

Т. В. Ларина

СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Новосибирск
СГУГиТ
2021

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

Т. В. Ларина

СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве практикума для обучающихся по направлению подготовки
12.03.01 Приборостроение (уровень бакалавриата)

Новосибирск
СГУГиТ
2021

УДК 620.2
Л251

Рецензенты: зам. начальника цеха № 14 АО «Новосибирский приборостроительный завод» *С. А. Черкасов*

кандидат технических наук, доцент СГУГиТ *И. Н. Карманов*

Ларина, Т. В.

Л251 Современныe материалы в приборостроении [Текст] : практикум / Т. В. Ларина. – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – 37 с.
ISBN 978-5-907320-98-7

Практикум подготовлен старшим преподавателем Т. В. Лариной на кафедре фотоники и приборостроения СГУГиТ.

В практикуме представлены практические работы для изучения обучающимися дисциплины «Современные материалы в приборостроении».

Практикум по дисциплине «Современные материалы в приборостроении» предназначен для обучающихся по направлению подготовки 12.03.01 Приборостроение (уровень бакалавриата).

Рекомендован к изданию кафедрой фотоники и приборостроения, Ученым советом Института оптики и технологий информационной безопасности СГУГиТ.

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

УДК 620.2

ISBN 978-5-907320-98-7

© СГУГиТ, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Практическая работа № 1. Структура и свойства конструкционных легированных сталей.....	5
Практическая работа № 2. Структура и свойства пластмасс.....	10
Практическая работа № 3. Определение плотности полимеров	14
Практическая работа № 4. Определение водопоглощения полимерного материала	17
Практическая работа № 5. Определение гранулометрического состава, сыпучести и насыпной плотности полуфабрикатов полимерных материалов.....	22
Практическая работа № 6. Конструирование и исследование свойств пространственно-армированных композиционных материалов с углеродной матрицей	29
Заключение	35
Библиографический список.....	36

ВВЕДЕНИЕ

Для рационального использования современных материалов от инженеров требуются знания и владение вопросами в области применения современных материалов в приборостроении. Это дает возможность правильно использовать и применять на практике знания и навыки, полученные на теоретических занятиях.

Данный практикум по современным материалам в приборостроении поможет обучающимся использовать полученные практические знания по дисциплине «Современные материалы в приборостроении». Обучающиеся изучат строение и свойства металлов и неметаллов, их поведение в процессе обработки и практическое применение.

Темы практических работ соответствуют всем разделам рабочей программы «Современные материалы в приборостроении» Государственного образовательного стандарта для всех направлений подготовки дипломированных специалистов.

Практикум дает возможность самостоятельной подготовки для выполнения практических работ. В описание каждой практической работы включены краткие теоретические сведения, достаточные для того, чтобы обучающийся усвоил сущность предстоящей работы. Также приведены порядок выполнения работы и контрольные вопросы к ее защите. Практикум включает в себя шесть практических работ.

Работы выполняются письменно и после исправлений отмеченных преподавателем ошибок подлежат устной защите.

Практическая работа № 1

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Цель работы: ознакомиться с маркировкой, классификацией, структурой и свойствами конструкционных легированных сталей.

Общие теоретические сведения

Легированными называются такие стали, в которых, помимо углерода и обычных примесей (кремния, марганца, фосфора и серы), содержатся специальные, так называемые легирующие элементы: хром, никель, вольфрам, молибден и другие. Свои названия легированные стали получают по названию содержащегося в стали легирующего элемента: если в стали есть хром, то сталь называется хромистой, если есть никель, то никелевой, если хром и никель, то такая сталь называется хромоникелевой и т. д.

Легированные стали по назначению подразделяются на конструкционные легированные стали, инструментальные легированные и легированные стали с особыми физическими и химическими свойствами.

Конструкционные легированные стали обладают более высокой прочностью, упругостью и вязкостью, чем конструкционные углеродистые стали. Поэтому ответственные части машин делают из легированных конструкционных сталей (рис. 1.1).

Легированные инструментальные стали применяются в следующих случаях:

- 1) когда требуется прокаливаемость более глубокая, нежели та, которую может дать углеродистая сталь;
- 2) когда требуется, чтобы режущий инструмент давал при термической обработке минимальное коробление; это особенно важно при изготовлении длинных сверл, длинных метчиков и другого длинного стержневого инструмента;

3) когда режущий инструмент предназначен для обработки очень твердых материалов (например, для обработки чугуновых валков с закаленной поверхностью);

4) когда от режущего инструмента требуется высокое сопротивление отпуску.

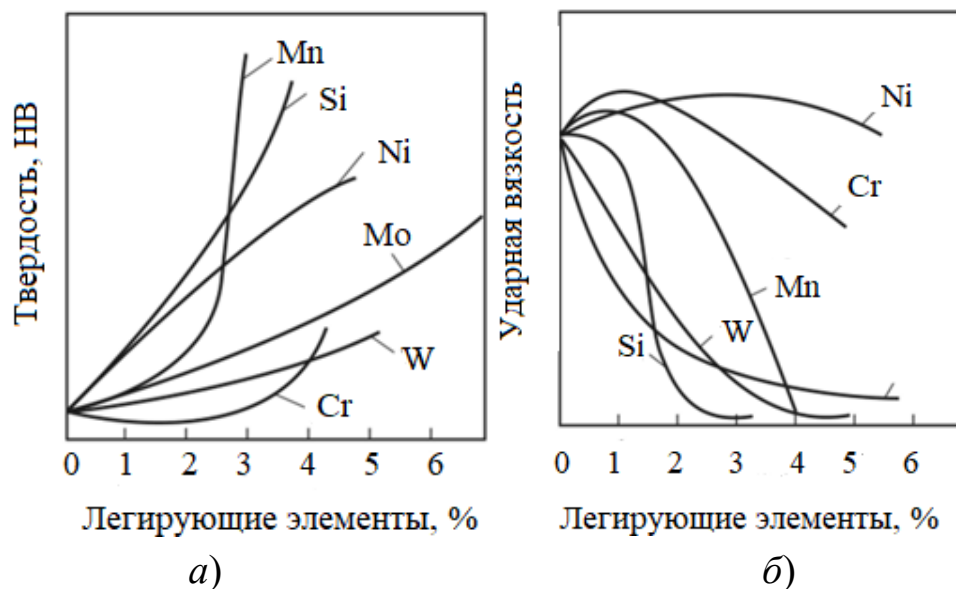


Рис. 1.1. Изменение механических свойств легированных сталей:

а) твердость; б) ударная вязкость

Легированные стали с особыми физическими и химическими свойствами обладают многими свойствами, которых нет у обычных углеродистых сталей.

Нержавеющие стали очень хорошо сопротивляются действию воздуха и влаги, медленно окисляются и ржавеют по сравнению с углеродистыми сталями. Кислотоупорные стали так же, как и нержавеющие, не окисляются, т. е. не ржавеют под действием влаги и, кроме того, не разъедаются многими кислотами и другими химическими веществами. Жаропрочные стали – это высоколегированные стали, обладающие высокой прочностью не только при нормальных, но и при повышенных температурах. Окалиноустойчивая сталь – это сталь, не окисляющаяся при высоких температурах (до 1 100–1 200 °). Из данных сталей изготавливаются части печей (например, подовые плиты, муфели и др.).

Структуры большинства легированных сталей не сильно отличаются от структуры углеродистых сталей. Конструкционные легированные стали после отжига состоят из зерен перлита и зерен феррита. Но эти зерна феррита по своему внутреннему строению несколько отличаются от зерен феррита в углеродистых сталях. Например, в никелевой стали зерна феррита состоят из атомов железа и атомов никеля. Таким образом, атомы легирующих элементов входят в состав зерен феррита. Поэтому легированные стали более прочны и тверды: атомы легирующих элементов упрочняют зерна феррита.

Структура инструментальных легированных сталей состоит из зерен перлита и цементита. А в структуре хромистой инструментальной стали, помимо зерен перлита, находятся зерна сложных карбидов хрома и железа, т. е. химических соединений хрома и железа с углеродом.

Высоколегированные стали, содержащие большое количество легирующих элементов, имеют еще более сложную структуру (рис. 1.2).

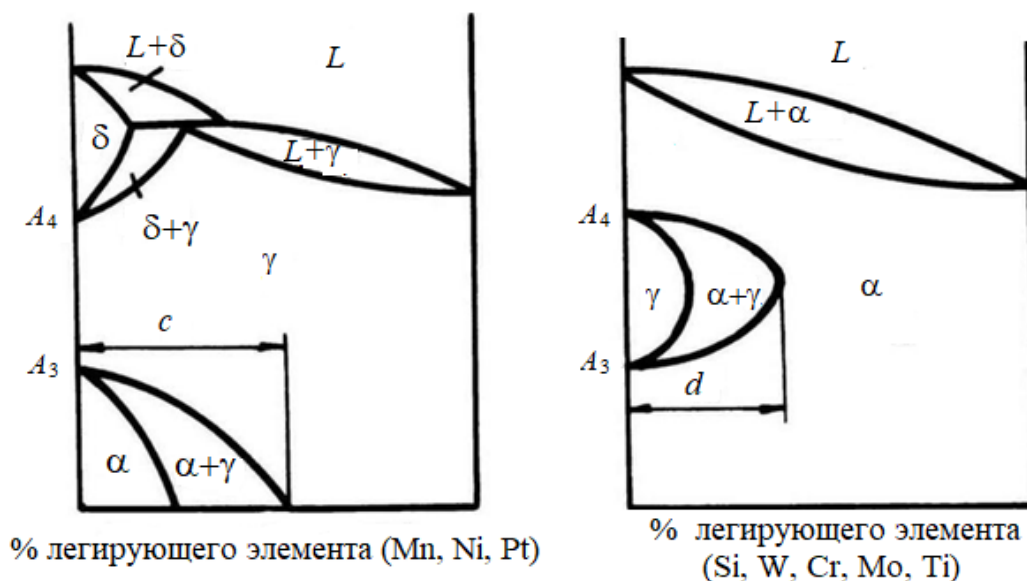


Рис. 1.2. Примеры диаграмм состояния Fe-легирующий элемент с различными элементами

При высоком содержании легирующих элементов сталь может претерпевать мартенситное превращение даже при охлаждении на воздухе (нормализации). Такую сталь относят к мартенситному классу. Все легирующие

элементы, за исключением Co, Al и Si, снижают температуры начала (M_H) и конца (M_K) мартенситного превращения, способствуя сохранению остаточного аустенита при закалке. Наличие остаточного аустенита в конструкционных сталях общего назначения нежелательно. Остаточный аустенит снижает твердость закаленной стали и, являясь нестабильной фазой, способной к превращению в условиях эксплуатации, вызывает изменение размеров изделий [1–5].

Легированные стали по структуре после нормализации подразделяют на пять классов: ферритный, перлитный, мартенситный, аустенитный и ледебуритный (рис. 1.3).

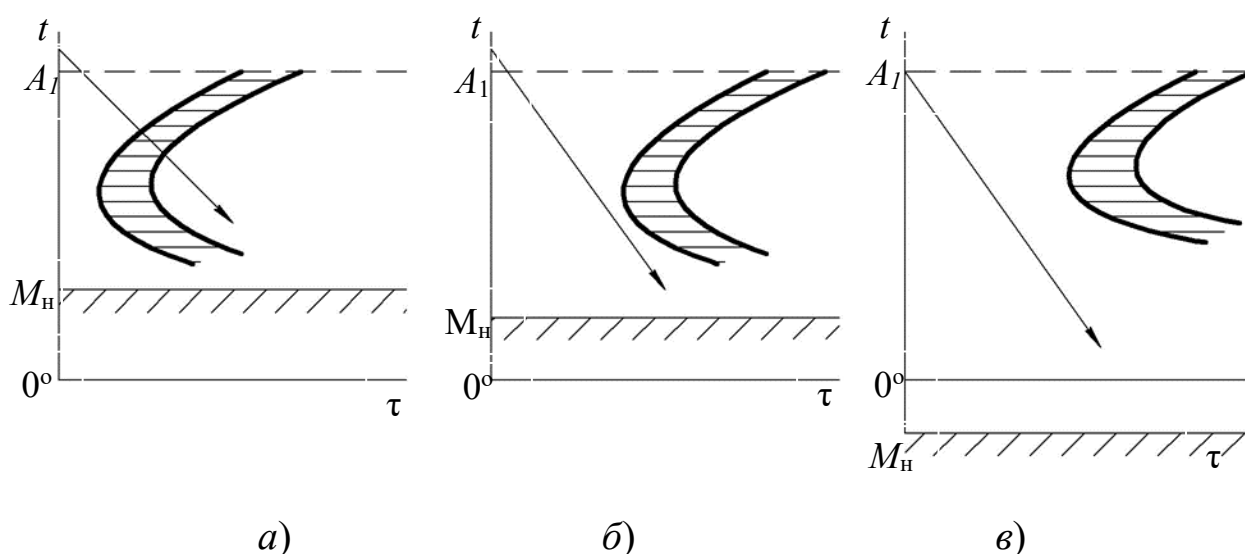


Рис. 1.3. Диаграммы изотермического распада аустенита для сталей перлитного (а), мартенситного (б) и аустенитного (в) классов

Порядок выполнения работы

Каждый обучающийся получает коллекцию микрошлифов легированных сталей. В работе необходимо выполнить следующее.

1. Изучить под микроскопом образцы легированных сталей (образцы выдаются преподавателем).
2. Схематично зарисовать микроструктуру каждого микрошлифа.
3. Определить структурный класс стали.
4. Указать структурные составляющие.

5. Заполнить табл. 1.1.

6. Сделать вывод о влиянии легирующих элементов на структуру стали.

Таблица 1.1

Состав и свойства легированных сталей

Марка стали	Химический состав	Структурный класс	Схема микроструктуры	Фазовый состав

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Указать для каждой легированной стали ее марку, химический состав и схему микроструктуры.
4. Вывод.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение ферритным сталям и приведите примеры сталей данного класса.
2. Дайте определение перлитным сталям и приведите примеры сталей данного класса.
3. Дайте определение мартенситным сталям и приведите примеры сталей данного класса.
4. Дайте определение аустенитным сталям и приведите примеры сталей данного класса.
5. Приведите примеры сталей ферритного, перлитного, мартенситного, аустенитного, карбидного классов.

Практическая работа № 2 СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПЛАСТМАСС

Цель работы: познакомиться с коллекцией пластмасс, определить их название по внешнему виду, характеру горения и запаху при горении.

Общие теоретические сведения

Пластмассы – это материалы, получаемые на основе полимеров, – естественных или искусственных органических смол, обладающих большим молекулярным весом.

Пластмассы разделяют на жесткие, имеющие незначительное относительное удлинение и называемые пластиками, и мягкие, обладающие большим относительным удлинением и малой упругостью и называемые эластичными. В зависимости от формы макромолекулы, полимерные соединения подразделяются на линейные, разветвленные и сетчатые (рис. 2.1).

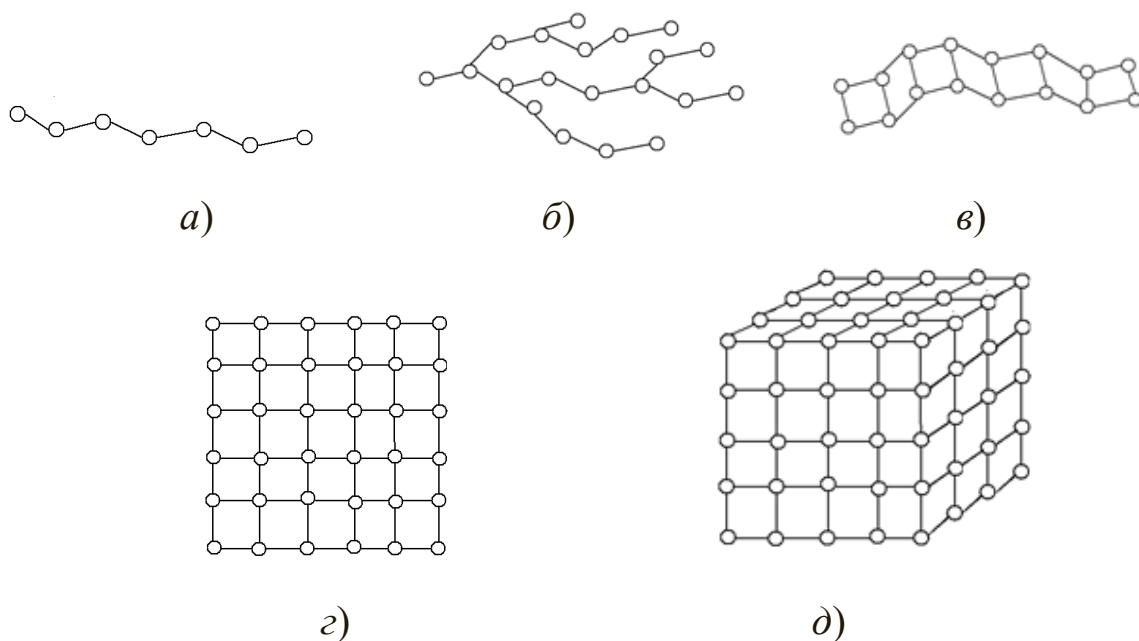


Рис. 2.1. Типы полимерных структур:
а) линейная; б) линейно-разветвленная;
в) лестничная (ленточная); г) плоская; д) пространственная

В состав большинства пластмасс, кроме полимеров, входят наполнители, отвердители, красители, пластификаторы и смазывающие вещества, придающие пластмассам нужные свойства. Из добавочных веществ наиболее важными являются наполнители и красители. Полиэтилен, полистирол, полипропилен, поливинилхлорид состоят из одних полимеров.

Наполнители – волокнистые или порошкообразные инертные вещества (порошкообразное стекло, стекловолокно, асбест, металлические порошки и стружки, гипс, тальк, графит, сажа, мел, бумага и др.), улучшающие механические свойства и снижающие стоимость пластмасс.

Красители (окиси хрома и цинка, алюминиевая пудра, белила, сурик, охра, сажа и др.) вводят в пластмассы, чтобы придать им красивый внешний вид, изменить теплопоглощение или теплоизлучение, повысить химическую стойкость.

По свойствам различают термореактивные (реактопласты) и термопластичные (термопласты) пластмассы.

Реактопласты необратимы. При нагревании и одновременном давлении переходят в нерастворимое и неплавкое состояние. Наиболее распространены реактопласты, текстолит, асботекстолит, гетинакс, декоративный пластик, эпоксипласты, стеклопластики, древеснослоистые пластики, синтетические клеи, пенопласты, поропласты, фенопласты, аминопласты, мастики и др. Термопласты обратимы. При каждом нагревании приобретают пластичность, а при охлаждении становятся твердыми. К ним относят фторопласт, органическое стекло, винипласт, капрон, полиэтилен, этрол, полистирол, целлофан и др.

Порядок выполнения работы

1. Обучающийся получает коллекцию образцов из пластмассы.
2. Пользуется специальной справочной таблицей (табл. 2.1).
3. Установить вид пластмассы по внешнему признаку.
4. Образцы вносятся в пламя горелки и обучающиеся, наблюдая за характером горения, видом пластмасс, запахом при горении определяют тип пластмасс.
5. Результаты испытания заносятся в таблицу (табл. 2.2).

Таблица 2.1

Определение пластмасс по внешним признакам

Характер горения		Вид пламени		Запах при горении	Наименование пластмасс	
Загорается с большим трудом	меняет форму	очень слабое		–	фторопласты	
	не меняет форму	очень слабое	обугливание	дегтярного фенола	фенолформальдегид	
			белый налет	паленого волоса	мочевинформальдегид	
			обугливание	сильный рыбный	мелананформальдегид	
Загорается, но при удалении пламени, гаснет		зеленоватое у места горения		резкий хлора	поливинилхлорид	
		светящееся		фенольный	эпоксидная смола	
Хорошо горит и при удалении из пламени		сильно коптящее		цвета черемухи	полистирол	
		взрывоподобное белое		камфары	целлулоид	
		спокойное горение	голубоватое у места горения с белой или желтой вершиной	жженого рога		полиамиды
				острый		полиуретан
				свечи		полиэтилен
				сильный фруктовый		полиакрилат
				сладковатый		полиэфир
				прогоркого масла		поливинилбутироль

Таблица 2.2

Результаты испытания

№ образца	Наименование материала	Вид пламени	Запах при горении	Удельная ударная вязкость
1				
2				
3				

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Результаты испытаний (см. табл. 2.2).
4. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие пластмассы называются термопластическими?
2. Какие пластмассы называются терморезистивными?
3. Какие из предлагаемых пластмасс относятся к термопластам?
4. Какими свойствами обладают пластмассы?
5. По каким признакам можно определить полиэтилен?

Практическая работа № 3 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОЛИМЕРОВ

Цель работы: используя метод обмера и взвешивания определить плотность полимера.

Общие теоретические сведения

Плотность – скалярная физическая величина, определяемая как отношение массы тела к занимаемому этим телом объему.

Плотность – это физическое свойство характеризующее физическое состояние материала (пористость, влажность) и отношение материала к различным физическим процессам (поглощению воды при погружении в нее материала, поглощению влаги из воздуха, фильтрации воды, передаче тепла).

Наиболее распространенным методом определения плотности является метод обмера и взвешивания. Метод заключается в определении плотности вещества по отношению массы образца к его объему. Исследуемый образец при данном методе непосредственно взвешивается и обмеряется. [5]. Плотность материала вычисляют по формуле

$$\rho = m / V, \quad (3.1)$$

где ρ – плотность материала, г/см³;

m – масса образца, г;

V – объем образца, см³.

В зависимости от степени уплотнения частиц материала различают истинную, среднюю, среднюю насыпную (насыпную) и относительную плотности.

Истинная плотность – когда в единице объема масса материала находится в абсолютно плотном состоянии (без пор и пустот), а средняя плотность, или просто плотность – это масса материала в единице объема находится в естественном состоянии, т. е. с порами и пустотами. Другой случай, когда многие полимерные материалы применяют в виде зерновой смеси. Плотность такой смеси называют насыпной, или средней насыпной плот-

ностью. Она характеризуется величиной массы материала, заполняющей единицу объема, которая находится в насыпном состоянии (в насыпной объем включены межзерновые пустоты).

Средняя и насыпная плотности большинства материалов обычно меньше их истинной плотности. Отдельные материалы, такие как сталь, стекло, битум, а также жидкие материалы имеют практически одинаковые истинную и среднюю плотности. Относительная плотность – отношение средней плотности материала к плотности стандартного вещества. За стандартное вещество принята вода при температуре 4 °С, имеющая плотность 1 000 кг/м³.

Порядок выполнения работы

Практическая работа выполняется подгруппами по 2–5 человек. Каждая подгруппа получает свой тип полимерного материала (на усмотрение преподавателя возможно увеличение до 2–3 типов), плотность которого необходимо определить. Метод обмера и взвешивания.

1. Определить массу образца на аналитических весах.
2. Измерить геометрические размеры образца и определить его объем.
3. Рассчитать плотность образца по формуле (3.1).
4. Записать данные и получить результат в таблицу (табл. 3.1).
5. Испытание провести три раза и найти среднее арифметическое значение из результатов трех измерений.

Таблица 3.1

Результаты определения плотности методом обмера и взвешивания

Образец (материал)	Масса образца m , г	Объем образца V , см ³	Расчетная плотность материала $\rho_{рас}$, г/см ³	Плотность материала (справочная) $\rho_{спр}$, г/см ³

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.

3. Краткие теоретические сведения.
4. Результаты измерений и расчетов.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое плотность материала?
2. Дайте характеристику истинной плотности материала.
3. Дайте определение средней плотности материала.
4. Как определяется насыпная плотность материала?
5. Дайте характеристику общей, открытой и закрытой пористости материала.

Практическая работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПОГЛОЩЕНИЯ ПОЛИМЕРНОГО МАТЕРИАЛА

Цель работы: определение водопоглощения полимерного материала.

Общие теоретические сведения

Водопоглощение – это способность материала впитывать и удерживать в своих порах воду. Оно является важным свойством полимерных материалов.

Два свойства полимерных материалов – водопоглощение и пористость – тесно связаны друг с другом. При уменьшении пористости уменьшается и водопоглощение. Способность материала впитывать и удерживать в своих порах воду отрицательно влияет на свойства полимерных материалов. Материал набухает, его теплопроводность возрастает, прочность и морозостойкость снижается [5].

Обычно процесс поглощения влаги полимером начинается с набухания и сопровождается увеличением объема и потерей механических и диэлектрических свойств. Вначале, когда молекулы воды, проникая в полимеры, заполняют пустоты и поры, процесс набухания не вызывает значительного изменения общего объема и свойств. По мере развития процесса начинают разрушаться более слабые межмолекулярные связи, а затем разрушаются химические связи.

При невысоких температурах и небольшом времени контакта воды с полимером набухание имеет ограниченный характер и распространяется на небольшую глубину. Однако это тоже приведет к некоторому изменению физико-механических свойств.

Влияние контакта полимерного материала с водой будет связываться в большей степени на свойствах, обусловленных состоянием поверхности материала, а именно на твердости, сопротивлении изгибу и удельном поверхностном электрическом сопротивлении, измерение которого позволяет точнее определить изменение стабильности полимеров.

Для определения водопоглощения будут использоваться два метода определения: в воде комнатной температуры и кипящей воде.

Порядок выполнения работы

Работа выполняется подгруппами по 2–5 человек. Каждая подгруппа получает свой тип полимера (акрил, ПЭТ, ПВХ, ПП, пенопласт) в виде двух одинаковых образцов.

1. Определение водопоглощения в воде комнатной температуры.

Для определения водопоглощения в воде комнатной температуры необходимо выполнить следующие операции:

1.1. Измерить геометрические размеры образцов и определить для каждого площадь поверхности.

1.2. Взвесить каждый образец и зафиксировать данные.

1.3. Погрузить образцы в воду.

1.4. Выдержать при температуре 23 ± 2 °С в течение 24 ± 1 ч.

1.5. Извлечь из воды и вытереть образцы сухой и чистой тканью или фильтрованной бумагой не более, чем через 1 мин.

1.6. Взвесить образцы и зафиксировать данные.

1.7. Обработать полученные результаты.

2. Определение водопоглощения в кипящей воде.

Для определения водопоглощения в кипящей воде необходимо выполнить следующие операции.

2.1. Измерить геометрические размеры образцов и определить для каждого площадь поверхности.

2.2. Взвесить каждый образец и зафиксировать данные.

2.3. Набрать в термостойкий сосуд воды.

2.4. Поставить плитку под вытяжку.

2.5. Поставить сосуд на плитку и включить нагрев.

2.6. Погрузить образцы в кипящую воду и выдержать в ней 30 мин.

2.7. Извлечь с помощью тигельных щипцов образцы из сосуда и вытереть их с помощью сухой и чистой ткани или фильтрованной бумаги не более, чем через 1 мин.

2.8. Взвесить образцы и зафиксировать данные.

2.9. Обработать полученные результаты.

3. Результаты измерений.

Результаты измерений представить в таблицу (табл. 4.1).

Таблица 4.1

Результаты измерений

Тип воды	Площадь поверхности образца A , мм ²	Масса образца до погружения в воду, m_1 , г	Масса образца после погружения в воду, m_2 , г	Масса воды, поглощенной образцом на единицу поверхности, X_2 , г	Массовая доля, поглощенной образцом воды X_3 , %
ПЭТ					
Комнатная					
Кипящая					
Акрил черный					
Комнатная					
Кипящая					
Акрил белый					
Комнатная					
Кипящая					
ПВХ					
Комнатная					
Кипящая					
ПП					
Комнатная					
Кипящая					
Пенопласт					
Комнатная					
Кипящая					

4. Обработка результатов измерений.

Массу воды, поглощённой исследуемыми образцами, вычислить по формуле

$$X_1 = m_2 - m_1, \quad (4.1)$$

где X_1 – масса воды, поглощённая исследуемыми образцами, г;

m_2 – масса образца после извлечения из воды, г;

m_1 – масса образца перед погружением в воду, г.

Массу воды, поглощенной образцом на единицу поверхности, вычислить по формуле

$$X_2 = \frac{X_1}{A} = \frac{(m_2 - m_1)}{A}, \quad (4.2)$$

где X_2 – масса воды, поглощённая образцом на единицу поверхности, г;
 A – площадь поверхности образца, мм².

Массовую долю воды, поглощенной образцом, в процентах найти по формуле (4.3).

$$X_3 = \frac{X_1}{m_1} \cdot 100 \% = \frac{(m_2 - m_1)}{m_1} \cdot 100 \%, \quad (4.3)$$

где X_3 – масса воды, поглощённая образцом, в процентах.

5. Анализ результатов измерений.

5.1. Занести данные в таблицу (табл. 4.2).

5.2. Проанализировать полученные результаты водопоглощения в горячей и воде комнатной температуры для различных полимеров.

5.3. Сравнить полученные результаты со справочными данными.

Таблица 4.2

Результаты измерений

Тип полимера	Водопоглощение в воде комнатной температуры, %	Водопоглощение в кипящей воде, %	
	измеренный результат	измеренный результат	справочное данное
Акрил (полиакрилат)			0,1...0,5
ПЭТ(полиэтиленрефталат)			0,3
ПВХ (поливинилхлорид)			0,0...0,1
ПП (полипропилен)			0,01...0,03
Пенопласт (пенополистирол)			0,4...3,0

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.

3. Краткие теоретические сведения.
4. Таблица с результатами измерений.
5. Обработка результатов опытных данных.
6. Сравнительная таблица полученных результатов со справочными данными
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Укажите отличие водопоглощения от влажности.
2. Почему скорость водопоглощения в холодной и кипящей воде разная?
3. Как определить водопоглощение по массе?
4. Как определить водопоглощение по объему?

Практическая работа № 5
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА,
СЫПУЧЕСТИ И НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ
ПОЛУФАБРИКАТОВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Цель работы: определение гранулометрического состава, сыпучести и насыпной плотности полимерных материалов.

Общие теоретические сведения

Степень дисперсности и однородности (гранулометрический состав) полимерных материалов характеризуется наличием частиц разных размеров. Величина частиц, гранулированных и порошкообразных материалов измеряется в миллиметрах или микронах. Степень дисперсности выражается в процентах и показывает наличие частиц определенного размера в данном количестве порошка. Однородность порошка (по крупности частиц) характеризуется разницей размеров отдельных частиц [5].

В стандартах на полимерные материалы обычно указываются номера сит, которые следует использовать при дисперсионном анализе, и остаток на каждом сите. Например, в соответствии с ГОСТ 9359–80 аминопласты должны иметь следующий состав: остаток на сите № 018 не более 5 %, а на сите № 0355 остатка не должно быть.

Сыпучестью называют способность материала равномерно стекать через отверстие в стенке сосуда. Сыпучесть чаще всего характеризуется временем (в секундах), необходимым для опорожнения металлической воронки с цилиндрическим отверстием определенных размеров, или скоростью (в килограмм на секунду) вытекания материала из воронки. На сыпучие свойства полимеров существенное влияние оказывают межчастичное взаимодействие (внутреннее трение), влажность материала, плотность, гранулометрический состав и другие факторы.

С увеличением размера частиц сыпучесть порошкообразного или гранулированного материала возрастает, однако лишь до определенного раз-

мера частиц (3–3,5 мм), при превышении которого сыпучесть материала начинает ухудшаться.

Насыпную плотность определяют, исходя из массы порошка, заполняющего при свободном насыпании в сосуд с определенным объемом. Насыпная плотность зависит от тонины помола, гранулометрического состава и влажности пресс-материала, а также от технологии его изготовления и продолжительности хранения.

Порядок выполнения работы

1. Определение гранулометрического состава

Ситовой анализ заключается в разделении пробы материала по фракциям путем просева через набор сит с различными ячейками и определении остатка на каждом сите.

Для определения гранулометрического состава требуется выполнить следующие действия.

Отвесить 50 г материала на лабораторных весах ВК300, перенося на чистое, сухое сито, предварительно вставленное в поддон.

Сито закрыть крышкой и просеять при помощи встряхивания. Материал, прошедший через сито, подвергнуть дальнейшему просеву через сито с меньшим размером ячеек.

Фракцию, оставшуюся на сите, высыпать в приемник. Полученное взвесить с точностью до 0,01 г и рассчитать содержание каждой фракции в процентах от общего количества испытуемого материала.

Содержание остатка на сите (ω), выраженное в процентах, вычислить по формуле

$$\omega = \frac{a}{a_1} \cdot 100 \%, \quad (5.1)$$

где a – количество остатка материала на сите, г;

a_1 – количество взятого для просеивания порошка, г.

Потери не должны превышать 1 %.

Для каждого полимера (полипропилен, полиэтилен КАЗПЭЛЕ, АБС – пластик, полистирол, полиэтилен ПЭНП) испытание провести пять раз

и найти среднеарифметическое значение содержания остатка из результатов пяти измерений.

Записать результаты измерения в таблицу (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Результаты измерений

Полипропилен					
Диаметр ячеек сита, мм	4,0	3,0	2,5	2,0	1,5
Исходное количество материала a_1 , г					–
Остаток материала в сите a , г					–
Содержание остатка ω , %					–
Полиэтилен КАЗПЭЛЕН					
Диаметр ячеек сита, мм	4,0	3,0	2,5	2,0	1,5
Исходное количество материала a_1 , г					–
Остаток материала в сите a , г					–
Содержание остатка ω , %					–
АБС-пластик					
Диаметр ячеек сита, мм	4,0	3,0	2,5	2,0	1,5
Исходное количество материала a_1 , г					
Остаток материала в сите a , г					
Содержание остатка ω , %					
Полистирол					
Диаметр ячеек сита, мм	4,0	3,0	2,5	2,0	1,5
Исходное количество материала a_1 , г					
Остаток материала в сите a , г					
Содержание остатка ω , %					
Полиэтилен ПЭНП					
Диаметр ячеек сита, мм	4,0	3,0	2,5	2,0	1,5
Исходное количество материала a_1 , г					
Остаток материала в сите a , г					
Содержание остатка ω , %					

2. Определение сыпучести

Конусную воронку с отверстием закрепить в металлическом кольце в вертикальном положении, перекрывая нижнее отверстие воронки заслонкой (рис. 5.1). Далее на весах ВМ512М взвесить тару. Затем в тару насыпать (150 ± 1) г испытуемого материала и высыпать его в воронку.

Во избежание уплотнения пробу засыпать по стенкам воронки. Открыть нижнее отверстие воронки и одновременно включить механический секундомер СОПпр-2а-3-000, который остановить, когда вся проба пройдет через воронку.

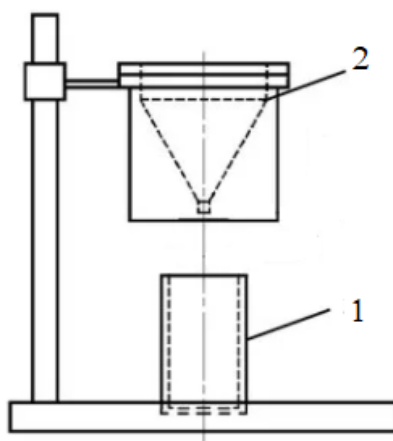


Рис. 5.1. Установка для определения сыпучести материалов:

1 – мерный цилиндр; 2 – воронка

Во время испытания следить за характером течения пробы. Не допускается использование механических приемов инициирования вытекания пробы. Материал свободно должен высыпаться. Необходимо засечь время прохождения полимера через воронку (рис. 5.2).



Рис. 5.2. Прохождение полимера через воронку

Испытание провести 5 раз и найти среднее арифметическое значение сыпучести (см. формулу (5.2)) из результатов пяти измерений. Отклонение от среднего арифметического не должно превышать ± 1 с. Если время высыпания увеличивается от опыта к опыту, то сыпучесть характеризуют первым результатом.

3. Определение насыпной плотности

На весах ВК300 взвесить измерительный цилиндр с погрешностью не более 0,1 г. Воронку, закрепленную на штативе, установить вертикально и следить за тем, чтобы расстояние между нижним отверстием воронки и измерительным цилиндром было $a = 20 - 30$ мм (рис. 5.3) и было соосно с ним.

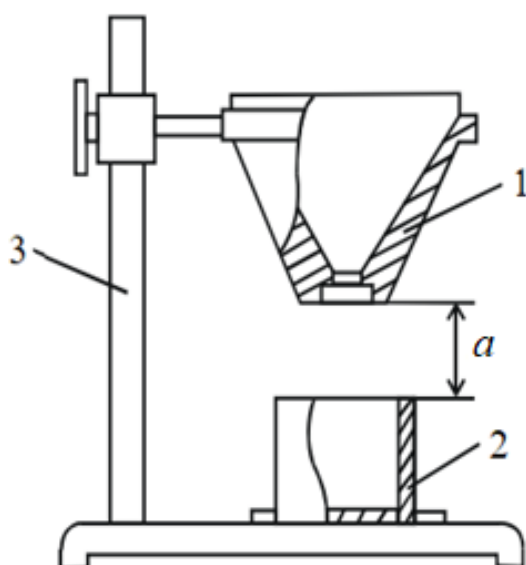


Рис. 5.3. Установка для определения насыпной плотности материалов, просыпаемых через воронку:

1 – воронка; 2 – стакан; 3 – штатив; a – расстояние между нижним отверстием воронки и измерительным цилиндром

Затем при закрытом нижнем отверстии засыпать в воронку от 110 до 120 см³ исследуемого полимера. Открыть нижнее отверстие воронки и дать полимеру просыпаться в измерительный цилиндр.

После заполнения сосуда полимером для удаления излишка провести шпателем, затем на лабораторных весах ВК300 взвесить сосуд, наполненный полимером с погрешностью не более 0,1 г.

Обработка экспериментальных данных

1. Определение гранулометрического состава.

1.1. Определить, сколько материала осталось на сите, отмечая его номер.

1.2. Сделать выводы о размере частиц (L , мм).

2. Определение сыпучести. Сыпучесть определяется по формуле

$$C = \frac{m}{t}, \quad (5.2)$$

где C – сыпучесть материала, г/с;

m – масса навески полуфабриката материала, г;

t – время высыпания навески через отверстие воронки, с.

Результаты измерений занести в таблицу (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Результаты измерений

№ измерения	Полипропилен $m = 150$ г		Полиэтилен ПЭНП $m = 150$ г		Полиэтилен КАЗПЭЛЕН $m = 150$ г		АБС-пластик $m = 150$ г		Полистирол $m = 150$ г	
	t , с	C , г/с	t , с	C , г/с	t , с	C , г/с	t , с	C , г/с	t , с	C , г/с
1										
2										
3										
4										

6. Определение насыпной плотности. Насыпная плотность x , г/см³, вычисляется по формуле

$$x = \frac{(m_1 - m_2)}{V} = \frac{(m_1 - m_2)}{S \cdot h}, \quad (5.3)$$

где m_1 – масса измерительного цилиндра, заполненного материалом, г;

m_2 – масса пустого измерительного цилиндра, г;

S – площадь внутреннего сечения измерительного цилиндра, см²;

h – высота слоя материала в измерительном цилиндре, см.

Для каждого полимера испытание провести 5 раз и найти среднеарифметическое значение насыпной плотности (см. формулу (5.3)) из результатов пяти измерений. Записать результаты измерения в таблицу (табл. 5.3).

Таблица 5.3

Результаты измерений

Номер испытания	1	2	3	4	5
Масса измерительного цилиндра m_2 , г					
Масса измерительного цилиндра с полимером m_1 , г					
Насыпная плотность ρ , г/см ³					

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Описание предварительной подготовки и проведение экспериментов.
4. Основные расчетные формулы.
5. Обработка результатов опытных данных.
6. Таблицы с результатами измерений.
7. Выводы по работе.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение плотности и сыпучести.
2. Дайте понятие насыпной плотности материала.
3. Приведите формулы определения сыпучести и насыпной плотности.

Практическая работа № 6

КОНСТРУИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПРОСТРАНСТВЕННО-АРМИРОВАННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С УГЛЕРОДНОЙ МАТРИЦЕЙ

Цель работы: изучение свойств пространственно-армированных каркасов композиционных материалов и их конструирование.

Общие теоретические сведения

Композиционные материалы с организованной структурой. В композиционных различают компонент, образующий непрерывную фазу, называемую матрицей и играющую роль связующего, и второй компонент, дискретно распределенный в матрице, – упрочняющий компонент. В роли матрицы в композитах используют полимерные и минеральные вяжущие материалы, в роли упрочняющего компонента – волокнистые (стекловолокно, отрезки металлической проволоки, асбестовое волокно и т. п.) или листовые (бумага, древесный шпон, ткани) материалы.

Матрица, с одной стороны, является формообразующей частью композиционного материала, а с другой, матрица – связующее, которое «заставляет» дискретный компонент работать как единое целое, обеспечивая высокую прочность материала. В композиционных материалах достигается совокупность свойств, которые не являются простой суммой свойств исходных составляющих.

Композиционные материалы с углеродной матрицей имеют две особенности:

- 1) армирующий компонент (волокна) и матрица состоят из одного и того же материала – углерода;
- 2) армирующий компонент, т. е. волокна углерода располагаются во всех возможных направлениях, наблюдается пространственное армирование.

Пространственное армирование резко повышает сопротивление этих материалов к действию нестационарных температурных напряжений на их

прочность. Это пространственно-армированные материалы на основе углеродной матрицы – углерод-углеродные композиционные материалы (УУКМ).

Сущность процесса изготовления композиционных материалов класса углерод-углерод состоит в создании армирующего каркаса, введении в каркас матрицы с последующим уплотнением, карбонизацией и графитизацией. Первый технологический этап включает выбор схемы армирования и создания армирующего каркаса. Для получения высоких механических свойств композиционного материала применяют высокопрочные и высокомодульные волокна из графитовых нитей.

УУКМ обладает целым рядом ценных, часто уникальных свойств:

1) чрезвычайно высокой теплостойкостью (в инертной среде они сохраняют свои высокие удельные физико-механические свойства вплоть до 2 500 К и работают при повышенных температурах);

2) хорошей стойкостью к термоудару (как тугоплавкие материалы);

3) низкими значениями температурного коэффициента расширения и теплостойкости;

4) высокой стойкостью к химическим реагентам (это свойство делает их весьма перспективными для использования в конструкциях химического машиностроения, атомной энергетике и др.).

Свойства углерод-углеродных композиционных материалов, как и других волокнистых композитов, принципиально зависят от расположения (ориентации) волокнистых армирующих элементов (арматуры). Поэтому выбор типа и схемы армирования является одним из основных при разработке деталей различного назначения.

Наиболее перспективным видом армирования углерод-углеродных композитов конструкционного назначения является многонаправленное, пространственное армирование, когда армирующие компоненты располагаются в трех, четырех и более направлениях. Такие образования называют пространственными армирующими структурами (ПАС), а составляющие их компоненты – элементами пространственных армирующих структур (ЭПАС).

Самая простая ПАС – ортогональная т. е. ориентированная по трем взаимно перпендикулярным направлениям (x , y , z). В случае, когда ЭПАС по

всем направлениям одинаковы по качеству и количеству волокон, 3D-структура хорошо уравновешена, компактна и проста в изготовлении. В сбалансированной 3D-структуре ЭПАС имеют квадратное сечение, расположены по типу квадратной сетки и занимают $3/4$ объема (рис. 6.1).

В данной практической работе роль пучка углеродных волокон выполняют стерженьки из проволоки (меди, нихрома, вольфрама, молибдена, стали) такого же диаметра, что и диаметр пучков. Таким образом, модели из стержней проволочек идеально соответствуют реальным пространственно-армированным структурам композиционных материалов с углеродистой матрицей.

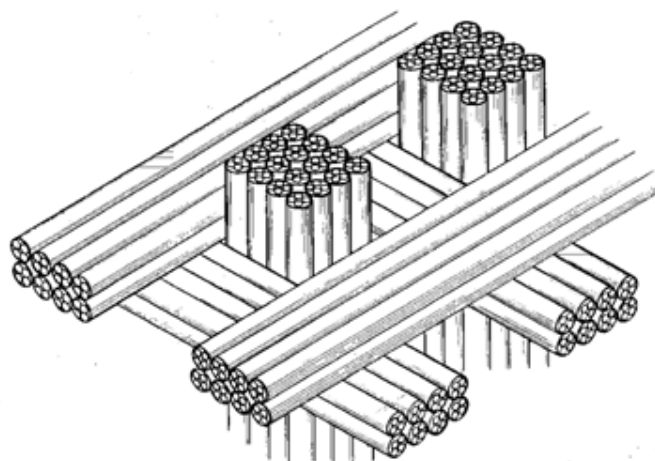


Рис. 6.1. Схема укладки волокон малого диаметра в ортогонально ориентированном направлении

Порядок выполнения работы

1. Собрать модели структуры 3D из стальной проволоки диаметром 1,1 мм. Для упрощения сборки модели следует пользоваться рамкой, представленной на рис. 6.2, а.

Сборка модели ПАС происходит следующим образом:

- отрезать с помощью бокорезов от мотка проволоки 48 отрезков по 30 мм каждый;
- распрямить отрезки с помощью плоскогубцев.

Далее можно воспользоваться одним из способов соединения отрезков проволоки.

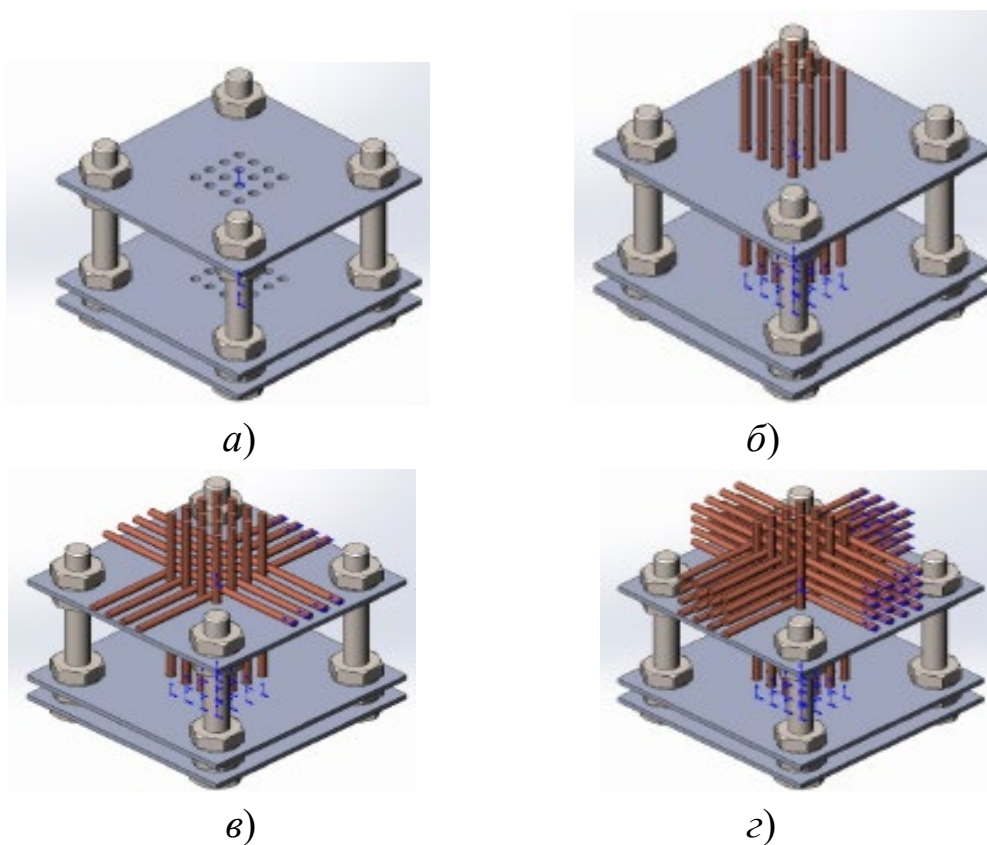


Рис. 6.2. Этапы сборки модели на рамке:
 а) рамка для модели ПАС; б) сборка ПАС (этап 1);
 в) сборка ПАС (этап 2); г) собранная на рамке модель ПАС 3D

Способ 1:

- залудить паяльником каждый отрезок проволоки пользуясь припоем и паяльной кислотой;
- собрать ПАС как показано на рис. 6.2, а;
- прогреть ПАС феном от паяльной станции до тех пор, пока припой, покрывающий отрезки проволоки, не расплавится и не соединит отрезки друг с другом;
- дать остыть собранной ПАС;
- аккуратно извлечь ПАС из рамки (возможно придется разобрать рамку и открутить края отрезков проволоки, не входящие в ПАС).

Способ 2:

- установить вертикальные отрезки проволоки в рамку представленной на рис. 6.2, б;
- положить два слоя горизонтальных отрезков, как показано на рис. 6.2, в;

- спаять края ПАС;
- повторить предыдущие пункты, пока не будет собрана ПАС, соответствующая рис. 6.2, з;

- аккуратно извлечь ПАС из рамки (возможно придется разобрать рамку и откусить края отрезков проволоки, не входящие в ПАС).

2. Определить тонкость модели структуры, т. е. величину размера зерен для обоих вариантов структуры.

3. Определить объем армирующего каркаса, т. е. объем, занимаемый ЭПАС обоих вариантов модели ПАС. Объем армирующего каркаса можно определить следующими методами:

- по общей длине и диаметру проволочек модели;
- по массе (взвесить) ПАС и плотности материала проволочек (стержней);

- по объему вылитой из стакана воды при погружении в него модели ПАС. Для этого определения мензурку со сливным носиком поставить в чашку Петри и до самого верха (до слива) заполняется водой. Затем в стакан с водой опустить модель ПАС. Определить объем вылитой при этом воды.

4. По внешним размерам и форме определить общий объем модели ПАС $V_{\text{общ}}$.

5. Определить долю объема армирующего каркаса в общем объеме модели ПАС и долю объема макропор.

6. Результаты измерений занести в таблицу (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Результаты измерений

Параметр	Величина
Диаметр проволоки d , мм	
Плотность материала ρ , г/см ³	
Длина использованной проволоки l , см	
Масса модели ПАС m_1 , г	
Объем вытесненной воды $V_{\text{вод}}$, см ³	
Объем армирующего каркаса $V_{\text{кар}}$, см ³	
Общий объем модели $V_{\text{общ}}$, см ³	
Общий объем макропор $V_{\text{пор}}$, см ³	
Доля каркаса в общем объеме модели, %	
Пористость	
Масса каркаса m_2 , г	

Содержание отчета

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Краткие теоретические сведения.
4. Результаты измерений и расчетов.
5. Представить преподавателю собранные модели пространственно-армированных структур в соответствии с заданием.
6. Сделать выводы по данной работе.

Контрольные вопросы

1. Какие особенности имеют композиционные материалы с углеродной матрицей?
2. Опишите сущность процесса изготовления композиционных материалов класса углерод-углерод.
3. Назовите основные свойства УУКМ.
4. Перечислите принципиальные схемы расположения волокон в УУКМ (структуры).
5. Назовите методы изготовления ПАС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данный практикум предназначен для изучения дисциплины «Современные материалы в приборостроении». В практикуме рассматриваются структуры и свойства легированных сталей, пластмасс, изучаются основные свойства полимерных материалов, конструирование и исследование свойств пространственно-армированных композиционных материалов с углеродной матрицей.

В результате изучения данного материала обучающиеся приобретут компетенции, которые определяют готовность и способность будущих выпускников к эффективному использованию знаний эксплуатационных и технологических свойств при выборе материала.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Земсков Ю. П. Материаловедение : учеб. пособие. – СПб. : Лань, 2019. – 188 с.
2. Материаловедение и технологии конструкционных материалов / О. А. Масанский, В. С. Казаков, А. М. Токмин и др. – Красноярск : СФУ, 2015. – 268 с.
3. Ларина Т. В. Материаловедение : практикум – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – 58 с.
4. Ларина Т. В. Материаловедение. Технология конструкционных материалов. Строительные материалы : учеб.-метод. пособие. – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – 78 с.
5. Лахтин Ю. М. Основы металловедения : учебник. – М. : НИЦ Инфра-М, 2013. – 272 с.

Учебное издание

Ларина Татьяна Вячеславовна

СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ПРИБОРОСТРОЕНИИ

Редактор *Ю. С. Мерзликина*

Компьютерная верстка *О. И. Голиков*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 23.11.2021. Формат 60 × 84 1/16.

Усл. печ. л. 2,15. Тираж 42 экз. Заказ 165.

Гигиеническое заключение

№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 8.

