Масло трансформат ное вещество	TiO <sub>2</sub> ? пигмент	Известь	Тальк	Спирт	Силикат саица	Меламин	Стеариновая кислота	Эпоксидная смола
<b>Винипластовая пленка</b>	100	-	-	2	-	-	-	-	-	2	1	-
<b>Жесткая пленка полиграфическая и для упаковки</b>	100	3+2	3	-	2,5	-	-	-	-	-	0,5	2
<b>Пластикат прокладочный</b>	100	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Мягкая упаковочная пленка</b>	100	50	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Пленка светотехническая</b>	100	32,7	1	-	6	-	-	-	16	-	-	-
<b>Галантерейная пленка</b>	100	18,3	4	-	0,4	-	-	54	-	-	-	-
<b>Линолеум безосновный</b>	28,8	14	0,5	1	2	39,7	14	-	-	-	-	-
<b>Пленка медицинская</b>	100	40-45	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-

В качестве пигмента, удобно для изучения качества смешения и диспергирования, можно использовать сажу, графит, TiO<sub>2</sub> и другие красители.

#### 3. Варианты индивидуальных или групповых заданий:

Получить полимерную композицию смешением компонентов по одной из рецептур для вальцевания, предварительно выбрав параметры процесса. В качестве самостоятельной работы представить решение одной из задач по валковым машинам. Рассчитать процесс вальцевания.

#### 4. Содержание отчета по лабораторной работе.

Отчет по лабораторной работе должен включать в себя:

- титульный лист;
- теоретическая часть;
- цель работы;
- оборудование, приборы и вспомогательные средства;
- расчетную (практическую) часть;
- выводы по лабораторной работе;
- список использованных источников.

Пример оформления лабораторной работы приведен далее.

#### 5. Контрольные вопросы

1. Назначение вальцев и каландров?
2. Расскажите о различных схемах переработки композиций на вальцах и каландрах?
3. Почему на каландрах трудно получать тонкие пленки и толстые листа?
4. Как регулируется толщина пленки и листа?

5. Расскажите о регулировании температуры материала, о ее изменениях, в процессе переработки?
6. Что такое каландровый эффект. Способы его уменьшения?
7. Какие вещества входят в состав композиций для вальцевания и каландрования. Их назначение?
8. Физико-химические процессы при вальцевании и каландровании?
9. Основные виды брака при каландровании, их причины, способы устранения?
10. Что влияет на глубину затекания композиции при пропитки тканей, дублировании, ламинировании?
11. Каковы причины увеличения толщины листа, пленки по сравнению с зазором между валками?
12. как достигается смещение при вальцевании?
13. Как движется композиция в зазоре между валками?
14. Объясните устройство валковых машин?

#### **6. Список рекомендуемой литературы**

1. Современные методы переработки полимерных материалов. Экструзия. Литье под давлением: учеб. Пособие / Ю.Т. Панов, Л.А. Чижова, Е.В. Ермолаева; Владим. гос. ун-т имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. - Владимир: Изд-во ВЛГУ, 2013. - 128с.
2. Современные методы переработки полимерных материалов. Переработка реактопластов: учебное пособие / ю. Т. Панов, Л. А. Чижова, Е. В. Ермолаева; - Владимир: (ВлГУ),2014. - 143 с., табл.
3. Технология получения полимерных пленок из расплавов и методы исследования их свойств [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Н. Садова - Казань: Издательство КНИТУ, 2013.-

## Лабораторная работа 4

### «Получение изделий методом вакуумформования»

Характерный для полимерных термопластичных материалов переход из стеклообразного состояния в высокоэластичное при нагревании и обратный переход при охлаждении позволяют использовать для изготовления изделий метод вакуум и пневмоформования. Температурный интервал переработки пластмасс этим методом лежит обычно в области от +10 до -10 °С.

Число модификаций этого метода достаточно велико. При выполнении вакуум и пневмоформования необходимо знать температуру стеклования и текучести материала, температуру его деструкции, возможные физические и химические изменения в полимере.

Технологический процесс включает следующие возможные технологические операции: транспортировку исходного сырья, полуфабрикатов и готовых изделий, распаковку листов, разметку и разрезание листов, формование изделий, сверление, вырубку, зачистку, сборку изделий, протирку, упаковку, а также переработку отходов.

Важное место в технологическом процессе имеет нагревание заготовки. Используют спиральные, трубчатые и пластинчатые нагреватели с регулированием температур по зонам. Равномерность нагрева заготовок влияет на качество изделий. К параметрам, учитываемым при проведении процесса, относятся: температура нагревателя, температура листового материала, мощность нагревателя, интенсивность теплового потока, коэффициент теплопроводности, время нагревания заготовок, время охлаждения изделий после формования.

#### **1. Цель работы:**

Изучить параметры процесса вакуум- и пневмоформования, методы их расчета, получить изделие, дать характеристику его свойств.

#### **Оборудование и материалы:**

1. Установка для вакуумформования листовых материалов, состоящая, из водоструйного насоса, вакуумных шлангов, кранов, ресивера, вакуумметра, формы для изделия, нагревателя, листовых заготовок.
2. Инструмент для механической обработки листовых материалов и изделий из них (ножовка или ножницы, напильник, тиски).
3. Инструменты и приборы для измерений (термопара и милливольтметр или ртутный термометр, линейка, штангенциркуль или микрометр, прибор для измерения времени - часы, секундомер).

Для вакуумформования используют листовые заготовки толщиной не более 5 мм из оргстекла, винипласта, пластифицированного поливинилхлорида, сополимеров полистирола.

#### **2. Методика выполнения работы:**

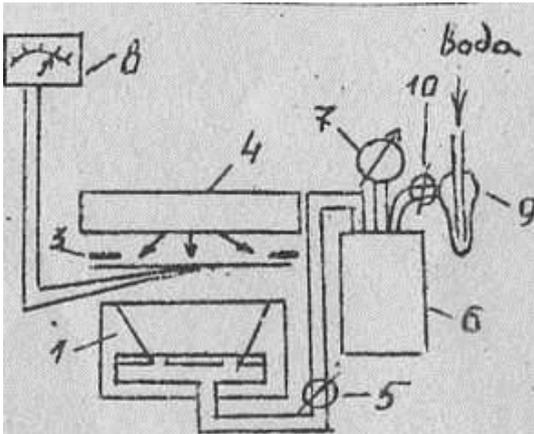
Для работы подготавливается установка, показанная на рисунке.

Из полимерного материала, указанного преподавателем (полистирол, винипласт, пластифицированный поливинилхлорид, полиметилметакрилат, полиэтилентерефталат аморфный), ножницами или ножовкой вырезать заготовку для вакуумформования. Нагревать ее на форме тепловым излучением электронагревательной плиты 3 или инфракрасного излучателя (лампы), либо теплоносителем (воздухом, водой, маслом) в термощкафу. В последнем случае время на транспортировку и закрепление заготовки в форме должно быть минимальным и не превышать 1 минуты. Предварительно в ресивере

6 создается заданный вакуум с помощью водоструйного насоса и кранов 5, 10. Если температура на стороне заготовки, противоположной от нагревателя, достигла, расчетной, то заготовка 2 плотно прижимается планкой 3 к форме 1. Затем, открывается кран 5, в форме создается вакуум, нагреватель отводится от формы, полученное изделие охлаждается в форме, после чего извлекается, охлаждается в форме, после чего извлекается и контролируется и проводится вырубка и зачистка краев изделия.

Если необходима механическая вытяжка, то из дерева или другого материала готовят пуансон, нагревают его до рекомендуемой температуры в термошкафу и используют в работе в сочетании с грузами 1,2,3,5 кг

Схема установки для вакуумформования:



1-форма, 2- полимерный материал, 3- прижимная планка, 4- нагреватель, 5, 10 –краны, 6- ресивер, 7- вакуумметр, 8- измеритель температуры, 9- водоструйный насос.

### **Практическая часть:**

#### **Теоретический расчет нагрева заготовок.**

#### **Интенсивность теплового потока от нагревателей к материалу**

$$g = A \cdot F (T_n^4 - T_m^4),$$

где  $A$  – постоянная, равная  $3,65 \cdot 10^{-8}$  Вт/см<sup>2</sup>\*с\*К,

$F_{\Sigma}$  – коэффициент лучеиспускания, зависящий от степени черноты  $\Sigma$  нагревателя (0,9) и полимера (0,8),

$T_n$  и  $T_m$  – температура поверхности нагревателя и полимерного материала.

$$F_{\Sigma} = \frac{\varepsilon_1 \varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2}$$

#### **Время нагрева заготовки рассчитывается по формуле:**

$$t_{3n} = \frac{c \cdot \rho (T_2 - T_1) h^2}{1.15 \cdot 10^3 \lambda \Delta T},$$

где  $c$  – удельная теплоемкость, Дж/(кг\*К),

$\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>

$T_2$  – температура размягчения, формования, °С

$T_1$  – начальная температура листа, °С

$h$  – толщина листа, м

$\lambda$  – теплопроводность материала, Вт/(м\*К)

$\Delta T$  – разность температур на противоположных поверхностях листа, °С

#### **Время охлаждения изделия рассчитывается по формуле:**

$$t_{охл} = \frac{0,1 h^2}{\alpha} \left[ \ln 1,27 - \ln \frac{T_y - T_p}{T_m - T_{\phi}} \right],$$

где  $h$  – толщина листа, м

$a$  – коэффициент температуропроводности,

$T_i$ ,  $T_m$ ,  $T_f$  – температуры изделия после охлаждения листового разогретого материала и формы

### ***Техника безопасности:***

При выполнении работы по вакуумформованию изделий из полимерных материалов применяются нагреватели с открытой поверхностью и разогретые полимерные материалы. Они представляют опасность из-за возможности получения ожогов необходимо пользоваться перчатками и соблюдать осторожность. Не разрешается отходить от включенной установки.

При обрезке и зачистки заготовок и изделий принимать меры предосторожности от попадания опилок, стружки полимера в глаза. Работать в защитных очках. Соблюдать правила электробезопасности при пользовании нагревателями. Резерв от стекла должен, защищен оболочкой, предохраняющий от разлета осколков при разрушении.

### ***3. Варианты индивидуальных или групповых заданий:***

1. Провести теоретические расчеты нагрева заготовок. Интенсивность теплового потока рассчитать по формуле (1), время нагрева заготовки и охлаждения изделия по формулам (2) и (3).

2. Используя термометр и мультиметр, определить температуру поверхности материала в течение времени нагрева заготовки (4-8) раз. Затем определить температуру поверхности нагревателя. Рассчитать их по формуле (1).

3. Определить изменение температуры противоположной от нагревателя стороны заготовки (4-8 раз) за время нагревания.

4. Изготовить изделие методом вакуумформования, определить степень вытяжки материала по глубине изделия (в 4-8 точках). Обрезать изделие и определить коэффициент использования материала.

5. Изготовить изделие методом вакуумформования с предварительной механической вытяжки и определить степень вытяжки. Сравнить разнотолщинность изделий, полученных с предварительной вытяжкой а без нее. Усилие для механической вытяжки определить по величине вакуума и площади формируемой части изделия (5).

В отчете привести цель работы (задание), исходные свойства и расчетные параметры, кривые температура-время для обогреваемой и противоположной поверхности листа, результаты определения толщины ИЗДЕЛИЯ по его высоте и расчетные величина коэффициента использования материала. Обсудить результаты, сделать выводы, указать литературу, использованную при подготовке работы и ее проведении.

### ***4. Содержание отчета по лабораторной работе.***

Отчет по лабораторной работе должен включать в себя:

- титульный лист;
- теоретическая часть;
- цель работы;
- оборудование, приборы и вспомогательные средства;
- расчетную (практическую) часть;
- выводы по лабораторной работе;
- список использованных источников.

Пример оформления лабораторной работы приведен далее.

### **5. Контрольные вопросы**

1. Назовите варианты технологических процессов термоформования, в которых используются механо-, пневмо- и вакуумформование.
2. С какой целью используют комбинации методов термоформования? Назовите их достоинства и недостатки?
3. Перечислите технологические операции при изготовлении изделий методом термоформования из листовых материалов, в том числе вспомогательные?
4. Какие технологические параметры термоформования вы знаете? Как они определяются?
5. Какие исходные характеристики листовых материалов необходимо знать инженеру – технологу?
6. Какими приемами можно уменьшить неравномерность нагрева листового материала?
7. Как уменьшить разнотолщинность в изделиях, полученных термоформованием?
8. Какие полимерные материалы перерабатываются термоформованием?  
Напишите формулы полимеров и пластификаторов, входящих в их состав?
9. Чем определяется продолжительность формования изделий?
10. Назовите методы определения остаточных напряжений в изделиях?

### **6. Список рекомендуемой литературы**

1. Современные методы переработки полимерных материалов. Экструзия. Литье под давлением: учеб. Пособие / Ю.Т. Панов, Л.А. Чижова, Е.В. Ермолаева; Владим. гос. ун-т имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. - Владимир: Изд-во ВЛГУ, 2013. - 128с.
2. Современные методы переработки полимерных материалов. Переработка реактопластов: учебное пособие / ю. Т. Панов, Л. А. Чижова, Е. В. Ермолаева; - Владимир: (ВлГУ), 2014. - 143 с., табл.
3. Технология получения полимерных пленок из расплавов и методы исследования их свойств [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.Н. Садова - Казань: Издательство КНИТУ, 2013.-

## Лабораторная работа 5

### Изготовление изделий методом прессования.

Прессование реактопластов - это формование изделий под давлением из пресс-материалов, нагретых до вязкотекучего состояния, непосредственно в полости формирующего инструмента - между матрицей и пуансоном. Пресс – материалы могут быть порошкообразными, волокнистыми, слоистыми. Прессование осуществляется двумя основными способами: прямым и литьевым (трансферным).

В процессе переработки материалов прессованием проходят различные физико-химические превращения: пластическая реформация с одновременным воздействием тепла и давления, химические превращения функциональных групп, сшивание макромолекул, удаление летучих компонентов, ориентация, появление напряжений, усадочные явления, вызванные различными причинами, формирование надмолекулярной структуры.

#### **Цель работы:**

Приобретение навыков расчётов и исследования процесса прессования, определение технологических параметров и оценка свойств полученных изделий.

#### **Оборудование и материалы:**

Гидропресс с номинальным усилием 630 кН имеет пульт управления, позволяющий выбирать режим работы, включать и отключать обогрев пресс-формы. Имеются кнопки управления подвижной плитой пресса при ручном управлении и в автоматическом режиме. Параметры процесса контролируются милливольтметром, показывающим температуру и регулирующим обогрев пресс-формы. Манометр показывает давление в гидросистеме (наружная шкала) и создаваемое прессом усилие (внутренняя шкала). Рукояткой давления регулирует создаваемое прессом усилие. При повороте рукоятки по часовой стрелке давление в гидросистеме и усилие пресса возрастают.

Пресс имеет кнопки управления ходом верхней плиты вверх и "вниз", а также кнопку "стоп". Пресс через магнитный пускатель включает только лаборант или преподаватель

**Материалы для прессования:** композиции на основе различных РСО.

#### **2. Методика выполнения работы:**

Основные технологические операции процесса: подготовка сырья, его дозирование, взвешивание, предварительный подогрев, прессование, механическая обработка изделий.

После приподнимали пуансон в форме и засыпали, в зависимости от заданной толщины образца, необходимое количество материала. Далее сам процесс прессования. Параметры процесса прессования, применяемые в производстве: давление прессования 25 – 45 МПа, выдержка на 1 мм толщины без подогрева 1 – 2,5 мин, с подогревом – от 0,3 до 2 мин.

Для расчета процесса прессования, определяют необходимое усилие пресса, давление прессования, число гнезд в пресс-форме, размеры изделия или формы, усадку, плотность, степень отверждения.

#### **Практическая часть:**

##### **1. Рассчитаем усилие прессования:**

$$Y = P \cdot F_u \cdot n$$

Где P – давление прессования, МПа;

$F_u$  – площадь изделия в плоскости разъема, м;

$n$  – число гнезд в пресс-форме.

После расчета усилия прессования необходимо найти манометрическое давление  $P_m$  в гидросистеме пресса:

$$P_m = P_r Y / N,$$

где  $P_r$  – максимальное давление в гидросистеме пресса МПа;

$N$  – номинальное усилие пресса кН;

$Y$  – усилие прессования, кН.

**Навеску материала рассчитывают по формуле:**

$$g = \rho V \left( 1 + \frac{K}{100} \right),$$

где  $\rho$  – плотность отпрессованного материала;

$V$  – объем формуемой детали, м<sup>3</sup>;

$K$  – коэффициент, учитывающий потери материала ( $K = 2-10\%$ );

$g$  – навеска материала, кг.

**2. Время пребывания материала в вязкотекучем состоянии находят по уравнению**

$$t_{BT} = A \cdot e^{\frac{U}{RT}},$$

где  $A$  и  $U$  – константы, имеющиеся в литературе [4, с.263];

$T$  – температура, °С;

$R$  – газовая постоянная, Дж/м<sup>3</sup>\*К

Величина  $t_{BT}$  должна быть больше продолжительности опускания  $t_{BT}$  плиты пресса при холостом и рабочем ходе и времени загрузки пресс-материала. Проверить выполняется ли соотношение  $t_{BT} > t_{BP} + t_3$ , можно, определив экспериментально длительность этих рабочих операций.

**Температура подогрева  $T_H$  рассчитывается по соотношению:**

$$T_H = U / R [ \ln(t_{BP} + t_3) - \ln A ]$$

Рассчитанное значение не должно быть выше максимально рекомендуемых температур подогрева.

Время отверждения изделия в форме  $t_{отв}$  состоит из времени нагревания  $t_H$  и времени реакции конденсации  $t_{рк}$ .

Для расчета времени нагревания используют монограмму, по которой находят значение критерия Фурье [3, с.266] и уравнение:

$$t_H = \delta^2 \cdot \frac{F_0}{4\alpha}$$

где  $t_H$  – время нагревания, с;

$\delta$  – максимальная толщина изделия, м;

$\alpha$  – температуропроводность;

$F_0$  – критерий Фурье.

Для расчета критерия Фурье используем коэффициент:  $Q = \frac{t_\phi - t_M}{t_\phi - t_3}$ ,

где  $t_\phi$  – температура формы, °С;  $t_M$  – температура материала, °С;

**Время реакции конденсации можно найти по уравнению:**

$$t_{рк} = B e^{-\beta T_{отв}}$$

**3. Время отверждения находят по уравнению:**

$$t_{\text{отв}} = t_{\text{н}} + (t_{\text{вп}} - t_{\text{нп}}) e^{\beta(T_{\text{п}} - T_{\text{ф}})}$$

где  $t_{\text{нп}}$  – время нагревания в пластометре Канавца (соответственно 19 и 10 с для фенопластов и аминопластов), с;

$t_{\text{вп}}$  и  $T_{\text{п}}$  – время и температура отверждения в пластометре, с;

$T_{\text{ф}}$  – температура формы °С;

$\beta$  – коэффициент. Величины  $\beta$ ,  $T_{\text{п}}$ ,  $t_{\text{нп}}$ ,  $t_{\text{вп}}$  находят в литературе [3, с.264 и 4, с.63]

#### **Температура отверждения изделия**

$$T_{\text{отн}} = T_{\text{ф}} + Q/2C_{\text{р}},$$

где  $Q$  – теплота реакции поликонденсации, обычно равная — 40 кДж/кг,

$C_{\text{р}}$  – теплоемкость материала, равная 1,2 - 1,7 кДж/(кг·К).

Температуру пресс-формы находят из справочных данных, исходя из марки пресс – материала.

Для термопластов необходимо рассчитывать время нагревания без отверждения, а время охлаждения определяется экспериментально до температуры ниже  $T_{\text{с}}$ .

#### **Техника безопасности:**

Перед выполнением работы на таблетмашине, генераторе ТВЧ, гидравлическом прессе студент обязан ознакомиться с правилами безопасной работы на этих видах оборудования и пройти инструктаж по ТБ. При этом студент обязан знать опасные места на оборудовании и способы аварийного останова, местоположение систем отключения.

Работа проводится при наличии разрешения и под наблюдением преподавателя или лаборанта.

Перед началом работы необходимо убедиться в исправности оборудования, наличии и исправности заземления, заградительных щитов, блокировок, электропроводки.

Запрещается работать на неисправном оборудовании, с неисправной блокировкой, при открытых заградительных щитах, проводить загрузку материала и изделий при движении плиты пресса. Необходимо иметь рукавицы для защиты рук от ожога о пресс-форму и использовать их при проведении технологических операций.

#### **3. Варианты индивидуальных или групповых заданий:**

1. Рассчитать параметры формования изделия в пресс-форме. Отформовать изделие и определить его свойства – твердость, прочность, усадку и плотность;

2. Рассчитать производительность пресса при формовании изделий из реактопластов.

#### **4. Содержание отчета по лабораторной работе.**

Отчет по лабораторной работе должен включать в себя:

- титульный лист;
- теоретическая часть;
- цель работы;
- оборудование, приборы и вспомогательные средства;
- расчетную (практическую) часть;
- выводы по лабораторной работе;
- список использованных источников.

Пример оформления лабораторной работы приведен далее.

### **5. Контрольные вопросы**

1. Напишите химические реакции, протекающие при прессовании различных реактопластов. Какие типы химических связей возникают при отверждении фенопластов, аминопластов?
2. Назовите температурные диапазоны переработки пресс-материалов из аминопластов, фенопластов. Когда используют высокие и когда низкие температуры переработки?
3. Как рассчитать давление прессования? Как регулируется давление прессования на прессе?
4. Каков диапазон времени отверждения различных реактопластов? Как выбрать время выдержки под давлением?
5. Как зависит усадка пресс-изделий от свойств пресс-материала и технологических параметров?
6. Назовите параметры процесса таблетирования. Как они выбираются, рассчитываются?
7. Назовите параметры процесса предварительного подогрева пресс-материала. Как их определить?
8. Как регулируется продолжительность и температура прессования?
9. Рассчитайте цикл прессования изделий?
10. Какие опасности могут иметь место при прессовании? Назовите основные правила техники безопасности при прессовании?
11. Назовите основные узлы пресса и объясните их устройство?

### **6. Список рекомендуемой литературы**

1. Современные методы переработки полимерных материалов. Переработка реактопластов: учебное пособие / ю. Т. Панов, Л. А. Чижова, Е. В. Ермолаева; - Владимир: (ВлГУ), 2014. - 143 с., табл.
2. *Крыжановский, В.К. и др.* Производство изделий из полимерных материалов.- СПб.: Профессия, 2004.-464с.
3. *Бортников, В.Г.* Основы технологии переработки пластмасс, Л., Химия, 1983.
4. Брагинский В.А. Прессование. Л.: Химия, 1979г.

## Лабораторная работа 6

### «Изготовление изделий из армированных пластиков методом намотки»

Под армированными пластиками понимают введение в пластмасс усиливающего наполнителя, имеющего протяженную структуру (волокна, нити, ткани, листы и т.п.). армирование пластмасс позволяет значительно улучшить их механические свойства и во многих случаях снизить их стоимость. Так, прочность при растяжении стеклопластиков может достигать величина порядка 3000Мпа, что примерно в 50 раз выше прочности обычных пластмасс.

В качестве армирующих наполнителей применяют стекловолокнистые материалы, ткани различной природы, асбоволокнистые материалы, листы бумаги. Полученные на основе этих наполнителей армированные пластики носят название стеклопластиков, текстолитов, асбопластиков, древеснослоистых пластиков и гетенакса, соответственно.

В качестве связующих используют, как правило, термореактивные полимеры: фенолформальдегидные, мочевиноформальдегидные, меламиноформальдегидные, полиэфирные, эпоксидные, кремнийорганические смолы. Применение их обеспечивает, во-первых, технологичность процесса получения изделий из армированных пластиков (удобство пропитки наполнителя связующим в виде исходной не отвержденной смолы, невысокие температуры отверждения смол); во-вторых, применение в качестве связующих термореактивных смол обеспечивает высокие механические показатели армированных пластмасс на их основе – главным образом высокие значения модуля упругости и прочности при растяжении в широком диапазоне температур.

В настоящее время армированные пластики находят широкое применение в качестве конструкционных, декоративных, электроизоляционных, коррозионно-стойких материалов.

Можно выделить две большие группы армированных пластиков, находящихся в настоящее время наибольшее применение: слоистые пластики и стеклонаполненные. Первые в качестве армирующего наполнителя содержат листовые волокнистые материалы (бумагу, ткань, и т.п.), вторые – различные виды стекловолокнистых материалов (стекловолокно, стеклоткань и т.п.).

Технологический процесс производства изделий из армированных пластиков включает нанесение связующего на армирующий наполнитель с последующей сушкой («сухой» метод) или без нее («мокрый» метод), формование изделия и отверждение связующего.

Метод намотки – один из весьма распространенных и перспективных методов формования изделий из пластмасс, армированных наполнителем, имеющим непрерывную протяженную структуру (бумага, ткань, лента, нити).

Специфические особенности метода намотки позволяют применять этот метод в основном для получения изделий оболочного типа, имеющих форму тел вращения (трубки, оболочки в форме шара, эллипсоида).

**1. Цель работы:** приобретение практических навыков получения изделий из армированных пластиков.

#### **Оборудование и материалы:**

Для выполнения работы необходимы:

Лабораторная установка для получения изделий методом намотка.

1. Раствор связующего. 2. Стеклолента без пропитки. 3. Стеклолента, пропитанная связующим и высушенная. 4. Парафин. 5. Ножницы. 6. Термошкаф.

## **2. Методика выполнения работы:**

В процессе работы необходимо:

1. Получать у лаборанта оборудование и материалы.  
2. Включить термостат и установить в нем необходимую температуру. Температура термошкафа, в котором будет проходить отверждение связующего намотанного изделия, зависит от типа применяемого связующего, а назначается исходя из необходимости его отверждения в течение 30 мин.

3. Намотать кольцо «мокрым» способом, для чего:

- тщательно очистить оправку и равномерно покрыть ее наружную поверхность тонким слоем расплавленного парафина;

- установить на намоточный станок катушку с наполнителем, заправить ленту наполнителя в систему направляющих роликов в соответствии со схемой. Колец ленты закрепить на разъемной оправке, поместив ее на глубину около 1 см в зазор, между двумя половинками, после чего установить оправку на выходной вал редуктора и закрепить скобой;

- залить раствор связующего в ванну намоточного устройства;

- включить привод вращения оправки (посредством включения выпрямителя, на выходе которого должно быть 15В) и намотать кольцо толщиной в 8-10 слоев, оценив при этом скорость вращения оправки;

- по окончании намотки выключить привод оправки, отрезать наматываемый материал вблизи оправки и закрепить конец материала на оправке, прижав его к поверхности налетанного кольца металлическим предметом, разогретым до температуры 150-200°C (паяльником, концом отвертки, разогретым в пламени спиртовки и т.п.);

- снять оправку с намоточного устройства и поместить ее в термошкаф, разогретый до температуры 140-160°C; по истечении 30 мин. оправку извлечь из термошкафа, охладить и снять намотанное кольцо с оправки.

4. Подготовить установку к намотке кольца «сухим» способом, для чего отвинтить винты, которыми крепится ванна со связующая к корпусу установки, снять ванну, слить из нее раствор связующего, тщательно очистить ванну и направляющие валки от связующего.

5. Намотать кольцо «сухим» способом, для чего:

- установить на намоточное устройство катушку со стеклолентой, предварительно пропитанной раствором связующего и высушенной;

- выполнить все операции аналогично п.3, за исключением того, что в ванну в данном случае не заливается раствор связующего.

6. По окончании работы отключить все устройства от электрической сети, привести в порядок рабочее место, представить преподавателю результаты выполненной работы, сдать лаборанту оборудование.

**Схема лабораторной установки для получения изделий из армированных пластиков методом намотки приведена на рисунке 1.**

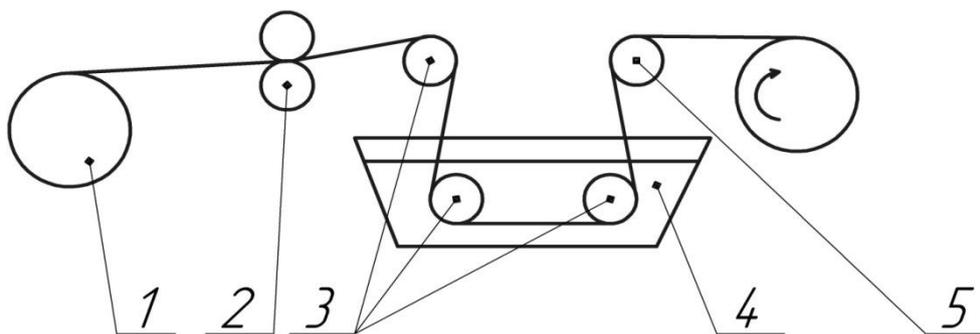


Схема лабораторной установки для получения изделий из армированных пластиков методом намотки:

1. катушка с наполнителем; 2- натяжные ролики; 3 - направляющие ролики; 4 - ванна со связующим; 5 - отжимной ролик; 6 - оправка

Исходный наполнитель (стеклолента, бумага) поступает с расходной катушки I через натяжные ролики 2 и направляющие ролики 3 в ванну со связующим 4, где пропитывается наполнитель связующим, а затем через отжимной ролик 5 на оправку 6, на которую наматываются изделия (кольцо). Оправка проводится во вращение электроприводом, включающим электродвигатель и редуктор. Электродвигатель питается током напряжения 10 – 20В от регулируемого выпрямителя. Изменяя напряжение на выходе выпрямителя в указанных пределах (но не более 24В), можно изменять скорость вращения оправки.

***Практическая часть:***

1. Дать характеристику используемых материалов.

Описать технологию процесса намотки. Результаты выполненной работы и их анализ (указать условия процесса: скорость вращения оправки (об/мин), температуру и длительность отверждения связующего).

2. Привести результаты сравнительного анализа качества изделий (колец), полученных методами «мокрой» и «сухой» намотки, рассмотреть возможные причины имеющихся дефектов, сделать обоснованный вывод о целесообразности применения указанных методов намотки для получения данного изделия.

***Техника безопасности:***

1. Выпрямитель и термошкаф, используемые в работе, должны иметь защитное заземление.

2. Раствор связующего включает в свой состав органический растворитель, являющийся, легко воспламеняющейся жидкостью, во избежание его воспламенения не допускается располагать рядом с установкой источники огня (нагретую плитку, горящую горелку, спиртовку и т.п.).

***3. Варианты индивидуальных или групповых заданий:***

Ознакомиться с основными закономерностями процесса получения изделий из армированных пластиков методом намотки, а также особенностями конструкции соответствующего оборудования.

1. Получить изделие (кольцо) из стеклопластика методом периодической "мокрой" намотки.
2. Получить изделие "кольцо" из стеклопластика методом периодической "сухой" намотки.
3. Выполнить сравнительный анализ качества изделий, полученных методами "мокрой" и "сухой" намотки.

#### **4. Содержание отчета по лабораторной работе.**

Отчет по лабораторной работе должен включать в себя:

- титульный лист;
- теоретическая часть;
- цель работы;
- оборудование, приборы и вспомогательные средства;
- расчетную (практическую) часть;
- выводы по лабораторной работе;
- список использованных источников.

Пример оформления лабораторной работы приведен далее.

#### **5. Контрольные вопросы**

1. Какие типы полимерных материалов называют армированными пластиками?
2. Каковы особенности свойств армированных пластиков?
3. какие вещества используют в качестве армирующих наполнителей и связующих при получении армированных пластмасс? Каковы основные требования к ним?
4. В чем состоит сущность получения изделий из армированных пластмасс методом намотки?
5. Каковы особенности, основные стадии, преимущества и недостатки процессов получения изделий из армированных пластиков «мокрым» и «сухим» способами намотки?
6. Какие изделия наиболее целесообразно получать методом намотки?
7. Каковы цель и способы создания контактного давления при намотке?

#### **6. Список рекомендуемой литературы**

1. Современные методы переработки полимерных материалов. Переработка реактопластов: учебное пособие / ю. Т. Панов, Л. А. Чиждова, Е. В. Ермолаева; - Владимир: (ВлГУ),2014. - 143 с., табл.
2. Крыжановский, В.К. и др. Производство изделий из полимерных материалов.- СПб.: Профессия,2004.-464с.
3. Бортников, В.Г. Основы технологии переработки пластмасс, Л., Химия, 1983.
4. Брагинский В.А. Прессование. Л.: Химия, 1979г.

## Лабораторная работа 7

### «Определение текучести пресс-материала»

**Цель работы:** Приобрести практические навыки определения текучести пресс-материалов по методу Рашига.

#### **Оборудование и материалы:**

Пресс гидравлический, пресс-форма Рашига, исследуемые материалы, штангенциркуль, секундомер, весы.

#### **2. Методика выполнения работы:**

1. Получить у лаборанта необходимые оборудование и материалы.
2. Пользуясь лабораторными весами (точность 0,1 г), приготовить навески исследуемых пресс-материалов массой 7,5 г.
3. Не включая обогрева формы, отпрессовать в загрузочной камере пресс-формы Рашига (при закрытом металлическим диском канале формы) таблетки исследуемых пресс-материалов при условиях: температура  $(20 + 5)^\circ\text{C}$ , давление прессования 50 МПа. При этом величину давления рабочей жидкости в главном плунжере пресса, необходимую для обеспечения заданного давления, оценить из соотношения:

$$P_m = \frac{P_{пр} S_{з.к}}{S_{пл}} = \frac{P_{пр} d_{з.к}^2}{d_{пл}^2} \quad (1)$$

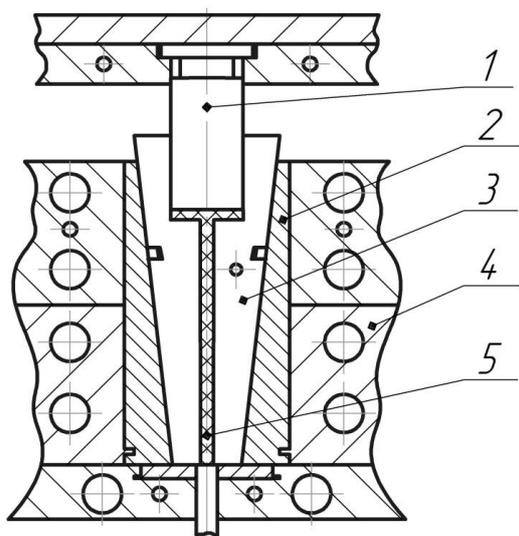
где  $P_m$ - давление рабочей жидкости в главном плунжере пресса, необходимое для обеспечения величины давления прессования  $P_{пр}$  и показываемое манометром пресса;  $S_{з.к}$  - площадь горизонтальной проекции загрузочной камеры пресс-формы;  $S_{пл}$  - площадь сечения главного плунжера пресса; ( $d_{з.к}$ - диаметр загрузочной камеры формы;  $d_{пл}$  - диаметр главного плунжера. Необходимая величина  $P_m$  устанавливается специальным регулировочным клапаном, расположенным в узле гидропривода пресса.

4. Включить обогрев формы Рашига. По достижении необходимой температуры (контролируется по показаниям прибора, установленного на панели управления пресса) поместить одну из навесок в форму, произвести смыкание формы и формование изделия при давлении прессования  $P_{пр} = (30 \pm 2,5)$  МПа и времени выдержки 3 минуты. Величину  $P_m$ , необходимую для обеспечения  $P_{пр}$ , оценить из соотношения (1) и установить регулировочным клапаном. Время с момента загрузки материала в форму и до достижения требуемой величины давления не должно превышать 20 с. Для измерения времени использовать секундомер.

5. По окончании процесса прессования разомкнуть форму, извлечь из формы и разобрать разъемную матрицу, охладить изделие. Пользуясь штангенциркулем, измерить длину отпрессованного стержня (рис.2). Указанные операции выполнить для каждого из исследуемых материалов; каждый из материалов подвергается испытанию трижды, за результат испытания принимается среднее арифметическое результатов трех испытаний.

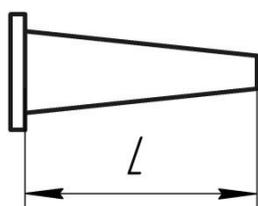
6. В соответствии со специальными указаниями преподавателя аналогичным образом определить текучесть пресс-материала, подвергнутого специальной предварительной обработке (увлажнению, предварительному нагреву определенной длительности при различных температурах или при постоянной температуре в течение различного времени) или текучесть материала в зависимости от температуры (120, 160, 180°C) Вводить в материал определенное количество воды следует до операции таблетирования, предварительному нагреву следует подвергать таблетированный материал (нагревать в термошкафу).

Пресс-форма Рашга состоит из обогреваемой обоймы 4, в которой расположен стакан 2 и две полуматрицы 3 (рис. 1). Матрица имеет сужающийся сверху вниз канал эллиптического сечения 5, сообщающийся с атмосферой.



При испытании используют навеску пресс-материала массой 7,5 г предварительно спрессованной в виде таблетки диаметром 28 мм при удельном давлении 500 МПа и температуре  $(20 + 5)^\circ\text{C}$ . Допускается определение текучести на нетаблетированном материале. Навеску помещают в загрузочную камеру пресс-формы, нагретую предварительно до  $(143 \pm 2)^\circ\text{C}$  для аминопластов и всех марок фенопластов. Затем проводят смыкание формы и формируют изделие при давлении прессования  $(30 + 2,5)\text{МПа}$  и времени выдержки 3 минуты. Время с момента загрузки материала в

матрицу и до достижения требуемого давления не должно превышать 20с. После выдержки форму размыкают, извлекают матрицу из формы, разбирают ее и извлекают изделие. Длина стержневидной части (стрелы) отпрессованного и охлажденного изделия  $l$  является мерой текучести исследуемого материала (рис.2).



За результат испытания принимают среднеарифметическое значение из результатов двух определений. Пресс-материалы считают пригодными к переработке, если их текучесть, определенная по методу Рашига,

лежит в следующих пределах: для фенопластов. – 35-180мм, аминопластов - 50-160 мм, волокнитов – 20-120мм.

### **Практическая часть:**

Величину давления рабочей жидкости в главном плунжере пресса, необходимую для обеспечения заданного давления рассчитываем по формуле:

$$P_M = \frac{P_{пп} S_{з.к}}{S_{пл}} = \frac{P_{пп} d_{з.к}^2}{d_{пл}^2},$$

Выводы по работе должны содержать заключение о степени технологичности испытываемого материала. В случае изучения зависимости величины текучести пресс-материала от различных факторов (содержания влаги, температуры или длительности предварительного подогрева) представить в отчете графики соответствующих зависимостей, проанализировать наблюдаемые закономерности поведения пресс-материала.

### **3. Варианты индивидуальных или групповых заданий:**

Изучить теоретические основы данной работы, ознакомиться с методами определения текучести пресс-материалов по методу Рашига и конструкцией соответствующего оборудования.

### **4. Содержание отчета по лабораторной работе.**

Отчет по лабораторной работе должен включать в себя:

- титульный лист;
- теоретическая часть;

- цель работы;
- оборудование, приборы и вспомогательные средства;
- расчетную (практическую) часть;
- выводы по лабораторной работе;
- список использованных источников.

Пример оформления лабораторной работы приведен далее.

### **5. Контрольные вопросы**

1. Напишите химические реакции, протекающие при прессовании различных реактопластов. Какие типы химических связей возникают при отверждении фенопластов, аминопластов?
2. Назовите температурные диапазоны переработки пресс-материалов из аминопластов, фенопластов. Когда используют высокие и когда низкие температуры переработки?
3. Как рассчитать давление прессования? Как регулируется давление прессования на прессе?
4. Каков диапазон времени отверждения различных реактопластов? Как выбрать время выдержки под давлением?
5. Как зависит усадка пресс-изделий от свойств пресс-материала и технологических параметров?
6. Назовите параметры процесса таблетирования. Как они выбираются, рассчитываются?
7. Назовите параметры процесса предварительного подогрева пресс-материала. Как их определить?
8. Как регулируется продолжительность и температура прессования?
9. Рассчитайте цикл прессования изделий?
10. Какие опасности могут иметь место при прессовании? Назовите основные правила техники безопасности при прессовании?
11. Назовите основные узлы пресса и объясните их устройство?

### **6. Список рекомендуемой литературы**

1. Современные методы переработки полимерных материалов. Переработка реактопластов: учебное пособие / ю. Т. Панов, Л. А. Чиждова, Е. В. Ермолаева; - Владимир: (ВлГУ), 2014. - 143 с., табл.
2. Крыжановский, В.К. и др. Производство изделий из полимерных материалов.- СПб.: Профессия, 2004.-464с.
3. Бортников, В.Г. Основы технологии переработки пластмасс, Л., Химия, 1983.
4. Брагинский В.А. Прессование. Л.: Химия, 1979г.

## Лабораторная работа 8

### «Изготовление изделий методом контактного формования»

#### *Наполнители и связующие:*

Среди современных материалов специальное место занимают композиционные пластмассы, к которым относятся и стеклопластики. Они успешно конкурируют со сталью и металлическими сплавами по прочности, а в ряде случаев являются незаменимыми, например, при изготовлении радиопрозрачных антенн-отражателей.

Исходными материалами для стеклопластиков служат различные связующие и наполнители, а также некоторые модифицирующие добавки. В качестве связующих используют полиэфирные, эпоксидные, фенолоформальдегидные и кремнийорганические смолы. В качестве наполнителей наибольшее применение получило стекловолокно, а также асбестовые и хлопковые волокна. Менее известно применение углеродных, кремнеземных и других термостойких волокон на основе бора, титана, меди, карбидов металлов. Известно сочетание стеклопластиков с пенопластами.

Ненасыщенные полиэфирные получают при взаимодействии двухосновных органических кислот и двухатомных спиртов. Получаемые молекулы олигомера обычно содержат двойные ненасыщенные связи и могут реагировать с мономерами, например, со стиролом. При этом смола отверждается. До отверждения смола в смеси с мономером является низковязкой жидкостью, позволяющей хорошо пропитывать наполнитель. Наиболее известны полиэфирные связующие смолы ПН-1, ПН-63, ПН-10, ПМ-6, ПНМ-3 и др. Для отверждения смол используют гидроперекись изопропилбензола, перекись бензоила и ускорители отверждения: нафтенат кобальта, (ускоритель НК), диметиланилин.

Полиэфирные стеклопластики могут быть разнообразными: холодного и горячего отверждения, светопропускающие стеклопластики, химически стойкие, с пониженной горючестью, адгезия связующих к стеклу 9-14 Мпа.

Связующие на основе эпоксидных смол более дорогие и применяются реже, хотя адгезия к наполнителям у них выше. Эпоксидиановые смолы обычно отверждают полиэтиленполиамином, иногда комплексами  $\text{BF}_3$ -амин. Наиболее известны эпоксидные связующие ЭД-16, ЭД-20, ЭД-22 (цифра указывает содержание эпоксигрупп в %).

Связующие на основе фенолоформальдегидных, аминофенольных и эпоксифенольных смол относительно дешевы, имеют достаточную адгезию к стекловолокну (14-25 МПа). Для снижения хрупкости фенолоформальдегидные смолы модифицируют поливинилбутиралем, анилином, эпоксидной смолой.

Кремнийорганические связующие на основе полифенилметилсилоксанов имеют высокие электроизоляционные и тепловые свойства, но дороги и требуют длительного отверждения.

Стеклопластики с термопластичным связующим обычно содержат полиамид или поликарбонат.

Стекловолокнистые армирующие материалы могут быть бесщелочными и щелочными, непрерывными и штапельными, в виде жгута, ткани, нити. Стекловолокно обычно при его получении покрывают замасливателем (парафиновой эмульсией). В состав замасливателя вводят также гидрофобно-адгезионные вещества, способствующие увеличению связи волокно-связующее. Это прямые замасливатели. Иногда текстильный замасливатель удаляют, и волокно обрабатывают аппретом на основе кремнийорганических соединений, способным к химическому взаимодействию со

стекловолокном и со связующим.

Для стеклопластиков используют некрученые и крученые, а также рубленые нити, ткани и сетки, нетканые рулонные материалы (стеклянные маты) различного строения и различной плотности. Основные их свойства - способность упрочнять в 2-3 раза пластмассу и невысокие значения плотности (1500-2200 кг/м<sup>3</sup>). К числу вспомогательных материалов относят порошкообразные наполнители и пигменты. Наполнители выполняют различные функции: увеличивают вязкость, электропроводность, температуру стеклования и начала деструкции, снижают внутренние напряжения, усадку, горючесть и т.д.

Наиболее дешевые и доступные наполнители: песок, гипс, каолин, полевой шпат, мел, тальк, сажа, алюминиевая пудра, поливинилхлорид эмульсионный.

Пигменты и красители служат для окрашивания стеклопластиков.

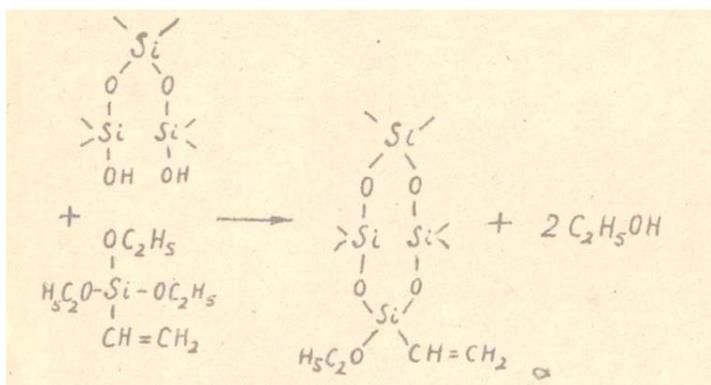
Они должны равномерно распределяться в связующем, обладать высокой красящей способностью, инертностью.

*Свойства межфазных слоев:*

Стеклопластики и другие композиционные материалы имеют не менее двух фаз, разделенных межфазными слоями. Для обеспечения высокой прочности композиционных материалов необходима эффективная передача усилий от волокна к волокну через границу связующее-наполнитель. Желательно химическое взаимодействие между наполнителем и связующим, смачивание поверхности наполнителя полимером, образование деформируемых слоев с промежуточным значением модуля упругости.

В реальных условиях поверхность стекла имеет силанольные группы, покрытые монослоем воды или загрязнениями. Это ухудшает смачивание стекла полимером.

Наполнитель подвергают перед использованием обработке аппретами - органическими соединениями с функциональными группами, способными реагировать как с наполнителем, так и с полимером. Например:



Группа -CH=CH<sub>2</sub> далее способна реагировать, например, с ненасыщенными полиэфирами. В случае эпоксидных смол влияние аппрета невелико.

В межфазном слое молекулы полимера сильно деформированы и имеют с поверхностью химические или физические связи.

Обеднение конфигурационного набора макромолекул приводит к увеличению жесткости полимера и изменению других свойств. Если весь полимер будет находиться в измененном виде, т.е. в межфазном слое, то такая система полимер-наполнитель будет наиболее прочной. Технологически это выполнить очень трудно. Нужно иметь также в виду, что увеличение жесткости полимера усиливает склонность материала к образованию трещин и хрупкому разрушению, особенно при существенном различии коэффициентов термического расширения полимера и наполнителя.

В качестве оборудования следует использовать имеющиеся или изготовить формы для контактного формования. В учебных целях используют негативные и позитивные

формы типа: полуцилиндр (диаметр 100 - 400 мм, высота Н 150-500 мм), полусфера (диаметр 50-150 мм), угловая конструкция с углами от 30 до 150° и другие более сложные профили, которые можно выложить стеклотканью, как о наружной, так и с внутренней стороны.

Валик (рифленый) служит для прикатки наполнителя, удаления пузырьков воздуха и уплотнения материала.

Пленка (полиэтиленовая, лавсановая и др.) служит для дополнительного покрытия поверхности и окончательной прикатки.

Разделительный слой изготавливают из парафина или раствора ПВС. Стеклоткань или стекловолокно, бумагу, хлопчатобумажную ткань нарезают, расправляют ножницами. Для смешения и приготовления связующего используют мелкую тару: пластмассовые, металлические, керамические, стеклянные стаканы и банки. Перемешивают металлическими шпателями или стеклянными палочками, пластмассовыми мешалками, вручную или соединенными с электродвигателем.

Разделительный слой и связующий наносят вручную с помощью кисти. Для отверждения связующего используют термошкаф, позволяющий производить и регулировать подогрев до 160°C.

Изделия обрабатываются напильником, ножовкой, наждачной бумагой. Изделия на твердость, на расслаивание, на прочность испытывают на лабораторном оборудовании. Замасливатели со стеклоленты удаляют прогревом ее на металлической сетке газовой горелкой до температуры 300-400°C. Нагревание выше 500°C опасно из-за плавления стекла. Замасливатель можно удалить также бензином, ацетоном.

**Цель работы:** Приобретение навыков изготовления изделий методом контактного формования и оценка свойств полученных изделий.

#### **Оборудование и материалы:**

Форма из разнообразных материалов (формы типа: полуцилиндр (диаметр 100- 400 мм, высота Н 150-500мм, полусфера (диаметр 50-150 мм)), угловая конструкция с углами от 30 до 150°C), эпоксидная смола, полиэтиленполиамид, ненасыщенная полиэфирная смола ПН-1, ПН-3 и др., гидроперекись изопропилбензола, перекись бензоила, нафтенат кобальта, диметиланилин, бакелитовый лак, поливиниловый спирт, этиловый спирт, парафин, бензин, ацетон, пигменты (сажа и др.).

#### **2. Методика проведения работы и оформление отчета**

1. Получить задание на изготовление конкретного изделия.
2. Подготовить шаблон (форму) для проведения контактного формования.
3. Выбрать параметры процесса.
4. Подготовить разделительный слой.
5. Рассчитать количество и подготовить стеклоткань.
6. Рассчитать и приготовить необходимое количество связующего.
7. Отформовать изделие или образец для испытания на разрыв, твердость.
8. Отформованное изделие подвергнуть механической обработке.
9. Испытать образец на разрывной машине, твердомере.

#### **Методика выполнения работы:**

Методы изготовления стеклопластиков делятся на открытые и закрытые. К закрытым относятся прессование, литье под давлением, пропитка под давлением. Открытые способы - намотка, напыление, центробежное литье, формование с помощью

эластичной диафрагмы.

Контактное формование не требует сложного оборудования, просто в оформлении, но толщину изделий нельзя получить с высокой точностью.

Контактное формование состоит из следующих операций: изготовление форм, приготовление разделительного слоя, подготовка стеклоткани, удаление замазливателя, приготовление связующего, нанесение связующего и стеклонаполнителя на форму, отверждение связующего, снятие изделия с формы, механическая обработка.

Формы могут быть изготовлены из самых разнообразных материалов: из дерева, металла, гипса, воска, стеклопластика, пластилина и др. Они должны обладать достаточной жесткостью и обеспечивать изготовление изделий необходимой конфигурации.

В качестве разделительного слоя применяют воск, нитролаки, поливиниловый спирт (ПВС), силиконовые смолы, парафин, полиизобутилен, силиконовую жидкость и др. Наиболее часто применяют водноспиртовой раствор поливинилового спирта (5% ПВС, 35% воды и 60% этилового спирта). Сначала готовят водный раствор ПВС, к которому при перемешивании добавляют этиловый спирт. Для лучшего контроля нанесения разделительного слоя в состав вводят красители (метиленовый голубой). При использовании воска последний растворяют в скипидаре, а парафин в толуоле. Для получения гладкой поверхности, восковой слой тщательно полируют.

Качество нанесения разделительного слоя определяет в значительной степени качество поверхности будущего изделия из стеклопластика, а также легкость выема изделий из матрицы. Разделительный слой наносится на матрицу за два раза. Слой ПВС должен сохнуть 1,5-2 часа.

После снятия изделий с шаблона остатки разделительного слоя удаляют. Пленку, отмывают теплой водой, а воск и парафин - растворителями.

Стеклоткань необходимо просушить в сушильной камере при температуре 30-40°C. После сушки стеклоткань хранят в помещении с влажностью не выше 65% и используют не позднее, чем через 10-12 часов.

Стеклоткань, обработанную гидрофобноадгезионным составом, необходимо выдержать при температуре 130-140°C в течение 15 мин. Простую стеклоткань необходимо раскроить по шаблонам. Перед раскроем кромки обрезают (они затрудняют пропитку), вследствие чего именно в этом месте стеклопластик будет иметь воздушные пузыри и неравномерную толщину.

Рецептура композиций (масс.ч.)

а) На основе эпоксидного связующего:

Эпоксидная смола ЭД-20 100

Полиэтиленполиамин 10-15

б) На основе полиэфирного связующего (конструкция):

Смола ПН-1 (ПН-3) - 89,0

Гидроперекись изопропилбензола (гипериз) - 3,0

Ускоритель (нафтенат кобальта) - 8,0

в) На основе полиэфирного связующего (декоративный слой):

Смола ПН-Х (ПН-3) - 94

Перекись бензоила (10% - ный раствор в стироле) - 5,0

диметиланилин (10%-ный раствор в стироле) - 1,0

г) На основе фенолоформальдегидных смол:

Бакелитовый лак или модифицированная смола (бакелитовый лак 100 мас.ч., эпоксидная смола в соотношении 7:3)

Связующее готовится в мелкой таре в зависимости от потребности. Сначала готовится чистая сухая тара, затем взвешивается определенное количество инициатора и ускорителя.

В смолу инициатор и ускоритель вводятся отдельно. Сначала вводится ускоритель. После введения отверждающих добавок смола пригодна ограниченное время, готовят ее небольшими порциями.

Количество связующего и наполнителя должно быть в пределах от 30:70 до 70:30.

На подготовленную форму с разделительным слоем вначале наносится декоративный слой (композиция "в"). Связующее наносят на форму кистями. Для того чтобы получить поверхность хорошего качества, декоративный слой наносят в 2 приема с перерывом на желатинизацию первого слоя.

Общая толщина декоративного слоя должна быть 1 мм. Затем укладывают первый слой стеклоткани и делают выдержку до желатинизации связующего в течение 1-1,5 ч, так как при последующей формовке изделия из-за недостаточного схватывания первого слоя стеклоткани о декоративным слоем связующего можно сдвинуть стеклоткань и тем самым повредить наружную поверхность изделия. Стеклоткань при формовании изделий обычно укладывают встык, но можно и внахлестку.

После желатинизации первого слоя стеклопластика наносят новый слой связующего и укладывают связующий слой стеклоткани, прикатывая роликом. Перерыв между формованием двух смежных слоев стеклопластика не должен быть больше времени, необходимого для желатинизации (до большого слипа), так как ухудшается адгезия между слоями, что отрицательно сказывается на прочности стеклопластика.

Все последующие слои стеклоткани укладываются и пропитываются также, как и первый. Формуются изделия без перерыва до требуемой толщины, но не более 8-10 мм.

При изготовлении изделия большой толщины необходимо по достижении 100 мм делать перерыв до отверждения стеклопластика, так как процесс отверждения сопровождается выделением тепла, вследствие чего возможна деформация материала при полимеризации.

Формование изделия после перерыва возможно при соблюдении следующих условий: очистка от пыли, тщательного прошкуривания всей поверхности, очистки от стеклопыли и нанесение свежего связующего. Отформованное изделие необходимо выдержать в матрице до полной полимеризации. Изделия из стеклопластика на основе смолы ПН-3 извлекаются из формы не ранее чем через 24 часа. При снятии с формы необходимо соблюдать осторожность, чтобы не повредить наружную поверхность изделия. Форма очищается от остатков разделительного слоя и подготавливается для следующего формования.

Изделия, полученные контактным формованием, подвергаются механической обработке. Стеклопластик опиливают, напильником, шлифуют, а при необходимости сверлят с развертыванием отверстий и нарезают резьбу метчиками и плашками, фрезеруют и режут. Механически обрабатывать можно только вполне заполимеризовавшийся стеклопластик - через 7-14 дней после формования. Нельзя обрабатывать стеклопластик тупым инструментом, так как это приводит к

разлохмачиванию и расслаиванию верхних слоев пластика, излишнему образованию пыли, низкому качеству обработанной поверхности.

Шкурирование и шлифование, полировку стеклопластика выполняют на стационарных станках или вручную. Декоративные поверхности стеклопластика с введением пигментов или с поверхностным окрашиванием легко поддаются полировке различными восковыми и автомобильными пастами, полировочной водой и т.п. Полировать можно вручную или пневматическими машинками.

#### ***Техника безопасности:***

Вредными веществами при производстве изделий методом контактного формования являются растворители (ацетон, толуол), мономеры (стирол в ненасыщенном полиэфире), перекиси бензоила и цикумила, малые количества фенола и формальдегида в фенолоформальдегидной смоле, а также стеклянная пыль. Контакт с эпоксидной смолой и отвердителями могут вызвать экземы и дерматиты.

В связи с этим лабораторные работы с летучими компонентами проводят при включенной вентиляции в вытяжном шкафу. При работе со смолами следует избегать их контакта с кожей, а при попадании на кожу удаляют спиртом, водой с мылом, содой. Рекомендуется работать в резиновых перчатках и защитных очках.

Перекиси следует использовать в виде пасты в смеси с диметилфталатом. Перекиси и активаторы разложения вводят в смолу последовательно при перемешивании. Не допускается работать вблизи источников открытого огня (кроме удаления замасливателя). Перекиси и гидроперекиси нельзя растирать и размалывать без разбавления инертными веществами. Нельзя смешивать перекиси с активаторами разложения.

#### ***3. Варианты индивидуальных или групповых заданий:***

Задания: Ознакомиться с основными закономерностями процесса получения изделий методом контактного формования.

4. Изготовление формы;
5. Приготовление разделительного слоя;
6. Подготовка стеклоткани и удаление замасливателя;
7. Приготовление связующего и нанесение связующего и стеклонаполнителя на форму;
8. Отверждение связующего;
9. Снятие изделия с формы и механическая обработка.

#### ***4. Содержание отчета по лабораторной работе.***

Отчет по лабораторной работе должен включать в себя:

- титульный лист;
- теоретическая часть;
- цель работы;
- оборудование, приборы и вспомогательные средства;
- расчетную (практическую) часть;
- выводы по лабораторной работе;
- список использованных источников.

Пример оформления лабораторной работы приведен далее.

#### ***5. Контрольные вопросы***

1. Какие реакционноспособные группы имеют аппретирующие составы, наполнители и связующие?

2. Приведите примеры химических реакций в процессе изготовления изделий из армированных пластиков.

3. Назовите основные технологические характеристики связующего и наполнителя, определяющие скорость и качество пропитки.

4. Какие технологические параметры влияют на прочность изделия? На количество наполнителя и связующего в изделии?

5. Какие достоинства и недостатки имеет метод контактного формования?

6. Как влияет толщина изделия на технологический процесс его изготовления?

7. Как влияет концентрация связующего на плотность изделия и соотношение связующее - наполнитель?

8. Чем объяснить анизотропию свойств стеклопластика?

#### **6. Список рекомендуемой литературы**

1. Современные методы переработки полимерных материалов. Переработка реактопластов: учебное пособие / ю. Т. Панов, Л. А. Чижова, Е. В. Ермолаева; - Владимир: (ВлГУ), 2014. - 143 с., табл.

2. Крыжановский, В.К. и др. Производство изделий из полимерных материалов.- СПб.: Профессия, 2004.-464с.

3. Бортников, В.Г. Основы технологии переработки пластмасс, Л., Химия, 1983.

4. Брагинский В.А. Прессование. Л.: Химия, 1979г.

## Лабораторная работа 9. СВАРКА ПЛАСТМАСС

### *Методы сварки*

Сварка пластмасс - это процесс получения из элементов конструкции неразъемного соединения тепловым воздействием на материал в зоне шва. При этом граница раздела между соединяемыми поверхностями исчезает. В процессе сварки возможно химическое взаимодействие макромолекул полимера (химическая сварка, деструкция и др.).

Существует много различных методов сварки с использованием разнообразного технологического оборудования.

Контактно-тепловую сварку можно осуществить на аппарате типа "Молния" с использованием пленочных и листовых термопластов.

Термоимпульсную сварку можно также осуществить с помощью "Молнии". Используют пленочные материалы с невысокими температурами плавления и перехода в вязкотекучее состояние.

Нагреванием газовой струей участков свариваемых изделий и присадочного прутка можно перевести их в вязкотекучее состояние, затем осуществить плотный контакт, а после охлаждения получается прочная связь между элементами изделия. Это сварка нагретым газом.

Для материалов, быстро деструктирующих выше температуры плавления, используют инертный газ (азот, аргон). Растворители и присадочные материалы позволяют получить шов более прочный и при более низкой температуре.

Подвести тепло к полимеру можно не только с помощью нагретого инструмента или теплоносителя, но и токами высокой частоты к полярным полимерам или материалам из неполярных полимеров с полярными добавками (пластификаторами, наполнителями). Тепловую энергию к материалу можно подвести в виде механических колебаний ультразвуковой частоты (более 20000 Гц), а также за счет трения одного материала о другой. Это процессы сварки токами высокой частоты, ультразвуковая сварка, сварка трением.

К важнейшим параметрам процесса сварки пластмасс относятся: температура сварочного инструмента, продолжительность выдержки при сварке, давление прижима свариваемых поверхностей, скорость сварки, угол наклона сварочного прутка, температура газа-теплоносителя и др. Для выбора параметров сварки желательно знать температуру текучести и температуру начала интенсивной деструкции полимера, состав и вязкость материалов, другие химические и физические свойства (формулу, температуру стеклования, кристалличность, полярность), области применения.

Качество сварного соединения определяют по прочности шва, по структуре сварочных швов (цвет, наличие или отсутствие границы раздела материалов, дефекты в шве), по герметичности сварных соединений.

#### **1. Цель работы:**

Найти исходные характеристики полимерных материалов, изучить сущность процесса сварки, выбрать технологические параметры процесса, изготовить методом сварки заданные образцы и оценить качество сварных соединений, уметь использовать литературу по специальности. Используя методы математической статистики и планирования эксперимента, исследовать те или иные закономерности при сварке пластмасс:

- а) прочность шва от температуры газа;
- б) прочность шва от скорости сварки;
- в) температурные границы, в которых можно получить герметичный шов.

**Оборудование и материалы:**

1. Полиэтилен (пленка, лист, трубка, стержень).
2. Поливинилхлорид (винипласт, стержни, пленка, пластифицированный ПВХ, сварочный пруток).
3. Полиэтилентерефталатная пленка.
4. Двухслойная пленка (ПЭТФ + ПЭ).
5. Лист и изделия из ПС, ПММА и др.
6. 3%-ный раствор NaCl.
7. Тканевые тампоны.
8. Бензин или ацетон.
9. Сварочный аппарат "Молния".
10. Установка для сварки пластмасс горячим воздухом (воздуходувка, сварочная горелка с электронагревателем, лабораторный трансформатор), сверлильный станок или напильник, наждачный станок, ножовка, ножницы, разрывная машина, тестер (омметр, гальванометр), милливольтметр с термопарой.

При расчетах по УИРС необходима клавишная ЭВМ. Для измерения температуры использовать термопару и милливольтметр или потенциометр, для определения прочности шва использовать разрывную машину. Для определения толщины использовать микрометр, штангенциркуль.

**2. и 3. Методика выполнения работы:**

Сварка нагретым газом. По заданию преподавателя подготовить материалы для сварки - листовой винипласт или листовой полиэтилен, сварочный пруток. Подготовить не менее 6 пластин из полимера. Размер пластин примерно 50x70 мм.

Подготовить для сварки встык, внахлестку, Т-образно. Для этого обработать поверхности наждачной бумагой, бензином или ацетоном.

При сварке встык образцы должны иметь скос под углом 30°(обработать напильником или на наждачном станке).

Перед сваркой определить, при каком напряжении температура газа, выходящего из нагревателя, на расстоянии 4-8 мм, будет равна 150 - 270 °С. Построить для заданного расстояния зависимость напряжение (В) - температура (°С).

Сварить пластины при трех-пяти различных температурах. Получить изделие заданного вида.

Определить изменение длины прутка при сварке, для чего перед сваркой поставить на прутке на определенном расстоянии две метки графитовым карандашом. Изменение длины сварочного прутка рассчитать для каждого варианта по формуле:

$$\varepsilon = \frac{l_c - l_n}{l_n} 100\%$$

где  $l_c$  - длина сварного шва, м;  $l_n$  - длина прутка в сварном шве до сварки, м.

Определять скорость сварки в м/с. Определить оптимальную температуру сварки по измерениям:

- а) по визуальной оценке качества шва;
- б) по прочности сварного шва, выраженного в Н/м (испытания на разрывной

машине по известной методике);

в) по герметичности сварного шва.

Для определения герметичности нанести на шов с двух сторон 3%-ный раствор поваренной соли, наложить металлические пластины и с помощью тестера (омметра) определить сопротивление электрической цепи.

При оптимальном режиме сварки сварить заданное число образцов, испытать образцы, провести статистическую обработку результатов испытаний. Данные занести в таблицу.

В отчете должны быть представлены: задание, краткие физико-химические характеристики свариваемого материала, технологические и физико-химические основы процесса сварки, описание выполненного процесса сварка, данные испытаний:

- а) график напряжение-температура;
- б) таблица результатов испытаний;
- в) выводы;
- г) сведения об использованной литературе.

Таблица 1

Результаты испытаний сварки газом

№ опыта	Напряжение, В	Температура, °С	Удлинение, %	Скорость сварки, м/с	Прочность шва, Н/м	Сопротивление, Ом

Термоимпульсная сварка. Подготовить образцы пленка размером 100x180 мм. При необходимости очистить пленки от загрязнений. Выбрать груз или определить ручную усилие, необходимое для создания давления на материал в пределах 0,05-0,15 МН/м<sup>2</sup>. С помощью тонкой термодпары, поставленной в область нагревателя между двух пленок, измерять температуру в зоне сварки пленок (в нескольких точках), положить образец под нагреватель и провести сварку через заданные промежутки времени при заданных напряжениях электрического тока, регулируемого трансформатором. О времени сварки по сигналу лампочки на аппарате "Молния".

**Предел прочности при расслаивании рассчитывается по формуле:**

$$\sigma_{\text{рассл}} = \frac{P}{b}$$

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

**При сдвиге расчет проводятся по формуле**

$$\sigma_{\text{сдв}} = P/b.$$

Расслаивание - разрушение шва при растяжения двух соседних краев пленки

Сдвиг - разрушение при растяжении двух противоположных краев пленки.

Сравнить полученные величины, выполнить статистическую обработку результатов. Определить оптимальный режим сварки. Данные занести в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты термоимпульсной сварки

Номер опыта	Напряжение, В	Продолжительность, с	Прочность, Н/м		Прочность при разрыве, МПа
			при расслаивании	при сдвиге	

Найти в литературе значения предела прочности данного вида материала на разрыв, рассчитать усилия, необходимые для разрыва заданной пленки, и сравнить с усилиями при расслаивании и сдвиге по сварному шву. Отклонение выразить в процентах.

В отчете изложить физико-химические основы сварки, расчеты, таблицу, кривую температура-время при заданном напряжении, выводы, использованную литературу.

**Практическая часть:**

В отчете должны быть представлены: задание, краткие физико-химические характеристики свариваемого материала, технологические и физико-химические основы процесса сварки, описание выполненного процесса сварка, данные испытаний:

- а) график напряжение-температура;
- б) таблица результатов испытаний;
- в) выводы;
- г) сведения об использованной литературе.

Таблица 1

Результаты испытаний сварки газом

№ опыта	Напряжение, В	Температура, °С	Удлинение, %	Скорость сварки, м/с	Прочность шва, Н/м	Сопротивление, Ом

Термоимпульсная сварка. Подготовить образцы пленка размером 100x180 мм. При необходимости очистить пленки от загрязнений. Выбрать груз или определить вручную усилие, необходимое для создания давления на материал в пределах 0,05-0,15 МН/м<sup>2</sup>. С помощью тонкой термопары, поставленной в область нагревателя между двух пленок, измерять температуру в зоне сварки пленок (в нескольких точках), положить образец под нагреватель и провести сварку через заданные промежутки времени при заданных напряжениях электрического тока, регулируемого трансформатором. О времени сварки по сигналу лампочки на аппарате "Молния".

**Предел прочности при расслаивании рассчитывается по формуле:**

$$\sigma_{рассл} = \frac{P}{b}$$

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

**При сдвиге расчет проводится по формуле**

$$\sigma_{сдв} = P/b.$$

Расслаивание - разрушение шва при растяжения двух соседних краев пленки

Сдвиг - разрушение при растяжении двух противоположных краев пленки.

Сравнить полученные величины, выполнить статистическую обработку результатов. Определить оптимальный режим сварки. Данные занести в таблицу 2.

Таблица 2

Результаты термоимпульсной сварки

Номер опыта	Напряжение, В	Продолжительность, с	Прочность, Н/м		Прочность при разрыве, МПа
			при расслаивании	при сдвиге	

**Техника безопасности:**

Наибольшую опасность из-за возможности ожога представляет попытка передать товарищу по работе горячий нагреватель для сварки нагретым газом. Мундштук

нагревателя разогрет до 180-300 °С, корпус нагревателя также разогрет до высоких температур. При передаче товарищу нагреватель для сварки положить на рабочий стол. Разрешается использовать в работе нагреватель с исправной тепло- и электроизоляцией.

Во избежание перегрева нагревателя и выхода его из строя запрещается подавать напряжение на электрическую спираль нагревателя при выключенной воздуходувке.

В случае неисправности установки для сварки нагретым газом (не работает воздуходувка, нагреватель), необходимо ее выключить и доложить лаборанту или преподавателю.

Сварку с использованием растворителей и присадочных материалов проводить в вытяжном шкафу. При использовании горючих жидкостей соблюдать правила пожарной безопасности.

#### **4. Содержание отчета по лабораторной работе.**

Отчет по лабораторной работе должен включать в себя:

- титульный лист;
- теоретическая часть;
- цель работы;
- оборудование, приборы и вспомогательные средства;
- расчетную (практическую) часть;
- выводы по лабораторной работе;
- список использованных источников.

Пример оформления лабораторной работы приведен далее.

#### **5. Контрольные вопросы**

1. В каких физических состояниях находится полимер (ПЭ, ПС, ПВХ и др.) до сварки, в процессе сварки, после сварки?
2. Назовите возможные химические процессы, проходящие во время сварки ПВХ, полиамидов, полистирола, полиэтилена и др.
3. Каким образом создается давление между свариваемыми частями изделий в различных сварках?
4. В производстве каких изделий процесс сварки входит составной частью технологического процесса?
5. Какие технологические параметры задает технолог и контролирует рабочий во время сварки одним из методов?
6. Расскажите о технологическом процессе сварки пластмасс одним из методов.
7. Что такое "химическая сварка"?
8. Какие полимерные материалы наиболее трудно сваривать?
9. Как контролируется качество сварных швов?
10. Назовите преимущества и недостатки каждого из методов сварки пластмасс.

#### **6. Список рекомендуемой литературы**

1. Современные методы переработки полимерных материалов. Переработка реактопластов: учебное пособие / ю. Т. Панов, Л. А. Чижова, Е. В. Ермолаева; - Владимир: (ВлГУ), 2014. - 143 с., табл.
2. Практикум по технологии переработки и испытаниям полимеров и композиционных материалов А. Н. Садова, В. Г. Бортников, А. Е. Заикин и др. - М.: КолосС, Влияние и устранение проблем в экструзии / К. Раувендаль, М.Д. Пилар Норьега е., х. Харрис; пер. сангл. - 2-е изд. - СПб.: Профессия, 2011. - 368с.

3. Сварка полимерных труб и фитингов с закладными электронагревателями [Электронный ресурс]: монография / В.И. Кимельблат, И.В. Волков, О.В. Стоянов. - Казань: Издательство КНИТУ - 2013.

## Лабораторная работа 10.

### СКЛЕИВАНИЕ ПЛАСТМАСС

Склеивание - это процесс соединения различных деталей из металлических или неметаллических материалов. Для склеивания обычно используют вещества, образующие полимеры или являющиеся полимерами. Склеивание объясняется проявлением между клеем и материалами различных сил (дисперсионных, индукционных, электрических) или образованием химических связей, диффузией.

#### **1. Цель работы:**

Цель работы: изучить технологические операции оклеивания, конструкции клеевых соединений, обосновать выбор клея, провести практические работы по склеиванию, определить качество клеевого соединения.

#### **Оборудование и материалы:**

Материалы: клеи различных типов - эпоксидные на основе смол ЭД-16, ЭД-20 и др., в смеси с полиэтиленполиамином или гексаметилендиамином в весовом соотношении 100 : (8 ± 2), с малеиновым ангидридом в соотношении 100 : 30, фенолоальдегидные клеи ВИАМ Б-3, БФ-2, полиуретановые клеи, растворы нитроцеллюлозы, перхлорвиниловой смолы в растворителях, клей ПВА-М и другие по заданию преподавателя. Используют также химические вещества: бензин, метилхлорид, ацетон, этиловый спирт, муравьиную кислоту, серную кислоту, бихромат калия, дистиллированную воду, глицерин, наполнители.

Материалы для склеивания и обработки изделий: стальные и пластмассовые пластины размерами 0,1x16x90 мм и 2x20x70 мм, в том числе текстолит, стеклотекстолит, винипласт, полиэтилен, полистирол, капрон, фенотекстолит.

Оборудование: разрывная машина, термошкаф, ручной пресс, аналитические весы, штангенциркуль, пробирки, кисти для клея, напильник, ножницы, наждачная бумага, посуда для приготовления клея, металлические пластины, ножницы по металлу, деревянная линейка.

#### **2. Методика выполнения работы:**

Образцы для склеивания очищают тампоном, смоченным горячей водой, и обезжиривают тампоном, смоченным бензином. Зашкуривают наждачной бумагой № 80 - 120 до снятия глянца с последующим удалением стружки с поверхности кистью или чистой тряпочкой. Следует избегать загрязнения поверхности образца жировыми пятнами. Обезжиривать можно также метилхлоридом, четыреххлористым углеродом, трихлорэтиленом. После обезжиривания химическую обработку поверхности проводят при 75°C в течение 5 мин раствором двуххромовокислого калия в серной кислоте. Эта смесь готовится исходя из массовых соотношений  $K_2Cr_2O_7 : H_2SO_4 : H_2O$  равных 1 : 45 : 2,5. После обработки образцы тщательно промывают водой.

Изменение поверхностных свойств образцов из полиэтилена и других полимеров оценивают по степени растекания на них капля глицерина. Угол смачивания  $\Theta$  измеряют нанесением на поверхность с помощью капилляра маленькой капли глицерина и определением через 1 мин радиуса  $r$  основания капли и ее высоты  $h$ . Расчет проводится по формуле:

$$tg\Theta = \frac{2rh}{r^2 - h^2}$$

Для определения оптимального расхода клея металлические пластинки,

соединяемые внахлестку с помощью клея БФ-2 при 80°C, кладут на три часа под груз, после чего испытывают на разрывной машине.

Давление склеивания выбирают, исходя из опытов, проводимых при 20°C в течение трех часов при использовании давлений, создаваемых грузами 1, 5 и 10 кг. При повышенной температуре опыты проводят, нагружая образцы, помещенные на обогреваемые плиты.

В числе выбираемых конструкций клеевого соединения рекомендуется: простое внахлестку, двускосное внахлестку, простое с накладками, двустороннее простое с накладками, простое стыковое, соединение "на ус", сотовое для трехслойной панели, а также дублирование пленок.

Среднюю толщину слоя клея наиболее точно определяют взвешиванием заготовок до и после склеивания с учетом площади склеивания. В ряде случаев необходимо рассчитать количество смолы и отвердителя при приготовлении клея. Для эпоксидного клея можно использовать при расчете количества отвердителя:

$$\chi = \frac{\text{ЭМ}}{43},$$

где  $\chi$  - количество отвердителя, %; М - молекулярная масса, приходящаяся на одну функциональную группу отвердителя; Э - содержание эпоксидных групп в смоле, %; 43 - молекулярная масса эпоксидной группы.

Результаты работы отражают в отчете, где указывают вид задания, приводят расчеты количества клея, уравнения химических реакций при склеивании, характеристики используемых веществ, вид образцов, вид подготовки поверхности, марку и концентрация клея, режим склеивания, результаты испытаний клеевых соединений с обсуждением и сравнением их с литературными данными, выводы.

#### ***Техника безопасности:***

Применяемые для клеев компоненты токсичны, взрыво- и пожароопасны. К числу наиболее токсичных веществ, применяемых в клеях, относятся изоцианаты, аминные отвердители, ангидриды. Дерматиты могут вызывать эпоксидные и феноло-формальдегидные клеи. При химической обработке поверхности изделий и заготовок возможны поражения кожи и попадание на одежду смеси серной кислоты с солями хрома. Во избежание несчастных случаев необходимо соблюдать осторожность, работать в спецодежде, под тягой. После окончания работы необходимо тщательно убрать рабочее место, вымыть руки с мылом. В случае попадания клеевых составов на кожу ее протереть тампоном, смоченным спиртом, затем вымыть водой с мылом.

#### ***3. Варианты индивидуальных или групповых заданий:***

1. Определить влияние химической обработки на изменение поверхностной энергии образцов.
2. Определить оптимальный расход клея.
3. Определить оптимальное давление при склеивании.
4. Изучить влияние температуры на качество склеивания
5. Выбрать конструкцию клеевого соединения.

#### ***4. Содержание отчета по лабораторной работе.***

Отчет по лабораторной работе должен включать в себя:

- титульный лист;
- теоретическая часть;

- цель работы;
- оборудование, приборы и вспомогательные средства;
- расчетную (практическую) часть;
- выводы по лабораторной работе;
- список использованных источников.

Пример оформления лабораторной работы приведен далее.

### **5. Контрольные вопросы**

1. Какие функциональные группы имеются на поверхности различных материалов, наиболее часто склеиваемых?
2. Изложите основа адсорбционной, электрической, диффузионной и химической теории адгезии.
3. Что обозначают термины: адгезия, аутогезия, когезия?
4. Как изменяется поверхность заготовки при различных видах ее подготовки к склеиванию?
5. Какое значение имеет вязкость клея при склеивании? Как изменить вязкость клея?
6. Как влияет толщина клеевого слоя на прочность соединения?
7. Какие химические и физические процессы происходят при склеивании?
8. Какое оборудование может быть использовано при контроле качества клея, нанесения клея на большие поверхности, при контроле качества клеевых соединений?

### **6. Список рекомендуемой литературы**

1. Современные методы переработки полимерных материалов. Экструзия. Литье под давлением: учеб. Пособие / Ю.Т. Панов, Л.А. Чижова, Е.В. Ермолаева; Владим. гос. ун-т имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. - Владимир: Изд-во ВЛГУ, 2013. - 128с.
2. Современные методы переработки полимерных материалов. Переработка реактопластов: учебное пособие / ю. Т. Панов, Л. А. Чижова, Е. В. Ермолаева; - Владимир: (ВлГУ),2014. - 143 с., табл.
3. Практикум по технологии переработки и испытаниям полимеров и композиционных материалов А. Н. Садова, В. Г. Бортников, А. Е. Заикин и др. - М.: КолосС, Влияние и устранение проблем в экструзии / К. Рауендаль, М.Д. Пилар Норьега е., х. Харрис; пер. сангл. - 2-е изд. - СПб.: Профессия, 2011. - 368с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«Владимирский государственный университет имени Александра  
Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»**  
**(ВлГУ)**

Институт архитектуры, строительства и энергетики

Кафедра Химической технологии

Лабораторная работа № 2  
Получение изделий методом экструзии

Выполнили:  
Студент 4 курса  
Группы ХТ-113  
Евдокимов С.  
Проверил:  
Доц. Чижова Л.А.

Владимир 2016

*Цель работы:* приобрести практические навыки работы на лабораторном экструдере, научиться определять основные параметры процесс экструзии и устанавливать взаимосвязь между ними.

#### *Теоретическое введение*

Экструзия – метод получения изделий выдавливанием перерабатываемого материала через профилирующее отверстие – головку определенных размеров и формы.

Для процесса приобретает необходимы условия, при которых:

а) материал приобретает способность к течению и формованию при прохождении профилирующей головки и достаточную формоустойчивость и прочность после выхода из нее;

б) перед головкой развивается давление, достаточное для продавливания через нее материал с необходимой скоростью.

В настоящее время экструзия – одни из наиболее распространенных и перспективных методов переработки полимерных материалов, в основном термопластов.

#### *Задание*

1. Изучить конструкцию и принцип действия лабораторного одночервячного экструдера.

2. Определить экспериментально производительность экструдера.

3. Оценить теоретически производительность  $Q$  экструдера, соответствующую условиям эксперимента, и анализ характеристик червяка и головки экструдера в координатах  $Q - \Delta P$ .

#### *Приборы, оборудование и принадлежности*

Лабораторный одночервячный экструдер; гранулированный термопласт; секундомер; весы лабораторные; измерительная линейка с миллиметровыми делениями.

#### *Описание лабораторного одночервячного экструдера*

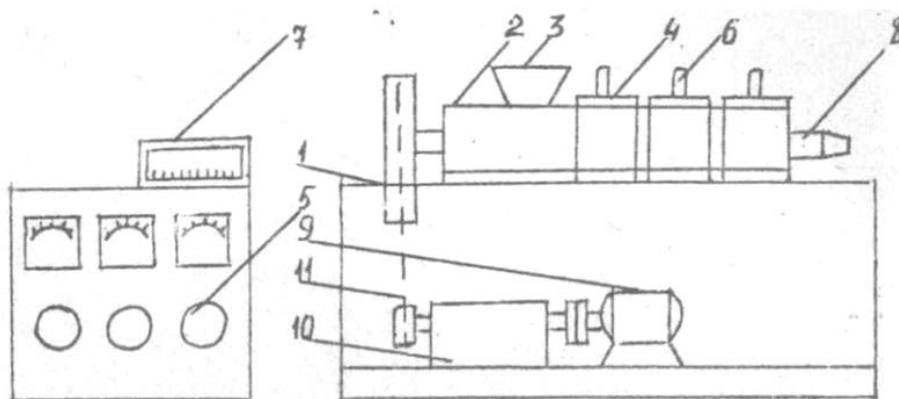


Рис. Схема лабораторного одночервячного экструдера: 1 – рама; 2 – цилиндр экструдера; 3 – загрузочный бункер; 4 – электронагреватели; 5 – автотрансформаторы; 6 – термопара; 7 –

милливольтметр; 8 – профилирующая головка; 9 – электродвигатель переменного тока; 10 – редуктор; 11 – цепная передача

Лабораторная экструзионная установка включает раму 1, на которой смонтированы все основные узлы. Цилиндр 2 экструдера снабжен загрузочным бункером 3 и тремя зонами обогрева с расположенными в них электронагревателями 4. Напряжение питания электронагревателей и, соответственно, температура по зонам цилиндра регулируются вручную автотрансформаторами 5. Температура по зонам контролирует термопарой 6 милливольтметра 7. На выходе из цилиндра расположен однозаходный червяк, приводимый во вращение привода экструдера. Привод включает нерегулируемый электродвигатель переменного тока 9, редуктор со ступенчатым регулированием

передаточного отношения и цепную передачу 11. На боковой панели рамы экструдера расположены кнопки включения привода вращения червяка и напряжения на нагревателях.

*Обработка результатов*

Геометрические параметры червяка экструдера:

1. Число заходов червяка  $t = 2$ ;
2. Диаметр червяка  $D = 30$  мм;
3. Шаг винтовой нарезки червяка  $t = 60$  мм;
4. Глубина винтовой нарезки червяка в зоне дозирования  $h_d = 2,5$  мм;
5. Глубина винтовой нарезки червяка в зоне загрузки  $h_d = 5,0$  мм;
6. Длина зоны дозирования  $l_d = 220$  мм;
7. Длина зоны пластикации  $l_p = 60$  мм;
8. Длина зоны загрузки  $l_z = 160$  мм;
9. Ширина гребня винтовой нарезки червяка  $e = 4$  мм;
10. Величина зазора между гребнями винтовой нарезки червяка и стенками цилиндра  $\delta = 0,15$  мм;
11. Угол подъёма винтовой нарезки червяка  $\varphi = \arctg(60/3.14 \cdot 30) = 32.5^\circ$ ;

Материал – полипропилен

Толщина изделия – 4 мм;

Кол-во оборотов:  $N_1 = 28$ ;  $N_2 = 28$ .

Масса изделия:  $m_1 = 20$  г;  $m_2 = 25$  г.

Температура по зонам:

1	2	3	4
180	170	160	150

Плотность  $\rho = 860 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

$$n = \frac{N}{\tau};$$

$$n_1 = \frac{28}{60} = 0,47 \text{ с}^{-1}; n_2 = \frac{28}{60} = 0,47 \text{ с}^{-1};$$

$$G = \frac{m_{\text{изд}}}{\tau};$$

$$G_1 = \frac{m_{\text{изд1}}}{\tau} = \frac{20}{60} = 0,33 \text{ г/с} = 1,19 \text{ кг/ч};$$

$$G_2 = \frac{m_{\text{изд2}}}{\tau} = \frac{25}{60} = 0,42 \text{ г/с} = 1,51 \text{ кг/ч};$$

$$Q_{\text{эксп}} = \frac{G}{\rho};$$

$$Q_{\text{эксп1}} = \frac{1,19}{860} = 0,00138 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,383 \text{ см}^3/\text{с};$$

$$Q_{\text{эксп2}} = \frac{1,51}{860} = 0,0017 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,47 \text{ см}^3/\text{с};$$

**Теоретическая производительность**

$$Q = \frac{\alpha * K}{K + \beta * \frac{\mu_{ЭК}}{\mu_{ЭЗ}} + \gamma * \frac{\mu_{ЭГ}}{\mu_{ЭЗ}}} * n;$$

$$\alpha = \frac{\pi * D * h_g * (t - e) * \cos^2 \varphi}{2} = \frac{3.14 * 30 * 2.5(60 - 4) * \cos^2 32.5}{2}$$

$$= 4690.4 \text{ мм}^3 = 4,69 * 10^{-6} \text{ м}^3;$$

$$\beta = \frac{h_g^3 * (t - e) * \sin 2\varphi}{24 * l_g} = \frac{2.5^3 * (60 - 4) * \sin 65}{24 * 230} = 0.144 \text{ мм}^3$$

$$= 0.144 * 10^{-9} \text{ м}^3;$$

$$\gamma = \frac{\pi^2 * D^2 * \delta^3 * \text{tg} \varphi * \sin \varphi}{10 * e * l_g} = \frac{3.14^2 * 30^2 * 0.15^3 * \text{tg} 32.5 * \sin 32.5}{10 * 230 * 4}$$

$$= 0.00113 \text{ мм}^3 = 0.00113 * 10^{-9} \text{ м}^3;$$

### Скорости сдвига:

а) для винтового канала червяка

$$j_k = \frac{\pi^2 * (D - h_g) * (D - 2 * h_g)}{h_g * \sqrt{\pi^2 * (D - 2 * h_g)^2 + t^2}} * n$$

$$= \frac{3.14^2 * (30 - 2.5) * (30 - 2 * 2.5)}{2.5 * \sqrt{3.14^2 * (30 - 2 * 2.5)^2 + 60^2}} * 0.47 = 12.9 \text{ с}^{-1};$$

б) для зазора между цилиндром и гребнями винтовой нарезки червяка

$$j_з = \frac{\pi^2 * D^2}{\delta * \sqrt{\pi^2 * D^2 + t^2}} * n = \frac{3.14^2 * 30^2}{0.15 * \sqrt{3.14^2 * 30^2 + 60^2}} * 0.47 = 243.4 \text{ с}^{-1};$$

в) для головки (приближенно)

$$j_{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^m j_{\Gamma i}}{m};$$

$$j_{\text{ц}} = \frac{32 * Q}{\pi * d^3};$$

$$j_{\text{ц}1} = \frac{32 * 0.383}{3.14 * 0.4^3} = 61 \text{ с}^{-1};$$

$$j_{\text{ц}2} = \frac{32 * 0.47}{3.14 * 0.4^3} = 74.84 \text{ с}^{-1};$$

$$j_k = \frac{256 * Q}{\pi * (D - d)^2};$$

$$j_{k1} = \frac{256 * 0.383}{3.14 * (3 - 0.4)^2} = 4.62 \text{ с}^{-1};$$

$$j_{k2} = \frac{256 * 0.47}{3.14 * (3 - 0.4)^2} = 5.67 \text{ с}^{-1};$$

$$j_{\Gamma 1} = \frac{61 + 4.62}{20} = 3.28 \text{ с}^{-1};$$

$$j_{r2} = \frac{74.84 + 5.67}{25} = 3.2 \text{ c}^{-1};$$

Значение К определим из соотношения:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}};$$

$$K_1 = \frac{\pi * d^4}{128 * L} = \frac{3.14 * 4^4}{128 * 440} = 0.0143 \text{ мм}^3 = 0.0143 * 10^{-9} \text{ м}^3$$

$$K_2 = \frac{3 * \pi * D^3 * d^3}{128 * 440 * (D + d)^2} = \frac{3 * 3.14 * 30^3 * 4^3}{128 * 440 * (30 + 4)^2} = 0.25 \text{ мм}^3 = 0.25 * 10^{-9} \text{ м}^3$$

$$K = \frac{1}{\frac{1}{0.0143} + \frac{1}{0.25}} = 0,0134 \text{ мм}^3 = 0,0134 * 10^{-9} \text{ м}^3;$$

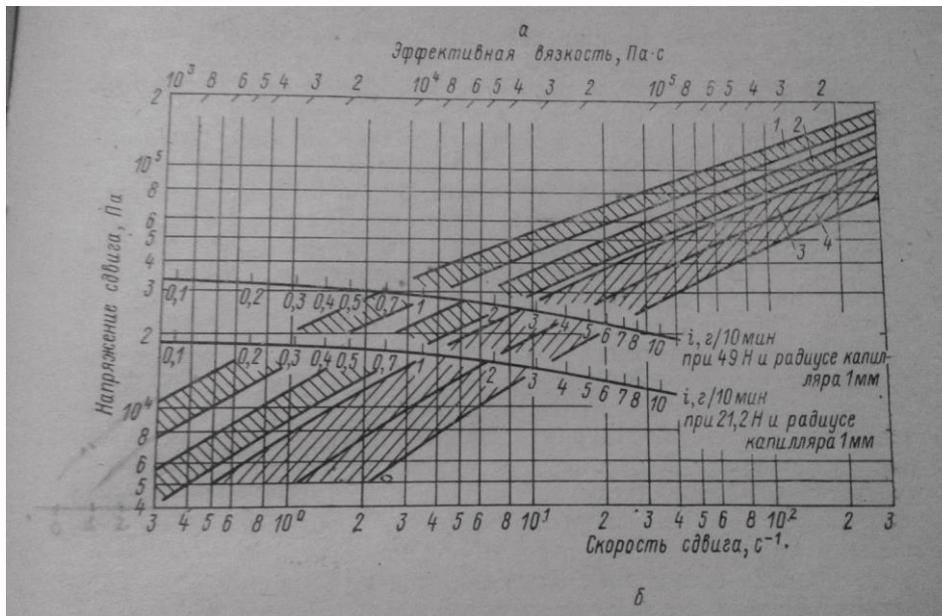
По графику зависимости вязкости от средней скорости сдвига[3] определим вязкость для каждой зоны экструдера:

$$\mu_{\text{эк}} = 3.3 * 10^5 \text{ Па} * \text{с} = 33650 \text{ кгс} * \text{с} / \text{м}^2;$$

$$\mu_{\text{эз}} = 2.5 * 10^6 \text{ Па} * \text{с} = 764767 \text{ кгс} * \text{с} / \text{м}^2;$$

$$\mu_{\text{эг1}} = 0,1 * 10^4 \text{ Па} * \text{с} = 102 \text{ кгс} * \text{с} / \text{м}^2;$$

$$\mu_{\text{эг2}} = 0,5 * 10^4 \text{ Па} * \text{с} = 509 \text{ кгс} * \text{с} / \text{м}^2;$$



$$Q_{\text{теор1}} = \frac{4690.4 * 0.0134}{0.0134 + 0.144 * \frac{33650}{764787} + 0.00113 * \frac{102}{764787}} * 0,47 = 1.47 \text{ см}^3 / \text{с};$$

$$Q_{\text{теор2}} = \frac{4690.4 * 0.0134}{0.0134 + 0.144 * \frac{33650}{764787} + 0.00113 * \frac{509}{764787}} * 0,47 = 1.497 \text{ см}^3 / \text{с};$$

Оценим величину перепада давления:

$$\Delta P = Q * \sum_{i=1}^n \frac{\mu_{\text{э}i}}{K_i};$$

$$\Delta P_1 = 0.383 * 10^{-6} * \frac{33650 + 764787 + 102}{0.0143 * 10^{-9} + 0.25 * 10^{-9}} = 0.12 * 10^9 \text{ Па};$$

$$\Delta P_2 = 0.47 * 10^{-6} * \frac{33650 + 764787 + 509}{0.0143 * 10^{-9} + 0.25 * 10^{-9}} = 0.15 * 10^9 \text{ Па};$$

Представим графически характеристики червяка и головки в координатах  $Q - \Delta P$ :

$$Q_{\text{ч}} = \alpha * n - \beta * \frac{\Delta P}{\mu_{\text{эф.к}}} - \gamma * \frac{\Delta P}{\mu_{\text{эф.з}}};$$

$$Q_{\text{ч1}} = 4.69 * 10^{-6} * 0.47 - 0.144 * 10^{-9} * \frac{0.12 * 10^9}{33650} - 0.00113 * 10^{-9} * \frac{0.12 * 10^9}{764767} = 16.9 * 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{\text{ч2}} = 4.69 * 10^{-6} * 0.47 - 0.144 * 10^{-9} * \frac{0.15 * 10^9}{33650} - 0.00113 * 10^{-9} * \frac{0.15 * 10^9}{764767} = 15.6 * 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{\text{г}} = K * \frac{\Delta P}{\mu_{\text{эф.г}}};$$

$$Q_{\text{г1}} = 0.0134 * 10^{-9} * \frac{0.12 * 10^9}{102} = 157.6 * 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{\text{г2}} = 0.0134 * 10^{-9} * \frac{0.15 * 10^9}{509} = 39,5 * 10^{-7} \text{ м}^3/\text{с};$$

Выводы: приобрели практические навыки работы на лабораторном экструдере, научились определять основные параметры процесс экструзии и установили взаимосвязь между ними. Мы получили  $Q_{\text{теор1}} = 1.47 \text{ см}^3/\text{с}$  и  $Q_{\text{теор2}} = 1.497 \text{ см}^3/\text{с}$  и  $Q_{\text{эксп1}} = 0.383 \text{ см}^3/\text{с}$  и  $Q_{\text{эксп2}} = 0.47 \text{ см}^3/\text{с}$ . Нашли рабочую точку экструдера с координатами.

Список использованных источников:

1. Современные методы переработки полимерных материалов. Экструзия. Литье под давлением: учеб. Пособие / Ю.Т. Панов, Л.А. Чижова, Е.В. Ермолаева; Владим. гос. ун-т имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых. - Владимир: Изд-во ВЛГУ, 2013. - 128с.
2. Технология литья [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.Г. Кузнецов, Ф.А. Гарифуллин, Г.С. Дьяконов. - Казань: Издательство КНИТУ, - 2012.
3. Принципы управления качеством полимерной продукции [Электронный ресурс] / Садова А.Н. - М. : КолосС, - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений) - 2009.