

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»
(Самарский университет)

Ю.А. ВАШУКОВ
Т.А. МИТРОШКИНА

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРОИЗВОДСТВА АЭРОКОСМИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Рекомендовано редакционно-издательским советом федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева» в качестве лабораторного практикума для студентов, обучающихся по программе высшего образования укрупненной группы направлений и специальностей 24.00.00 Авиационная и ракетно-космическая техника

САМАРА
Издательство Самарского университета
2016

УДК 629.7(075)
ББК 39.5я7
В 234

Рецензенты: главный химик ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс»
В.В. Христов ,
заведующий кафедрой эксплуатации авиационной техники
д-р техн. наук, проф. А.Н. Коптев .

Вашуков, Юрий Александрович
В 234 Технологические процессы производства аэрокосмических конструкций из композиционных материалов: лабораторный практикум/
Ю.А. Вашуков, Т.А. Митрошкина. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2016. – 76 с.: ил.

ISBN 978-5-7883-1100-5

Работа составлена в соответствии с рабочими программами курсов, связанных с производством композиционных материалов, для студентов и магистрантов институтов авиационной и ракетно-космической техники Самарского университета.

Работа содержит краткие теоретические сведения и указания для выполнения лабораторных работ, контрольные вопросы. Рассматриваются основные процессы производства композиционных материалов, а также последовательность определения механических свойств композитов.

Лабораторный практикум предназначен для подготовки специалистов по направлению 24.05.07 Самолето- и вертолетостроение при изучении дисциплины «Технология производства конструкций из композиционных материалов» в 10-м семестре, для подготовки специалистов по направлению 24.05.02 Проектирование, производство и эксплуатация ракет и ракетно-космических комплексов (ФГОС-3) при изучении дисциплины «Технологические процессы и производство аэрокосмических конструкций из композиционных материалов» в 8-м семестре, а также для подготовки магистров по направлению 24.04.01 Ракетные комплексы и космонавтика при изучении дисциплины «Технологические процессы производства аэрокосмических конструкций из композиционных материалов». Может быть полезен молодым специалистам авиационной и ракетно-космической отраслей.

Подготовлен на кафедре производства летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении Самарского университета.

УДК 629.7(075)
ББК 39.5я7

ISBN 978-5-7883-1100-5

© Самарский университет, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 Изучение структуры композиционных материалов	6
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 Технологические процессы производства армирующих материалов	12
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. Технологические процессы получения изделий из полимерных композиционных материалов	21
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 Технологические процессы получения композиционных материалов на металлической основе	35
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 Технология изготовления трехслойных конструкций	48
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 Технологические процессы изготовления узлов и отсеков намоткой.....	53
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7 Испытание композиционных материалов на радиальное сжатие	59
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8 Определение плотности керамических композиционных материалов методом гидростатического взвешивания	68
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	75

ВВЕДЕНИЕ

Для аэрокосмической техники наиболее перспективными считаются композиционные материалы (КМ). Композит представляет собой неоднородный сплошной материал, состоящий из двух или более компонентов, среди которых можно выделить армирующие элементы, обеспечивающие необходимые механические характеристики материала, и матрицу (или связующее), обеспечивающую совместную работу армирующих элементов.

Применение КМ позволяет решить следующие основные задачи:

- снижение эксплуатационных расходов;
- улучшение технических характеристик и их эксплуатационных свойств.

Кроме того, использование КМ является одним из эффективных средств снижения массы конструкции. Совершенствование прочностных, деформационных, теплофизических характеристик КМ, повышение их теплостойкости даст возможность использовать их не только в слабо- и средненагруженных конструкциях ЛА (интерьер, средства механизации крыльев, зализы и т. п.), но и в перспективе в высоконагруженных деталях типа крыльев, вертикальных рулей.

Важнейшее преимущество композитов – возможность создания из них элементов конструкции с заранее заданными свойствами, наиболее полно соответствующими характеру и условиям работы. Многообразие волокон и матричных материалов, а также схем армирования, используемых при создании композитных конструкций, позволяет направленно регулировать прочность, жесткость, уровень рабочих температур и другие свойства путем подбора состава, изменения соотношения компонентов и макроструктуры композита.

Основная задача курса «Технология производства конструкций из КМ» заключается в изучении технологии получения изделий из композитов, взаимосвязи между их строением и свойствами, закономерностей изменения свойств под воздействием различных факторов.

Практикум по выполнению лабораторных работ настоящего курса имеют целью привить практические навыки по выбору, расчету, оптимизации состава и технологии получения композиционных материа-

лов (КМ), освоить современные методы контроля качества изделий. В практикуме даны рекомендации и последовательность выполнения лабораторных работ по технологии изготовления и изучению структуры и свойств разнообразных КМ, а также методики определения свойств и изучения структуры КМ в зависимости от состава матрицы и упрочняющей фазы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

«Изучение структуры композиционных материалов»

Цель работы – ознакомиться с возможностями макро-, микро-структурного и фрактографического анализов КМ. Изучить и описать лабораторные изломы и микрошлифы КМ различных классов.

1.1. Фрактографический и микроструктурный анализы

Фрактографический анализ – изучение структуры поверхностей разрушения, т.е. поверхностей изломов. Макроструктурный анализ, проводимый невооруженным глазом или при небольшом увеличении до 50 раз, можно рассматривать как *макрофрактографический анализ*.

Микроструктурный анализ позволяет изучать микроструктуру при увеличении до 1200 раз с разрешающей способностью 0,6 мкм.

Большими возможностями обладает *метод растровой электронной микроскопии*, который позволяет изучать поверхность изломов при различных увеличениях с глубиной резкости примерно в 300 раз большей, чем у световой микроскопии.

Фрактографический и микроструктурный анализы являются важными методами изучения структуры КМ. В процессе изготовления и эксплуатации КМ могут возникать различные дефекты структуры: макро- и микропористость, трещины-сдвиги, сколы на отдельных участках, разрывы волокон, изменение фазового состава и т. д. Эти дефекты могут возникнуть в ходе технологического процесса получения изделий вследствие влияния температуры, времени, механического воздействия, защитной среды и других факторов, а также в процессе их эксплуатации. Эти дефекты могут появляться в матрице, армирующей фазе, а главное, на границе их раздела.

С помощью макроструктурного и фрактографического анализов можно изучить характер разрушения, который определяется прошедшими процессами структурообразования, обеспечившими *межкристаллитное или внутрикристаллитное сращивание*. При *межкристаллитном сращивании* дефекты, такие как субмикропоры и оксидные

включения, располагаются между зернами и повышают склонность материала к *хрупкому интеркристаллитному разрушению*.

При визуальном осмотре излом представляется гладким, блестящим, а при изучении под микроскопом видно, что излом не гладкий, на его поверхности видны ступеньки, придающие структуре вид ручьистого узора. Обычно трещины распространяются вдоль кристаллографической плоскости с малыми индексами. У поликристаллических материалов вид узоров меняется при переходе от зерна к зерну, так как плоскость разрушения меняет свою ориентировку.

По основным деталям рельефа (взаимному расположению, направлению ступенек ручьистого узора) можно выявить очаг возникновения главной трещины. Чаще всего он располагается вблизи границы матрицы и армирующей фазы, в узлах пространственно-ориентированной арматуры, а также вблизи избыточных фаз на границе зерен. При фрактографическом анализе с использованием больших увеличений можно установить также очаги вторичных трещин и характер их локального распространения.

При внутрикристаллитном сращивании субмикропоры и оксидные включения на границах зерен отсутствуют. Наличие такого вида сращивания обеспечивает наиболее высокий комплекс механических свойств, повышает склонность материала к вязкому разрушению, которое носит транскристаллитный характер.

При вязком разрушении излом имеет ямочную структуру, которая возникает в результате образования и роста множества микропор и пластической деформации перемычек между ними. Поверхность излома при вязком разрушении матовая, неровная, со следами пластической деформации в виде грубых полос скольжения. Диаметр ямок колеблется от 0,5 до 20,0 мкм. По форме и глубине ямок можно судить о величине пластической деформации, схеме напряженного состояния и вязкости разрушения.

Обычно по контуру ямок среднего размера располагаются гребни отрыва, которые часто имеют острые края. а под микроскопом соответственно яркий контраст изображения. На гребнях отрыва могут наблюдаться сильно вытянутые ямки, а также плоские бесструктурные участки рельефа, напоминающие расслоение в плоскостях скольжения. При вязком разрушении зерен шероховатая ямочная поверхность разрушения в общем случае не имеет сходства с поверхностями, видимыми на микрошлифах.

На поверхности разрушения могут наблюдаться отдельные участки со структурой, типичной как для хрупкого, так и вязкого разрушения. Это указывает на переход от первоначального вязкого к хрупкому характеру развития трещины.

1.2. Фазовый и структурный анализы

Методы количественного фазового и структурного анализов основываются на *принципе Кавальеры*, сущность которого заключается в следующем: плоские фигуры рассматриваются как состоящие из бесконечно большого числа взаимно параллельных линий, а тела – как состоящие из бесконечно большого числа взаимно параллельных плоскостей.

Бесконечное число параллельных прямых располагается между двумя прямыми, касающимися этих фигур с противоположных сторон.

Если длины отрезков, отсекаемые контурами фигур на каждой из прямых, попарно равны друг другу или же находятся в определенном, постоянном для всех пар отрезков отношении, то и площади рассматриваемых фигур будут равны друг другу или находиться в том же отношении, что и отрезки.

Если все отрезки будут равны между собой, то, значит, и площади их равны.

Принцип Кавальери таким же образом используется для сравнения объемов двух тел или структурных элементов с той лишь разницей, что прямые заменяют плоскостями, а отрезки – сечениями.

При фазовом и структурном анализе определяются: средний размер структурного элемента КМ; число структурных элементов; удельная граничная поверхность фаз и структурных составляющих.

Средний размер структурного элемента армированного КМ можно определить двумя методами: с помощью визуальной оценки и непосредственным определением числа соответствующих структурных элементов.

Метод визуальной оценки сводится к сравнению видимой под микроскопом поверхности шлифа, содержащей данные структурные элементы, с эталонной шкалой. Этот приближенный метод оценки характеризуется простотой и быстротой измерений структурных элементов КМ, но для детальных исследований он не пригоден.

Определение числа структурных элементов можно осуществлять по способу Салтыкова. В этом способе определяется число узловых точек в стекле фотокамеры микроскопа. Число зерен в плоскости квадрата n определяется из соотношения: $N=2n$. Для облегчения подсчета следует выбирать такое увеличение, чтобы в поле зрения находилось не более 10-15 узловых точек.

При этом для определения среднего числа зерен n_{cp} на площади структурного элемента F , мм^2 , общее количество подсчитываемых узлов должно быть не менее 50,

$$F = \frac{S}{M^2 n_{\text{cp}}}, \quad (1.1)$$

где S – площадь квадрата на матовом стекле, мм^2 ; M – увеличение на матовом стекле.

Затем рассчитывают среднее число зерен \underline{n} , мм^{-2} , приходящихся на единицу поверхности шлифа, и среднюю площадь структурного элемента:

$$\underline{n} = n_{\text{cp}} / F. \quad (1.2)$$

Определение удельной граничной поверхности различных фаз и структурных составляющих в КМ можно осуществлять визуальным методом на матовом стекле фотокамеры микроскопа или методом случайных секущих. Под удельной граничной поверхностью $S_{\text{уд}}$, мм^{-1} подразумевается площадь S границ раздела фаз или зерен в единице объема образца V :

$$S_{\text{уд}} = \frac{S}{V}. \quad (1.3)$$

При использовании визуального метода необходимо:

- сфокусировать изображение при любом увеличении;
- подобрать увеличение так, чтобы получить 10-20 пересечений границ в одном поле зрения;
- вставить объект-микрометр с линейкой в окуляр $x7$. Если изображение перевести на фотокамеру микроскопа, то на матовом стекле секущей плоскостью будет служить квадрат с известным периметром;

- подсчитать число пересечений K с секущей плоскостью длиной L в нескольких полях с тем, чтобы общее количество пересечений во всех полях было не менее 100;
- рассчитать действительную длину секущей $L_{\text{действ}}$ при визуальном наблюдении:

$$L_{\text{действ}} = L m_0,$$

где m_0 – цена деления окуляр-микрометра, мм; L – длина секущей в делениях окуляр-микрометра.

Цена деления окуляр-микрометра определяется с помощью объект-микрометра, помещенного на предметный столик:

$$m_0 = \frac{b}{a},$$

где b – длина деления объект-микрометра; a – число делений шкалы окуляр-микрометра, соответствующее одному делению объект-микрометра;

– рассчитать m и $S_{\text{уд}}$ по приведенному выше уравнению. Для экспериментального определения удельной поверхности можно использовать метод случайных секущих.

Удельная поверхность раздела - суммарная поверхность зерен, фазы или участки структурной составляющей, приходящейся на единицу объема КМ. Если в пространстве системы проведено большое число прямых отрезков (секущих), расположенных беспорядочно и направленных случайно, то среднее число пересечений K случайных секущих с поверхностями раздела зерен, отнесенных к длине секущей L , будет пропорционально величине удельной поверхности:

$$S_{\text{уд}} = 2m;$$

$$m = \frac{K}{L},$$

где m – число пересечений на единице длины секущей, мм^{-1} , K – число пересечений на всей длине секущей L . Для каждого метода существует расчетное число измерений, когда ошибка становится малой, близкой к 0, 1 %.

1.3 Выполнение практической части работы

Оборудование и материалы:

Микроскопы МБС-1, МИМ-7, МИМ- 8; электронный микроскоп или фотографии микрошлифов; макроизломы и микрошлифы.

Порядок выполнения работы и оформление отчета.

Провести анализ образцов КМ.

С помощью фазового и структурного анализов определить средний размер структурного элемента КМ; число структурных элементов; удельную граничную поверхность фаз и структурных составляющих.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается фрактографический, микроструктурный, макрофрактографический и микроструктурный анализы?
2. Какими возможностями обладает метод растровой электронной микроскопии?
3. На каком принципе основываются методы количественного фазового и структурного анализов?
4. В чем сущность принципа Кавальеры?
5. В чем заключается принцип Салтыкова?
6. Какая последовательность проведения визуального метода?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

«Технологические процессы производства армирующих материалов»

Цель работы:

1. Изучить технологические процессы производства армирующих волокон.
2. Ознакомиться с методикой определения удельной прочности нитевидного материала

2.1. Требования, предъявляемые к армирующим волокнам

Армирующие волокна, применяемые в конструкционных КМ, должны удовлетворять комплексу эксплуатационных и технологических требований. К первым относятся требования, обуславливающие прочность, жесткость, плотность, стабильность в определенном температурном интервале, химическую стойкость и т.п. Ко вторым – технологичность волокон, определяющая возможность создания высокопроизводительных процессов изготовления силовых каркасов и изделий на их основе.

Армирующие компоненты используют в следующем виде: моноволокон, нитей, проволок, жгутов, сеток, тканей, лент, холстов.

В качестве армирующего наполнителя в КМ с матрицей из синтетических смол применяют стеклянные, арамидные, углеродные и борные, базальтовые, сапфировые волокна на основе карбида кремния, полиэтиленовые волокна.

В композитах на основе металлической матрицы применяют проволочки, выполненные из стали, вольфрама, бериллия, титана, ниобия и других металлов.

2.2. Технологические процессы производства армирующих материалов

Стеклянные волокна. Это наиболее распространенные волокна, используемые при получении ПКМ. На долю стеклопластиков прихо-

дится около 90% волокнистых композитов, производимых в мире. Причина тому – их относительная дешевизна и ценное сочетание эксплуатационных свойств: при сравнительно малой плотности стеклянные волокна имеют высокую прочность, теплостойкость, устойчивы к химическому и биологическому воздействию, имеют низкую теплопроводность и высокие диэлектрические свойства.

Процесс получения стекловолокна заключается в том, что необходимые компоненты (кварцевый песок, известняк, борную кислоту, глину, уголь) перемешивают и плавят в высокотемпературных печах. Температура плавления в среднем составляет 1260 °С. Расплав стекла поступает непосредственно на аппарат для вытяжки стекловолокон, представляющий собой стеклоплавильный сосуд, изготовленный из платинового сплава. Под действием гидростатического давления расплав стекла вытекает через тонкие отверстия фильер диаметром 0,8...3,0 мм, расположенные в днище сосуда. Экструдированные из каждого отверстия струи подвергаются интенсивному механическому растяжению до диаметра 3...19 мкм, а после закалки в подфильерном холодильнике в потоке водяных брызг их собирают в нить и пропускают через зону, в которой на волокна наносят покрытие-замазливатель, повышающий компактность нити.

Собранные в единый пучок элементарные волокна называют одиночной нитью. Скорость вытягивания нити составляет от 20 до 50 м/с.

Органические волокна. Данные волокна обладают высокими прочностью при растяжении, модулем упругости, термостабильностью, хорошей защитной стойкостью при ударе, негорючестью, повышенными усталостными и диэлектрическими свойствами, которые позволяют эксплуатировать их в широком температурном интервале. Вследствие низкой плотности органические волокна превосходят по удельной прочности все известные в настоящее время армирующие волокна и металлические сплавы, уступая по удельному модулю упругости углеродным и борным волокнам.

Органические волокна получают из концентрированных арамидных волокнообразующих полимеров формованием через фильеры. При формовании волокон и нитей раствор очищенного полимера в концентрированной серной кислоте экструдировать через фильеру 3 (рис. 2.1) диаметром 50... 500 мкм при повышенной температуре (51... 100 °С) и после прохождения газовой прослойки 5 подают в осадительную ванну 7 с холодной (4 °С) водой. При этом удаляется основная часть растворителя из свежесформованных волокон, проводится подсушка и после-

дующая термообработка в соответствии с непрерывным или периодическим способом. Высокопрочные волокна подвергают дополнительной термовытяжке, в процессе которой происходит увеличение модуля упругости на 15...20%.



Рис. 2.1. Схема формирования нити: 1 – исходный материал; 2 – прядильная головка; 3 – фильера; 4 – элементарные волокна; 5 – газовая прослойка; 6 – нитепроводник; 7 – осадительная ванна; 8 – упрочнённая формируемая нить; 9- приемная бобина

Углеродные волокна. Углеродным волокнам присущи высокая теплостойкость, низкие коэффициенты трения и термического расширения, высокая стойкость к атмосферным воздействиям и химическим реагентам, различные электрофизические свойства (от полупроводников до проводников). Углеродные волокна имеют высокие значения удельных механических характеристик. Углеродные волокна подразделяют на *карбонизированные*, содержащие 80...90 % углерода (температура термообработки 1173...2273 К), и *графитизированные* с содержанием углерода выше 99 % (температура термообработки до 3273 К). Исходными материалами для получения углеродных волокон являются вискозные или полиакрилонитрильные химические волокна и углеродные пеки.

Технологический процесс получения углеродных волокон включает в себя стадии *текстильной подготовки материала, окисления, карбонизации и графитизации.*

Текстильная подготовка целлюлозного материала заключается в удалении влаги, неорганических примесей и органических веществ, включая замасливающие препараты, путем обработки их растворите-

лями или поверхностно-активными веществами, и в последующей сушке при температуре не ниже 100 °С в течение 15 ч.

Окисление целлюлозы происходит при температуре, не превышающей 350...400 °С. На этой стадии протекают основные химические реакции, наблюдаются наибольшие потери массы материала. Остаток содержит не более 60...70 % углерода.

Карбонизация осуществляется при более высоких температурах, достигающих 900...1500 °С. На этой стадии продолжают химические процессы, в результате которых остаток обогащается углеродом. Помимо этого, при карбонизации изменяется комплекс физико-механических характеристик волокна, что особенно важно для практических целей. Большое значение при карбонизации имеют разнообразные добавки, характер среды в печах, температурно-временные и силовые режимы (вытягивание волокон). Добавки-катализаторы вводят либо в исходное волокно, либо подают в печь вместе с газом-носителем. Катализаторы в виде различных фосфатов, хлоридов, сульфатов повышают содержание углерода и снижают продолжительность карбонизации. Процесс карбонизации проводят в защитных средах нейтральных газов азота или аргона, которые предотвращают воздействие на целлюлозу кислорода воздуха.

Графитизация – стадия технологического процесса, на которой углеродные волокна подвергаются высокотемпературной обработке. Начальная температура графитизации определяется конечной температурой карбонизации, а конечная температура находится в пределах 2600...2800 °С. В процессе графитизации происходит обогащение волокон углеродом до содержания не менее 99 %. Графитизацию проводят в среде аргона за очень короткое время.

Важным этапом в производстве углеродных волокон стало применение вытягивания на стадии превращения целлюлозных волокон в углеродные (рис. 2.2). Вытягивание значительно улучшает прочностные и упругие свойства волокон.

Первая стадия карбонизации проходит при температуре 200...300°С в условиях свободной усадки. На этой стадии материал малопрочен и осуществить его вытягивание не представляется возможным. Продолжительность термической обработки не более 30 мин, содержание углерода в материале 50...60 %. Вторая стадия осуществляется при температурах 500... 1000 °С; содержание углерода в материале повышается до 70...85 %, волокно вытягивается. Наконец, на третьей стадии температура повышается до 1500 °С, содержание углерода в во-

локне увеличивается примерно до 100 %. Процесс проводится при вытягивании.



Рис. 2.2. Непрерывные схемы карбонизации с вытягиванием волокна:

- 1 – питающее устройство; 2 – ванна для нанесения катализатора;
- 3 – первая печь; 4, 8 – тянущие ролики; 5, 9 – направляющие ролики;
- 6, 10 – грузы; 7 – вторая печь; 11 – третья печь

Борные волокна. Использование борных волокон в композитах позволяет обеспечивать высокий уровень прочностных, усталостных характеристик и высокое значение модуля упругости.

Наиболее широко распространена технология получения борных волокон на основе количественного осаждения бора из газовой фазы. Обычно используют газовую смесь водорода H_2 и трихлорида бора BCl_3 . Химическая реакция, приводящая к выделению элементарного бора, протекает в соответствии со схемой: $2 BCl_3 + 3 H_2 \rightarrow 2 B + 6 HCl$, при этом только 2 % BCl_3 разлагается с осаждением бора на основу.

Боровольфрамовые волокна производят в реакторе (рис. 2.3). Бор осаждается на раскаленную пропускаемым током вольфрамовую нить диаметром 12,5 мкм при температуре вольфрамовой основы 1350 °С. Этот процесс осуществляется за одну или несколько стадий. Обычно внутренний диаметр реактора составляет около 10 мм, а его длина – около 2 м. Скорость получения борных волокон не превышает 900 граммов за неделю.

В промышленности выпускают волокна диаметром 100, 140 и 200 мкм. Чтобы получить продукцию с максимально высокими характеристиками и большим содержанием бора, необходимо строго выдерживать скорость осаждения. С целью повышения жаростойкости борных волокон их покрывают карбидом кремния, осажденным из парогазовой фазы в среде аргона и водорода. Такие волокна называют борсиком.

Волокна карбида кремния. Благодаря своим физико-механическим свойствам волокна этого типа обычно применяют в металлокомпозитах для эксплуатации при длительном воздействии высоких температур.

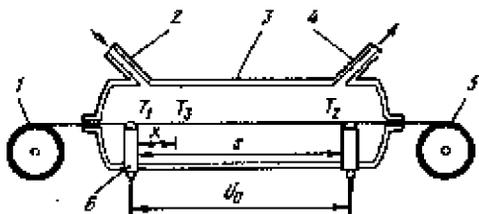


Рис. 2.3. Схема реактора для получения борвольфрамовых волокон одностадийным методом осаждения при нагревании:

- 1 – подающий намоточный барабан; 2 – штуцер для подачи газовой смеси; 3 – камера осаждения; 4 – штуцер для удаления газов; 5 – приемный намоточный барабан; 6 – электрод; u_0 – потенциал, необходимый для нагревания нити; s – расстояние между электродами

Получение волокон из SiC во многом сходно с процессом получения борного волокна. Вместо BCl_3 в реактор аналогичного устройства подают смесь алкилсиланов с водородом. В настоящее время SiC-волокна предпочтительнее изготавливать с использованием в качестве основы углеродного волокна, а не вольфрамовой проволоки. Кроме того, процесс получения SiC-волокон более экономичен, так как для получения 1 кг SiC-волокон необходимо всего 8 кг силана, в то время как для получения 1 кг борного волокна необходимо 15 кг BCl_3 . Скорость получения SiC-волокон в реакторе вдвое выше скорости получения борного волокна.

Металлические волокна. Для композитов, предназначенных для работы при пониженных температурах, используют стальные и бериллиевые волокна, а при высоких температурах – вольфрамовые и молибденовые.

Высокотемпературную прочность вольфрамовых волокон повышают за счет введения в вольфрам и его сплавы тугоплавких дисперсных карбидных частиц. Увеличение длительной прочности обеспечивается нанесением тонких (до 12 мкм) барьерных покрытий, причем наиболее эффективным является покрытие из карбида гафния HfC , которое позволяет избежать рекристаллизации вольфрамовых волокон при температуре 1400 К в течение 1000 часов.

Короткие армирующие волокна. Измельченные минеральные волокна получают при механической переработке минеральной ваты, в состав которой входят силикатный кальций (75 %) и легкие металлы (25 %). Их длина до 270 мм и диаметр от 1 до 10 мкм.

Нитевидные кристаллы (усы) – монокристаллические волокна, выращенные в специальных условиях. В настоящее время имеется более 100 типов усов из металлов, карбидов, оксидов металлов и других соединений. Усы имеют механическую прочность, эквивалентную прочности связи между атомами, что обеспечивается бездефектностью структуры нитевидных монокристаллов.

Монокристаллические волокна получают из оксидов. Они обладают прочностью, которая приближается к максимальной теоретической прочности материалов. Нитевидные кристаллы имеют диаметр от долей микрометра до нескольких микрометров и длину от долей миллиметра до нескольких сантиметров. Прочность усов заметно снижается с увеличением их диаметра и длины. Усы по сравнению с обычными поликристаллическими материалами обладают меньшей потерей прочности при увеличении температуры.

Усы обладают одновременно достоинствами стеклянных и борных волокон: их предельное удлинение как у стеклянного волокна (3...4 %), а модуль упругости – как у борного (более 500 ГПа). При этом разрушающее напряжение при растяжении усов в 5—10 раз больше, чем у стеклянных и борных волокон.

Тканые армирующие материалы. Тканые материалы на основе различных типов высокопрочных волокон, используемые в качестве арматуры при изготовлении слоистых композитов, изготавливают на ткацком станке переплетением двух взаимно перпендикулярных систем нитей пряжи.

Наиболее распространенными являются ткани, ширина которых составляет 40...75 см – узкие, 75...100 см – средней ширины, 100...150 см – широкие, 150...200 см и более – очень широкие. Ткани шириной 0,5...7,5 см и более называют ткаными лентами.

Ткани массой до 100 г/м² считают легкими, массой от 100 до 500 г/м² – имеющими среднюю массу и ткани массой свыше 500 г/м² – тяжелыми.

В отечественной промышленности наиболее широко распространены ткани на основе стеклянных, органических и углеродных волокон. Выпускаемые стеклоткани различаются составом стекла, характеристиками нитей, типом переплетения, толщиной, прочностью, плотностью укладки волокон и другими показателями.

Органоткани отличаются достаточно высокой термостойкостью, обладают малой усадкой по сравнению с тканями на основе других ти-

пов волокон. Тканые слоистые органопластики обладают по сравнению со стеклопластиками более высокими прочностными и жесткостными характеристиками.

Отличительная особенность тканей из углеродных волокон – их высокая термостойкость, жесткость и прочность. Для изготовления углеродных тканей применяют различные типы переплетений. Углеродные ткани в композиционных материалах используют в виде однонаправленных лент или они имеют полотняное либо сатиновое плетение.

2.3. Выполнение практической части работы

Технические средства для проведения работы:

1. Установка для определения прочности армирующих волокон.
2. Разновески.

Работа состоит из экспериментальной и расчетной частей.

Экспериментальная часть. Отрезок волокна длиной 50 мм и диаметром менее 100 мкм с помощью специальных зажимов закрепляют к стойке (рис.2.4) и к чашечке с грузом. Вес груза определяется в соответствии с теоретическим расчетом (табл. 2.1.) прочности испытуемого волокна (вольфрамовая проволока, углеродные волокна, стекловолокно, борное волокно и др.). Далее чашечка постепенно нагружается до разрыва волокна. Опыт повторяется до тех пор, пока точность набора груза не составит 1г. Для расчета удельной прочности волокна к весу груза на чашечке необходимо прибавить вес самой чашечки и вес нижнего зажима.

Расчетная часть.

1. Определить удельную прочность нитевидного материала (вольфрамовая проволока, углеродные волокна, стекловолокно, борное волокно).
2. Рассчитать теоретическую прочность армирующих волокон бора, углерода, борного волокна, стекловолокна. Диаметр волокон 200, 100, 10, 1, 0,1 мкм.
3. Волокно длиной 50 мм и диаметром менее 100мкм. Сравнить практически полученную прочность волокна с расчетной.
4. Поместить полученные и теоретические данные в табл. 2.2.

Таблица 2.1. Теоретическая прочность армирующих волокон

Материал	Плотность $\rho 10^{-3}, \text{ кг}\cdot\text{м}^{-3}$	Модуль упругости E, ГПа	Средняя прочность на базе 10 мм, σ^f , ГПа
Стекловолокно	2,58	95	4,2
Углеволокно	1,7	250 (диам. 7 мкм)	2,5
Борное волокно	2,5	400 (диам. 100 мкм)	3,4

Таблица 2.2. Расчетная прочность волокон

Материал	Диаметр волокна, мкм	Средняя прочность на базе 10 мм, σ^f , ГПа	Теоретическая прочность, ГПа
Стекловолокно			
Углеволокно			
Борное волокно			

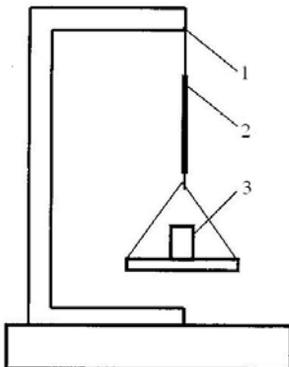


Рис. 2.4. Установка для определения прочности армирующих волокон:
1 – стойка; 2 – волокно для испытания; 3 – чашечка с грузом

Контрольные вопросы

1. Какие требования предъявляются к армирующим волокнам?
2. В каком виде используются армирующие компоненты?
3. Какие волокна применяются в качестве армирующего наполнителя в КМ из синтетических смол, в композитах на основе металлической матрицы?
4. В чем заключаются основные технологические процессы производства наиболее часто применяемых армирующих волокон?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

«Технологические процессы получения изделий из полимерных композиционных материалов»

Цель работы:

1. Ознакомиться с основными технологическими процессами получения полимерных композиционных материалов.
2. Ознакомиться с методикой определения процентного содержания армирующих материалов в полимерных композиционных материалах.

3.1. Основные характеристики компонентов полимерных композиционных материалов

Полимерными композиционными материалами (ПКМ) называют системы, состоящие из полимерной матрицы (связующего) и наполнителя в виде волокон или порошкообразных веществ.

В качестве полимерной матрицы при производстве конструктивных ПКМ применяют эпоксидные, полиэфирные, фенольные, кремнийорганические и полиамидные смолы. Эпоксидные смолы в неотвержденном состоянии представляют собой полимеры линейного строения.

Вязкость эпоксидных смол составляет 0,001 – 20 Па.с. Для получения необходимой технологической вязкости в смолы вводят разбавители или растворители. Разбавители одновременно повышают пластичность отвержденной эпоксидной смолы. В качестве растворителей используют ацетон, бензол, толуол, метиловый спирт и другие, в качестве разбавителей – низковязкие эпоксидные смолы, например, глицериновый эфир *N*-бутанола, глицидиловый эфир фенола и др.

Отвердителями эпоксидной смолы служат полиэтиленполиамин, гексаметилендиамин, триэтаноламин, фталевый и янтарный ангидриды и др. Температура плавления фталевого ангидрида 130 °С.

Фталевый ангидрид применяют при горячем отверждении эпоксидной смолы, а диэтилентриамин, являющийся отвердителем аминно-

го типа, используют при холодном отверждении эпоксидной смолы. Его вязкость при 75 °С составляет 0,005 – 0,0085 Па.с, строение молекулы имеет следующий вид:



Эпоксидные смолы технологичны, обладают малой усадкой, хорошей адгезией к различным наполнителям, высокими механическими свойствами, низким влагопоглощением.

Полиэфирные смолы – это продукт поликонденсации ненасыщенных дикарбоновых кислот с многоатомными или ненасыщенными спиртами.

В качестве отвердителей используют, например, триэтаноламин, фталевый ангидрид, полиэтиленполиамин и др. В результате полимеризации образуется твердый нерастворимый полимер трехмерной структуры. Типичные свойства полиэфирных и эпоксидных смол приведены в табл. 3.1.

Повышают свойства полиэфирных смол модифицированием кремний-органическими и эпоксидными смолами.

Таблица 3.1. Свойства эпоксидных и полиэфирных смол

Показатель	Эпоксидные смолы	Полиэфирные смолы
Плотность, кг/м ³	1100-1200	1100-1400
Предел прочности при растяжении, МПа	30-100	35-70
Предел прочности при сжатии, МПа	80-140	70-250
Модуль Юнга, МПа	2400-4200	, 2100-4600 ⁻¹
Относительное удлинение, %	2-9	1-5
Температура деструкции, °С	190-200	60-205 i
Усадка при отверждении, %	1-5	5-12

3.2. Технология получения изделий из полимерных композитов

Технология получения изделий из полимерных КМ включает следующие основные операции:

- подготовка армирующего материала;
- приготовление связующего;

- пропитка армирующего материала;
- формование изделия;
- отверждение;
- контроль качества изделия.

Подготовка армирующего материала включает удаление замасливателя (расшлихтовка) бензином или другими растворителями, нанесение на поверхность гидрофобных покрытий (аппретирование), перемотку и др.

Процесс приготовления связующего заключается в смешивании компонентов со связующими и получении заданной вязкости. Вязкость контролируют вискозиметром или по величине плотности, которую измеряют ареометром или пикнометром.

Пропитка – операция совмещения наполнителя со связующим путем нанесения связующего на поверхность армирующего материала и заполнения им объема между волокнами.

Пропитку наполнителя можно осуществлять непосредственно перед формованием изделия. В этом случае способ изготовления ПКМ называют «мокрым». При «сухом» методе получения изделий пропитка выделена в самостоятельную операцию. Связующим пропитывают ткань – волокно ленты, нити, жгуты – подсушивают и частично отверждают. Полученные полуфабрикаты называют препрегами. Их можно хранить длительное время. При формовании изделий препреги обрабатывают соответствующими растворителями (ацетоном, спиртом, толуолом и др.).

Пропитку наполнителя осуществляют различными способами:

- формованием;
- напылением;
- протягиванием арматуры через жидкое связующее;
- вакуумной пропиткой;
- принудительной пропиткой (гидравлической, механической).

Формование – операция придания изделиям заданной формы и размеров. Формование осуществляют на прессах, контактным, вакуумным, автоклавным методами и намоткой.

На прессах получают листовые многослойные полуфабрикаты и изделия сложной конфигурации. В последнем случае используют соответствующие пресс-формы и штампы. Перед загрузкой наполнителя поверхность формы смазывают пленкообразующими водными растворами, растворами поливинилового спирта, ацетилцеллюлозы в ацетоне, полиизобутилена и воска в бензине, олеиновой кислотой, пастой ЦИАТИМ-221 и др.

Контактным формованием (КФ) называют процесс прикатывания роликами слоев арматуры к поверхности формы и друг к другу.

При КФ используют открытую форму без применения давления. Форма может быть позитивной или негативной в зависимости от требуемой гладкости внутренней или внешней поверхности изделия.

Негативная форма точно воспроизводит наружный контур формируемого изделия, а позитивная – внутренний контур. Типовые способы укладки материала на негативную и позитивную формы показаны на рис. 3.1. и 3.2. Характерная особенность этого способа – получение точных размеров и гладкости только той поверхности изделия, которая непосредственно прилегает к форме.

В зависимости от типа армирующего материала в изделиях, полученных способом контактного формования, содержание волокна в материале составляет 35...50 %.

Напыление. Схема напыления рубленого короткого волокна с наружным смешением компонентов связующего показана на рис. 3.3. Измельченное волокно и смола одновременно вводятся в открытую форму или на нее. Ровинг волокна проходит через рубильное устройство и вдувается в поток смолы, который направляется в форму распылительной системой с наружным или внутренним смешением компонентов.

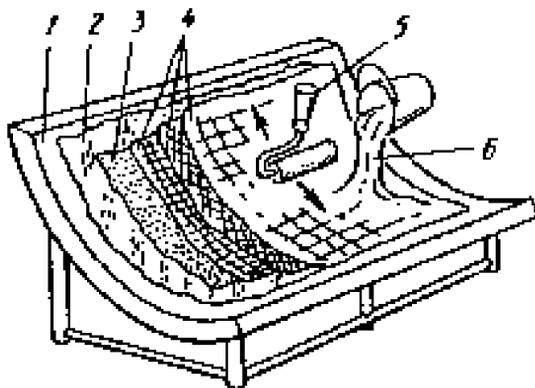


Рис. 3.1. Элементы конструкции формы и изделия при формовании ручной укладкой: 1 – форма; 2 – разделительная пленка; 3 – наружный смоляной слой; 4 – стекловолокно; 5 – ручной валик; 6 – смола в смеси с катализатором

В обоих случаях полимерная композиция предварительно покрывает волокно и объединенный поток равномерно расплывается в форме в соответствии с заданной схемой.

После введения в форму смеси смолы с волокном образовавшийся слой прикатывают вручную для удаления воздуха, уплотнения волокон и получения гладкой поверхности.

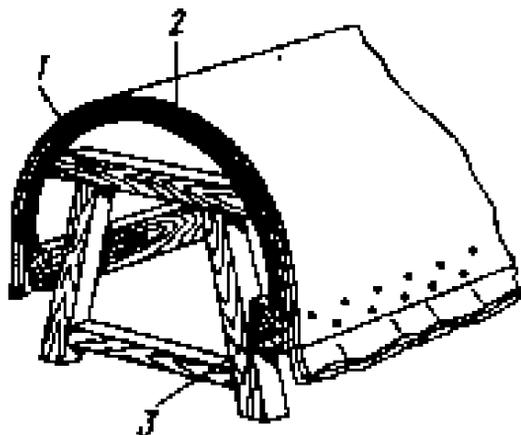


Рис. 3.2. Типовой способ укладки волокнистого материала на позитивной форме: 1 – форма; 2 – слой волокнистого материала; 3 – деревянный брус, к которому прикрепляется стеклоткань

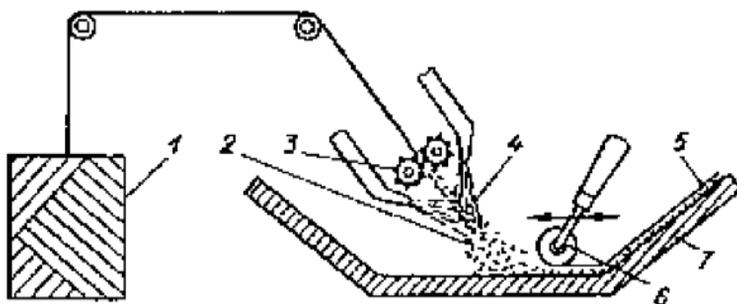


Рис. 3.3. Безвоздушная система напыления с двумя емкостями: 1 – ровинг; 2 – смола с катализатором; 3 – рубильное устройство; 4 – смола с ускорителем; 5 – уплотненный слой; 6 – валик; 7 – форма

Вакуумное формование изделий осуществляют за счет разности давлений в форме и вне ее (рис.3.4). Метод позволяет получать изделия высокого качества, так как давление на формируемый материал распределяется равномерно во всех направлениях.

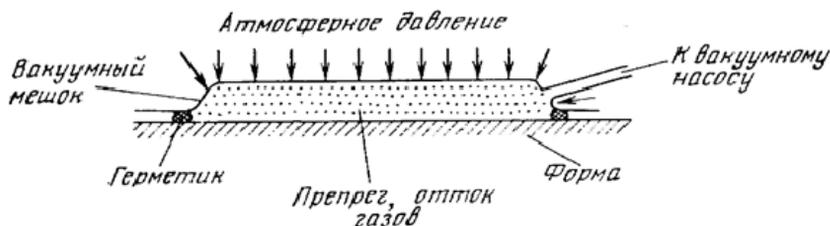


Рис. 3.4. Вакуумное формование

Приложенное внешнее давление, воздействуя на материал заготовки через эластичную диафрагму, должно выполнить следующие функции:

- уплотнить последовательные слои армирующего материала, выложенные на форме;
- обеспечить качественную глубокую пропитку волокна связующим;
- выдавить из пустот летучие побочные продукты реакции и пузырьки воздуха;
- выдавить избыток смолы из слоев материала.

Поэтому в качестве матрицы выбирают связующие холодного или горячего отверждения, при полимеризации не выделяющие побочных газообразных продуктов, которые могут создать в материале значительно большее противодавление, чем давление формования, и вызвать тем самым расслоение материала детали.

В последние годы в качестве матрицы используют термопластичные связующие типа полисульфон, полиамид, поликапроамид и другие.

Вследствие невысокого давления формования существенно ограничивается выбор армирующих материалов. В основном это стекловолокнистые материалы, так как их плотность и прочность сравнительно мало зависят от давления прессования. Тем не менее возможно применение любых волокнистых материалов.

Формование прессованием. В общем случае метод формования изделий прессованием – это процесс, при котором материал в пресс-

форме принимает заданную конфигурацию, определяемую матрицей и пуансоном, причем отверждение его происходит в форме.

В настоящее время около 50 % всех изделий из армированных пластмасс получают этим методом. Его применяют в том случае, когда требуются высокая производительность, точность и воспроизводимость деталей. При этом достигается высокое качество изделий при минимальной стоимости. Но даже если объем производства невелик, например, при получении деталей аэрокосмических аппаратов и других изделий с высокими эксплуатационными свойствами, требования к точности и воспроизводимости деталей заставляют использовать методы формования в пресс-формах.

В зависимости от применяемого армирующего материала, конструкции формы, способа загрузки материала в форму различают три основных метода формообразования изделий из ПКМ: прямое прессование; литьевое прессование; термокомпрессионное прессование.

Прямое прессование. Этот метод прессования является одним из наиболее распространенных в производстве изделий прессованием. Метод прямого прессования армированных композиций несущественно отличается от формования пластмасс. Главное различие заключается в природе самого материала, из которого прессуется деталь. Вместо свободно текущих смол или порошков на формование поступает липкая волокнистая масса, таблетированные ПКМ, пропитанные маты, ткани или предварительно отформованные заготовки из ПКМ либо премиксы.

Премикс – армированная волокном термореактивная композиция, которая после получения не нуждается в дальнейшем отверждении и может быть отформована при приложении давления, достаточного только для течения и уплотнения материала.

Для прессования изделий из ПКМ в большинстве случаев применяют гидравлические прессы, так как они обеспечивают постоянное давление на прессуемую деталь в течение всего времени прессования и, кроме того, они проще и надежнее в эксплуатации, чем механические прессы.

На рис. 3.5 показана схема устройства гидравлического прессы с нижним расположением рабочего цилиндра.

Верхняя плита и станина прессы, связанные между собой колоннами, воспринимают усилие прессы, развиваемое плунжером рабочего цилиндра. Установленная на нижнюю подвижную плиту пресс-форма с загруженным в нее материалом при подъеме плунжера прижимается к верхней неподвижной плите и материал в пресс-форме подвергается

прессованию. При прекращении подачи воды в рабочий цилиндр и сообщении его со сливной магистралью плунжер пресса и подвижная плита силой своего веса вытесняют жидкость из рабочего цилиндра и опускаются.

Прессы с нижним давлением чаще всего используют для прессования изделий в съемных пресс-формах. Такие прессы иногда имеют промежуточные подвижные плиты, которые называют этажными.

Для нагревания съемных пресс-форм на нижней подвижной плите и верхней неподвижной плите пресса закрепляют обогревательные плиты, изолированные с опорной поверхности теплоизоляционными прокладками. Промежуточные подвижные плиты этажных прессов также имеют обогрев.

Основным элементом технологического оснащения процесса прессования является пресс-форма, сложность и стоимость которой определяют качество и себестоимость изделий.

Основными параметрами процессов прессования являются температура, давление, время.

Термокомпрессионное прессование. С увеличением размеров или усложнением конфигурации и конструкции изделий из термопластичных композиционных материалов резко возрастают трудности по обеспечению требуемого качества, так как возможности традиционных методов формования и соответствующей технологической оснастки ограничены. Жесткие пресс-формы с увеличением габаритных размеров изделия становятся нерентабельными, повышаются их стоимость и трудоемкость изготовления, кроме того, зачастую отсутствуют прессы со столами необходимых размеров. Процесс формования с помощью эластичных мембран при температурах свыше $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ затруднен за счет их недостаточной надежности, ограниченного числа циклов формования (как правило, 1—3 цикла) и, как следствие, увеличения брака. По этим причинам большой интерес представляет термокомпрессионный метод формования изделий из ТКМ.

Технологическая оснастка для осуществления этого метода (рис. 3.5) состоит из ограничительной части, изготавливаемой, например, из металлов и эластичного формирующего элемента (ЭФЭ), характеризуемого КЛТР в диапазоне $(250...500) \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Собранный пакет формируется в ограничительной части оснастки за счет температурного расширения ЭФЭ при нагревании. Вследствие значительного различия КЛТР материалов ограничительной части оснастки $(10... 25) \cdot 10^{-6}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ и ЭФЭ возникает давление формования, под действием которого пакет из ТКМ уплотняется.

Метод термокомпрессионного прессования можно осуществить с использованием двух основных типов технологической оснастки: с постоянным (рис. 3.5, а) и переменным (рис. 3.5, б) объемами формования.

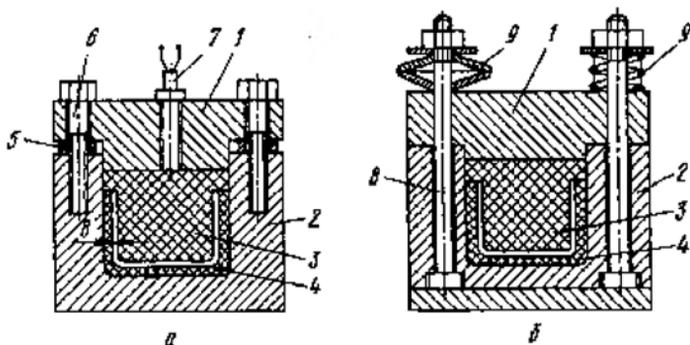


Рис. 3.5. Оснастка для термокомпрессионного формования с постоянным (а) и переменным (б) объемами:

- 1 – металлический пуансон; 2 – металлическая матрица; 3 – эластичный формующий элемент; 4 – уплотняемый пакет; 5 – опорные планки;
- 6 – фиксирующие элементы; 7 – датчик давления; 8 – направляющие колонки-фиксаторы; 9 – упругие тарированные элементы

Технология автоклавного формования заключается в том, что давление на формуемый материал передают жидкостью или газом. При этом можно обеспечить необходимую технологическую температуру формования и последующего отверждения. Процесс формования осуществляется под действием высоких давлений сжатых газов или жидкости на формуемое изделие, вакуумируемое на форме эластичным мешком и помещенное в автоклав. Схема вакуумного автоклавного формования показана на рис. 3.6.

Автоклавы являются наиболее универсальным оборудованием при изготовлении изделий из композитов. Автоклав – герметичный сосуд большого объема, в котором можно создавать значительные избыточные давления рабочего тела (воздуха, инертного газа, азота) в диапазоне от 1 до 3,0 МПа при температурах 150...380 °С.

Автоклав включает в себя системы подачи рабочего тела в камеру, разогрева до требуемой температуры, регулирования рабочего давления, вакуумную, аварийную для сброса давления, систему автоматизированной записи параметров, а также противопожарную систему (рис.3.7).

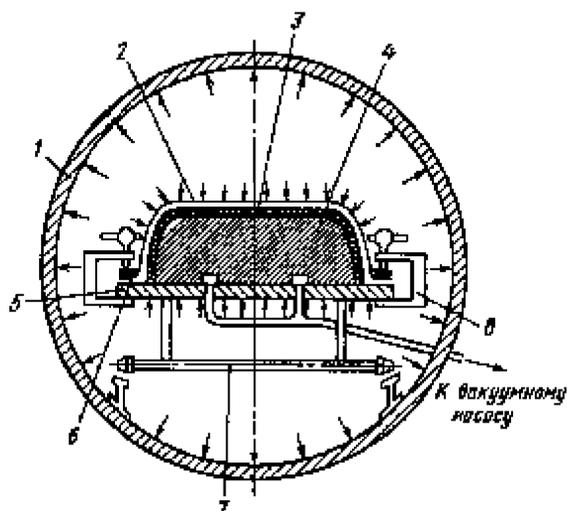


Рис. 3.6. Схема формирования в автоклавах и гидроклавах:
 1 – автоклав; 2 – резиновый чехол; 3 – формируемое изделие; 4 – форма;
 5 – плита; 6 – прижимное устройство; 7 – тележка; 8 – винтовой зажим

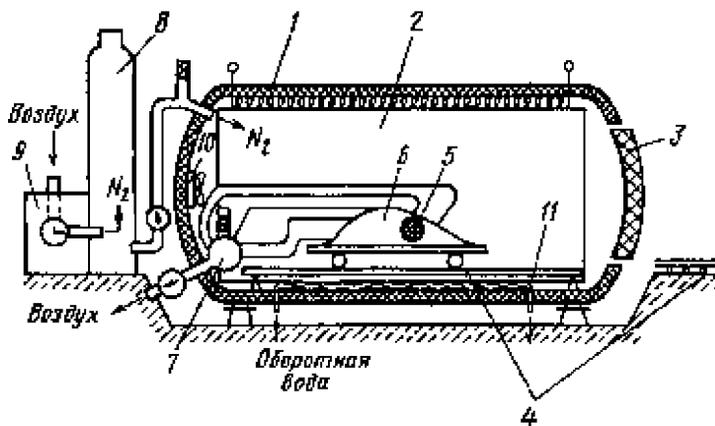


Рис. 3.7. Схема автоклава:
 1 – теплоизолирующий тепловой корпус; 2 – электронагреватель;
 3 – крышка загрузочного люка; 4 – рельсовый путь; 5 – формируемое изделие;
 6 – вакуумный мешок; 7 – вакуумная система; 8 – ресивер с азотом;
 9 – азотная станция; 10 – вентилятор системы теплообмена;
 11 – теплообменник

Наличие теплоизоляции корпуса позволяет в процессе работы избежать его разогрева, обеспечивает необходимый запас прочности стенок и нормальную температуру производственных помещений. Температуру в автоклаве повышают после откачки воздуха и заполнения его рабочим телом. Давление в автоклаве снижают только при охлаждении изделия до температуры 60...70 °С. Автоклав охлаждается за счет принудительного теплообмена рабочего тела и водяного теплообменника. Температуру отверждаемого изделия измеряют в необходимых точках с помощью хромель-копелевых термопар. Для равномерной передачи необходимого давления на формуемый пакет материала используют вакуумные мешки, герметично закрывающие формуемое изделие на оправке и соединенные вакуумной системой автоклава.

Процесс вакуумно-автоклавного формования (схема подготовки формы, порядок укладки слоев пакета заготовки, герметизация формы) во многом сходен с вакуумным формованием.

Автоклавный способ формования применяют для изготовления конструкций любой формы и габаритов (если позволяют размеры автоклава и не происходит разрушения эластичной диафрагмы под действием внешнего давления).

3.3. Выполнение практической части работы

Оборудование и материалы: микроскоп МБС-1; аналитические весы модели ВЛР-20; образцы полимерных КМ.

Изучить образцы из композиционных материалов. Взвесить образцы полимерных КМ на аналитических весах. Рассчитать объемное и массовое содержание армирующего материала и матрицы в полимерном КМ. Составить таблицу, в которой указать образец полимера, его плотность, объемное и массовое содержание армирующего материала и матрицы.

Важными параметрами, определяющими свойства композитов, являются объемное (χ) и массовое ($\chi_{\text{мас}}$) содержание армирующего материала. Связь между ними выражается следующими формулами:

$$\chi = \frac{\rho_{\text{М}}\chi_{\text{мас}}}{\rho_{\text{М}}\chi_{\text{мас}} + (1 - \chi_{\text{мас}})\rho_{\text{А}}} = \frac{\chi_{\text{мас}}}{\chi_{\text{мас}} + (1 - \chi_{\text{мас}})\frac{\rho_{\text{А}}}{\rho_{\text{М}}}}, \quad (3.1)$$

$$\chi_{\text{мас}} = \frac{\rho_A \chi}{\rho_A \chi + (1 - \chi) \rho_M} = \frac{\chi}{\chi + (1 - \chi) \frac{\rho_M}{\rho_A}}. \quad (3.2)$$

Из этих формул видно, что при пересчете массового содержания армирующего материала в объемное или наоборот необходимо знать плотность армирующего материала (ρ_A) и матрицы (ρ_M) композита.

Метод определения плотности жестких пластмасс стандартизован (ГОСТ 15139—69; ASTM D 792—66). Ввиду отсутствия специализированных стандартов стандарты по определению плотности жестких пластмасс распространяются и на армирующие волокна и композиты в целом.

Содержание армирующего материала в композитах определяется тремя методами: растворением полимерной матрицы, выжиганием ее и гравиметрическим методом.

Выбор растворителя зависит от материала матрицы. Стандартом ASTM D 3171—76 предусмотрены следующие реагенты: для растворения эпоксидных матриц – ацетон и азотная кислота (70%-ный раствор, не менее) или ацетон, диметилформамид, этиленгликоль, гидроксид калия; для растворения фенольных и полиимидных матриц – ацетон, перекись водорода (50%-ный раствор), серная кислота (96—98%-ный раствор).

Последовательность действий при растворении матрицы описана в стандарте.

Метод выжигания матрицы отличается от метода растворения только способом удаления матрицы: образец после взвешивания помещается в печь с определенной постоянной температурой (зависит от материала арматуры) до полного выжигания матрицы.

При растворении или выжигании матрицы неизбежны некоторые потери арматуры. Если эти потери превышают полпроцента, то вносится поправка, которая определяется при выдерживании чистой арматуры такого же качества и в таком же количестве в тех же условиях, как при растворении или выжигании матрицы. Эта поправка приближенная, так как при удалении матрицы арматура хотя бы временно защищена связующим.

Массовая доля арматуры определяется исходя из массы композита M_K и массы арматуры после удаления матрицы M_A :

$$\chi = \frac{M_A}{M_K}. \quad (3.3)$$

Для определения объемного содержания арматуры χ необходимо знать еще плотность композита ρ_K и арматуры ρ_A :

$$\chi = \frac{M_A/\rho_K}{M_K/\rho_A}. \quad (3.4)$$

Если известна также плотность матрицы ρ_M , то можно определить объемное содержание пустот:

$$\chi_n = -\frac{M_A/\rho_A + (M_K - M_A/\rho_M)}{M_K/\rho_K}. \quad (3.5)$$

По гравиметрическому методу объемное содержание арматуры

$$\chi = \frac{\rho_K - \rho_M}{\rho_A - \rho_M}. \quad (3.6)$$

Гравиметрический метод является точным только в случае полного отсутствия в композите пустот.

У многих волокон плотность меняется в весьма широких пределах. В таких случаях приведенные выше методы определения объемного содержания арматуры могут дать лишь приближенные результаты.

Контрольные вопросы

1. Какие смолы применяют в качестве полимерной матрицы при производстве конструкционных композитов?
2. Какие смолы называются термопластичными, термореактивными?

3. В чем заключается подготовка эпоксидных смол?
4. Где может осуществляться формование?
5. Назовите основные виды формования. В чем они заключаются?
В чем их преимущества и недостатки?
6. Какие параметры определяют свойства композитов? Какая между ними связь?
7. Какими методами определяется содержание армирующего материала в композитах? В чем их особенность?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

«Технологические процессы получения композиционных материалов на металлической основе»

Цель работы:

1. Изучение технологического процесса производства композиционных материалов на металлической основе.
2. Изучение технологического оборудования для производства металлокомпозитов.

4.1. Краткие теоретические сведения

Процессы получения металлокомпозитов подразделяются на газо- и парофазные, жидкофазные, твердофазные, комбинированные. В производстве ЛА наибольшее развитие получили твердофазные и газофазные методы изготовления деталей из композитов. В качестве полуфабрикатов при изготовлении и обработке деталей из металлокомпозитов на предварительной стадии используют волокна с покрытиями, пропитанные жгуты, сетки, пористые ленты, в дальнейшем применяемые как элементы для сборки многослойных заготовок. Компактированием этих заготовок получают полуфабрикаты (ленты, листы, полосы, плиты, трубы проволоки), которые затем подвергаются процессам формообразования, раскроя, сварки, механической обработки. В отдельных случаях процессы формообразования и компактирования могут быть совмещены, то есть изготовление изделий может быть одно- либо двухстадийным. Одним из методов совмещения формообразования и компактирования является последовательное применение газотермического плазменного напыления (которое относится к газофазным методам) и диффузионной сварки (которая относится к твердофазным методам).

Газотермическое плазменное напыление. **Принципиальная схема изготовления деталей из МКМ данными методами состоит в нанесении тем или иным способом на волокна слоя материала, заполняющего межволоконное пространство и составляющего собственно матрицу. В зависимости от способа нанесения может потребо-**

ваться дополнительная операция уплотнения материала прессованием или спеканием (например, при изготовлении композиций методом плазменного напыления).

Очень часто данные способы используют для нанесения на упрочнители промежуточных слоев, либо выполняющих роль диффузионных барьеров, предотвращающих взаимодействие волокон с матрицей, либо улучшающих смачиваемость и прочность связи между матрицей и упрочнителем.

Методы нанесения покрытий используют для изготовления материалов с упрочнителями, не допускающими контакта с жидким металлом, например таких как борные волокна – с алюминием, углеродные волокна – с никелевыми сплавами, большинство нитевидных кристаллов – с металлами, а также волокон, не подвергающихся пластической деформации (углеродные, борные волокна, волокна и нитевидные кристаллы тугоплавких соединений).

Плазменное напыление – это процесс получения покрытий заготовок, заключающийся в нагреве материала выше температуры плавления и распылении его с помощью газовой струи на подложку.

При высокотемпературном нагреве, осуществляемом тем или иным способом, напыляемое вещество плавится, а газовая струя распыляет расплавленный материал и направляет его с большой скоростью на поверхность изделия. При соударении расплавленных частиц с покрываемой поверхностью и между собой на поверхности образуется слой покрытия, толщина которого, а также плотность и прочность сцепления с основой определяются технологическим режимом процесса напыления и природой материалов покрытия и основы.

Важная особенность нанесения покрытий газотермическим напылением заключается в том, что покрытия можно наносить без существенного повышения температуры изделия и других процессов физико-химического взаимодействия покрытия с покрываемой поверхностью.

Прочность сцепления покрытия с основой определяется тремя видами связи:

- механическим сцеплением частиц металла (в случае металлизации) с шероховатой поверхностью;
- силами адгезии и химическим взаимодействием;
- микросваркой в очень тонком поверхностном слое основы.

Весь процесс можно подразделить на три непрерывные основные стадии:

- распыление исходного материала;
- образование направленного потока распыляемых частиц;

- образование слоя напыленного материала в результате кристаллизации распыляемых частиц на подложке.

Схема плазменного напыления показана на рис.4.1. В плазменном распылителе, состоящем из водоохлаждаемых катодного (вольфрамовый катод) и анодного (медное сопло) узлов, с помощью источника постоянного тока возбуждается электрическая дуга, которая стабилизируется стенками канала сопла и плазмообразующим газом, поступающим от системы газоснабжения. Управление расходом рабочего газа и мощностью дуги осуществляется с помощью пульта управления. В высокотемпературную плазменную струю, истекающую из сопла распылителя, подается распыляемый материал в виде порошка, стержня или проволоки, в соответствии с чем и различаются виды напыления. Причем в случае напыления проволокой последняя может служить анодом, замыкая на себе дугу, при этом существенно увеличиваются производительность и коэффициент осаждения материала.

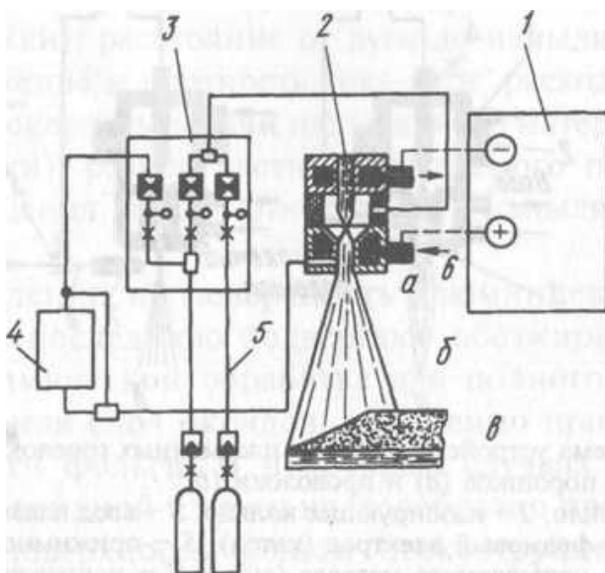


Рис. 4.1. Схема плазменного напыления:

- a* – расплавление исходного материала; *б* – формирование направленного потока распыляемых частиц; *в* – формирование слоя напыленного материала;
- 1 – источник питания; 2 – плазменный распылитель; 3 – пульт управления;
- 4 – система подачи распыляемого материала; 5 – система газоснабжения;
- 6 – система водоснабжения

В качестве плазмообразующих газов применяют азот, аргон, гелий, водород и их смеси. Нейтральные газы способствуют предотвращению окисления напыляемых материалов. Плазменное напыление порошковыми материалами, на транспортировку которых расходуется около 10 % газа, предпочтительнее, так как позволяет в более широких пределах варьировать свойства образующихся покрытий за счет динамических характеристик процесса и использовать механические смеси порошков различного состава.

Принципиальные схемы устройства головок плазменных горелок показаны на рис. 4.2. В головке (представленной на рис. 4.2, а) напыляемый порошок вводится в дуговую плазму, образуемую между вольфрамовым электродом (катодом) и соплом (анодом). В головке, представленной на рис. 4.2, б, сопло остается электрически нейтральным, а дуговой разряд возникает между вольфрамовым электродом горелки и напыляемой проволокой, которая является расходуемым анодом.

В отечественной практике обычно используют серийно выпускаемые аппараты УПУ-3М (напыление из проволоки и порошка) и УМП-5 (напыление из порошка).

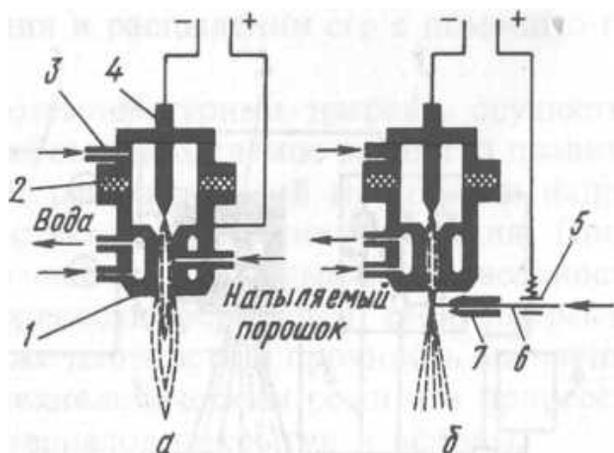


Рис. 4.2. Схема устройства головок плазменных горелок для нанесения покрытий из порошков (а) и проволоки (б): 1 – медное сопло; 2 – изолирующее кольцо; 3 – ввод плазмообразующего газа; 4 – вольфрамовый электрод (катод); 5 – прижимной контакт; 6 – проволока из напыляемого металла (анод); 7 – направляющая труба

Принципиальная технологическая схема изготовления волокнистых КМ с использованием метода плазменного напыления матрицы состоит из следующих операций:

- укладки волокон, например, на металлическую фольгу;
- плазменного напыления тонкого слоя материала, служащего матрицей;
- разрезки монослойного (или многослойного) полуфабриката и укладки в форму для прессования;
- диффузионной сварки под давлением, приводящей к образованию плотного материала.

В процессе плазменного напыления очень важно обеспечить достаточно хорошую связь между напыленным слоем и волокнами, а также между напыленным слоем и фольгой. Хорошая связь между этими тремя составляющими КМ значительно облегчает операции раскрытия и укладки, предотвращает отрыв и поломку волокон. Прочность связи покрытия с волокнами и фольгой, так же как и качество покрытия, его пористость, содержание примесей, определяют следующие основные технологические параметры:

- состояние поверхности волокон и фольги (чистота, шероховатость);
- рабочая среда (воздух, аргон, водород, азот);
- температура напыляемой поверхности (подложки);
- расстояние от дуги до напыляемой поверхности;
- напряжение и плотность тока дуги;
- расход плазмообразующего газа;
- скорость подачи напыляемого материала (порошка и проволоки);
- размер частиц напыляемого порошка;
- скорость перемещения факела относительно напыляемой поверхности.

При напылении на поверхность алюминиевой или титановой фольги последнюю подвергают обезжириванию и осветляющей химической обработке для полного или частичного растворения слоя оксидов, неизменно присутствующих на поверхности фольги. В некоторых случаях для лучшего растворения оксидной пленки целесообразно предварительно подвергнуть поверхность фольги пескоструйной обработке или механической чистке металлической щеткой; такая обработка приводит

к механическому разрушению оксидной пленки и облегчает процесс химического растворения ее. Удаление оксидной пленки с поверхности фольги не только повышает прочность связи ее с напыляемым слоем, но и значительно облегчает последующий процесс диффузионной сварки.

Оксидную пленку следует удалять перед напылением, так как длительное хранение очищенной фольги приводит к образованию нового оксидного слоя.

Технологический процесс плазменного напыления позволяет не только наносить различные покрытия, но и изготавливать изделия, состоящие из одного или нескольких напыленных материалов и сплавов. При этом напыление осуществляют на специально изготовленные формы или модели, называемые оправками, которые придают напыляемым материалам заданную конфигурацию и размеры. После напыления изделие извлекают из формы или снимают с оправки (либо последнюю уничтожают). Учитывая специфические особенности и свойства напыленных материалов, изделия можно конструктивно упрочнить цельнометаллическим каркасом, арматурой и др.

Диффузионная сварка. Этот метод формообразования относится к методам твердофазного совмещения матрицы и волокна. Процесс сварки происходит без расплавления основного металла в результате нагрева и сдавливания соединяемых элементов. В месте сварки осуществляется диффузия одного элемента в другой. Поскольку в состав КМ обычно входят пластичная малопрочная матрица и упрочнитель, обладающий, как правило, более высокой твердостью по сравнению с твердостью матрицы, то этот упрочнитель в процессе диффузионной сварки под давлением может разрушать оксидные слои, покрывающие поверхность металлической матрицы. В связи с этим процесс диффузионной сварки упрощается: если для соединения деталей методом диффузионной сварки почти всегда необходимо создавать вакуум над поверхностями соединяемых деталей, то для изготовления металлокомпозита этим методом не всегда необходим вакуум, и процесс можно проводить в инертной, а иногда и в воздушной среде. Следует отметить, что и в случае получения КМ методом диффузионной сварки под давлением наличие вакуума является фактором, интенсифицирующим процесс и улучшающим его качество.

В процессе изготовления КМ необходимым условием является обеспечение пластической деформации. Основными операциями тех-

нологического процесса являются подготовка поверхности контактирующих материалов, изготовление предварительных заготовок, раскрой и сборка пакетов и прессование.

Исходные материалы. Матрицу в исходном состоянии чаще всего используют в виде фольги металлов или сплавов. Иногда матрицу применяют в виде слоев, нанесенных на упрочнитель тем или иным методом. Упрочнителями в этом случае являются нитевидные кристаллы, волокна и проволоки из различных металлов или сплавов. Нитевидные кристаллы, волокна и проволоки можно применять как в виде отдельных кристаллов, моноволокон и проволок, так и в виде различных полуфабрикатов: матов, жгутов, тканей, сеток. При этом материал матрицы можно наносить на упрочнитель, используя методы плазменного напыления, химического и электрохимического осаждения, осаждения из газовой фазы, протяжки волокна через расплав матрицы и др.

Подготовка поверхности контактирующих материалов.

Существенное влияние на качество процесса и качество полученного методом диффузионной сварки КМ оказывает состояние контактирующих поверхностей матрицы и упрочнителя.

Волокна, проволоки и нитевидные кристаллы, применяемые в качестве упрочнителей, перед процессом диффузионной сварки чаще всего подвергают поверхностной очистке химическими методами. Это связано с наличием на поверхности упрочнителей различного вида смазочных веществ, применяемых в процессе изготовления волокон и проволок, тонких слоев оксидов и др. Такую очистку осуществляют в щелочных или кислотных травителях. С целью повышения прочности связи на границе раздела упрочнителя с матрицей на поверхность волокон и нитевидных кристаллов в некоторых случаях наносят покрытие из металла или их соединений методами химического, электрохимического осаждения, осаждения из газовой фазы и др.

Поверхность фольги из металлов и сплавов может быть загрязнена различными смазками, применяемыми в процессе ее изготовления, может быть покрыта слоем оксида, затрудняющим протекание диффузионных процессов. Наличие плотной оксидной пленки особенно характерно для фольги из алюминия и его сплавов. К основным методам подготовки поверхности материала матрицы относятся промывка, обезжиривание, механическая очистка, химическая обработка.

В соответствии с методом диффузионной сварки под давлением КМ получают прессованием в вакууме при определенной температуре и давлении в среде инертных газов или воздухе.

Прессование. Основной операцией процесса изготовления КМ методом диффузионной сварки под давлением является прессование. Именно при выполнении этой операции происходит соединение отдельных элементов предварительных заготовок в компактный материал (формирование изделий). Прессование заготовок композитов в большинстве случаев осуществляется в замкнутом объеме и с незначительной пластической деформацией материала матрицы, необходимой только для заполнения пространства между волокнами упрочнителя и максимального уплотнения самой матрицы. При этом наряду с пластической деформацией матрицы на границе раздела между слоями или частицами матрицы, т.е. на границе матрица—матрица, а также на границе матрица—волокно, протекают диффузионные процессы, обеспечивающие прочную связь на этих границах и в конечном счете необходимую прочность КМ.

К основным технологическим параметрам прессования КМ относятся давление прессования, температура, время выдержки и среда, в которой осуществляется процесс.

В зависимости от технологического оформления можно выделить три разновидности процесса прессования: прессование в замкнутых пресс-формах и между обогреваемыми плитами; ступенчатое прессование; изостатическое или автоклавное прессование.

Прессование в пресс-формах и между обогреваемыми плитами. В этом случае прессование КМ можно осуществлять на обычных гидравлических прессах различной мощности, применяемых для обработки металлов давлением, в порошковой металлургии, в производстве пластмасс. Для обеспечения пригодности пресса в процессе диффузионной сварки необходимым условием является возможность поддерживать заданное давление на нем в течение длительного времени. Прессование изделий из КМ на таких прессах проводят в специальных пресс-формах, нагреваемых тем или иным способом до нужной температуры. Диффузионную сварку производят на воздухе, в вакууме и защитной среде. В зависимости от этого пресс, на котором ее проводят, может быть оснащен камерой для создания вакуума или необходимого давления (рис.4.3).

Ступенчатое прессование. Особенность этого процесса заключается в возможности получения полуфабрикатов в виде листов, полос, лент, профилей большой длины из КМ на прессах с небольшими размерами прессующих плит. Прессование пакета из заготовок КМ боль-

шой длины осуществляется периодически: вначале подпрессовывается участок, ближайший к одному из концов пакета, затем пакет передвигается между плитами пресса таким образом, что непосредственно между плитами оказывается часть ранее пропрессованного участка и еще не подвергавшаяся прессованию часть. Таким образом, постепенно прорабатывается весь пакет.

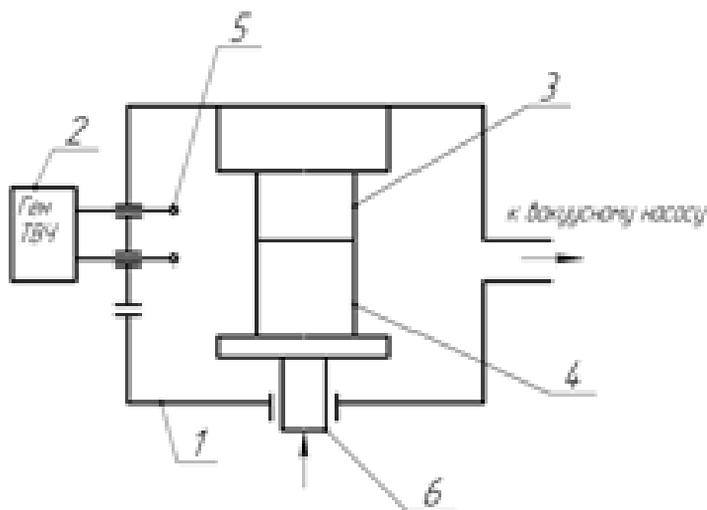


Рис. 4.3. Схема технологического оборудования для диффузионной сварки: 1 – вакуумная камера; 2 – генератор токов высокой частоты; 3,4 – свариваемые детали; 5 – индуктор; 6 – подвижный шток вакуумной камеры

При ступенчатом прессовании только ширина изделия определяет ширину прессующих плит, длина же его практически не ограничена. Недостатком ступенчатого прессования является невысокая производительность процесса, обусловленная необходимостью выдержки каждого из прессуемых участков пакета при заданном давлении и температуре в течение промежутка времени, требующегося для пластической деформации и процессов диффузии.

Изостатическое, или автоклавное прессование. Процесс изостатического горячего прессования сочетает в себе воздействие на тело температуры и давления газа. Обычно тело, на которое оказывается воздействие, помещают в вакуумированный герметичный контейнер, спо-

способный деформироваться при температуре процесса. Установка для изостатического горячего прессования, как правило, состоит из трех основных агрегатов: сосуда высокого давления или автоклава, системы для создания давления и системы обеспечения температуры.

Схема выполнения профилей из металлокомпозитов показана на рис.4.4, *a-e*, возможные виды полуфабрикатов и схемы приспособлений для их изготовления – на рис. 4.5.

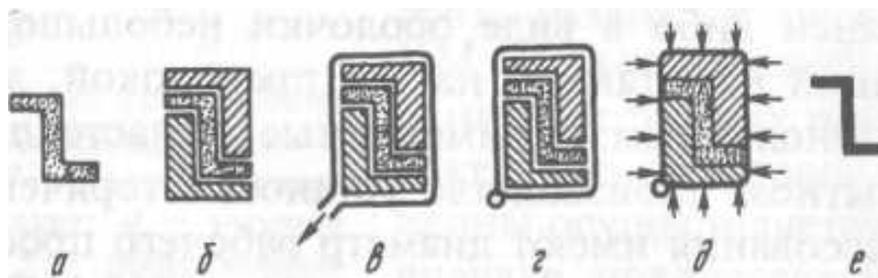


Рис. 4.4. Схема изготовления профиля из КМ в изостате:
a – заготовка; *б* – сборка заготовки с формирующими элементами;
в – заключение сборки в пластичный металлический контейнер и вакуумирование контейнера; *г* – заваривание контейнера;
д – нагрев и подача давления; *е* – готовый профиль

Режимы изготовления и свойства бороалюминиевых композиций, полученных методом диффузионной сварки в изостате, представлены в табл. 4.1.

Таблица 4.1. **Режимы изготовления и характеристики бороалюминиевых композиций**

Матрица	Содержание волокна, % (об.)	Параметры изготовления			Предел прочности, МПа	Модуль упругости, ГПа
		Температура, °С	Давление, МПа	Время выдержки, мин		
Алюминиевый сплав: 6061	48	490	35	60	1200	234
2024	30	500	48,5	60	680-830	179-190
Алюминий	50	580	30,0	2	1100	260

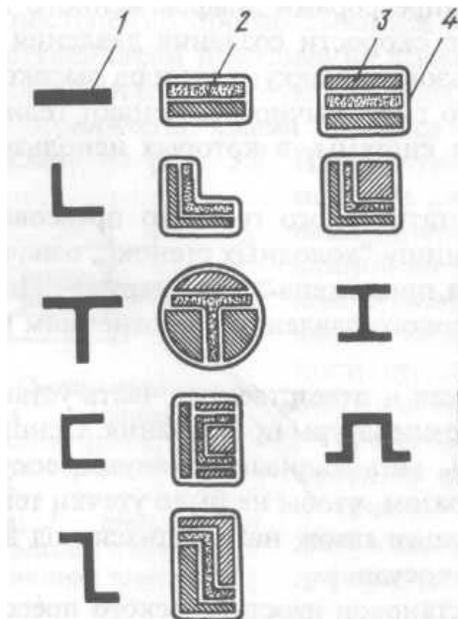


Рис. 4.5. Возможные виды полуфабрикатов:

- 1 – готовый полуфабрикат; 2 – заготовка; 3 – формирующий элемент;
4 – контейнер

4.2. Порядок выполнения работы

1. Определить размеры образцов для напыления.
2. Провести подготовку образцов опескоструиванием (выполняет лаборант).
3. Провести напыление покрытия на образцы. Зафиксировать показания приборов (напыление выполняет лаборант).
4. Привести показания ротаметров к объемному расходу газа.
5. Оценить состояние покрытия, шероховатость, определить толщину покрытия.
6. Определить нагрузку заедания при трении образцов без покрытия и с покрытием:
 - установить образцы на испытательную машину;
 - установить начальную нагрузку на образцы;

- включить машину;
 - ступенчатым увеличением нагрузки довести процесс трения до возникновения заедания. На каждой ступени зафиксировать значение $M_{кр}$;
 - определить величину коэффициента трения на каждой ступени нагрузки.
7. Сделать выводы по результатам испытания, оценить состояние поверхности образцов.
8. Определить влияние покрытия на надежность эксплуатации при отказе системы смазки:
- окунуть образцы в масло, выдержать в течение 15—30 мин;
 - извлечь образцы из масла, удалить избытки масла с поверхности;
 - провести испытания по п. 6.
9. Сделать выводы по результатам испытания, оценить состояние поверхности образцов.

Содержание отчета

Содержание отчета определяется заданием на выполнение работы и включает:

- функциональные схемы процессов и оборудования;
- результаты выполненных экспериментов;
- краткие выводы.

Контрольные вопросы

1. Сущность процессов газотермического напыления.
2. Способы газотермического напыления.
3. Преимущества плазменного напыления покрытий.
4. Основные параметры плазменной струи.
5. Этапы процесса плазменного напыления покрытий.
6. Особенности формирования газотермических покрытий.
7. Основные свойства плазменных покрытий.
8. Основные параметры, определяющие свойства плазменного покрытия.
9. Операции технологического процесса нанесения покрытия на детали.
10. Понятие о внешнем трении, силе трения, изнашивании.

11. Природа силы трения, понятие о коэффициенте трения.
12. Особенности фрикционного взаимодействия поверхностей и основные факторы, его определяющие.
13. Понятие о положительном градиенте сдвигового сопротивления.
14. Способы реализации положительного градиента сдвигового сопротивления.
15. Меры износа и интенсивности изнашивания.
16. Стадии износа.
17. Факторы, определяющие интенсивность изнашивания.
18. Принципы формирования износостойкого материала.
19. Схемы испытания износостойкости.
20. Определение коэффициента трения.
21. Основные узлы машин для испытания износостойкости.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

«Технология изготовления трехслойных конструкций»

Цель работы:

1. Изучение технологического процесса производства трехслойных конструкций с сотовым наполнителем.
2. Изучение системы проведения прочностных испытаний образцов из трехслойных конструкций.

5.1. Краткие теоретические сведения

Большое различие свойств материалов несущих слоев и наполнителя, а также вариантов оформления трехслойных конструкций определяет принципиальные методы их изготовления. Определяющим в данном случае является тип наполнителя. Разработаны технологические процессы изготовления трехслойных конструкций с наполнителями, получившими широкое применение.

Ниже рассмотрена технология изготовления трехслойных конструкций с различными типами наполнителей.

Технология изготовления конструкций с сотовым наполнителем состоит из двух самостоятельных процессов: изготовления сотового наполнителя и конструкций с сотовым наполнителем. Процессы отличны друг от друга по характеру и содержанию технологических операций.

Блочный метод, или метод изготовления сотового наполнителя из предварительно пропитанных и профилированных листов специальной бумаги, стеклоткани или хлопчатобумажной ткани (рис. 5.1) заключается в предварительной пропитке материала, которая может быть выполнена на любом (рис. 5.1, а) оборудовании, в крайнем случае вручную. Пропитанный материал подсушивают в специальных камерах (рис. 5.1, б) при вертикальном положении листов и ступенчатом режиме подсушки (60–80, 80–100 и 100–120° С соответственно в нижней, средней и верхней частях камеры). Подсушенный материал наматывается на бобину. Профилируют заготовки ткани на гидравлическом прессе с помощью пресс-формы (рис. 5.1, в).

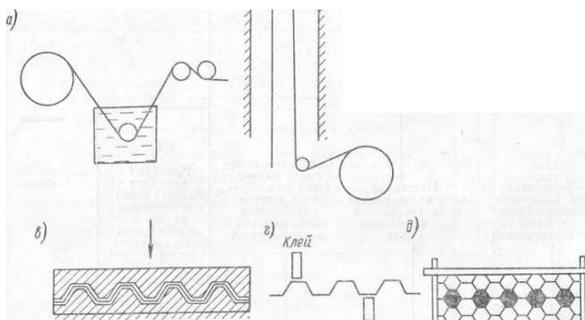


Рис. 5.1. Схема блочного метода изготовления сотового заполнителя

Полученные заготовки разрезают, промазывают клеем по склеиваемым поверхностям (рис. 5.1, г) и собирают в блоки в простом приспособлении (верхняя и нижняя плиты, ограничительные планки) – рис. 5.1, д. Для предотвращения смещения листов относительно друг друга при сборке применяют установочные стержни, выполненные по форме сот. В этом приспособлении блок направляют в камеру подсушивания (60°C) и после снятия прижимной плиты – в печь для склеивания ($130\text{—}160^{\circ}\text{C}$). После выема из печи блок разрезают в соответствии с заданными размерами.

Для изготовления сотовых заполнителей из профилированных листов непропитанной ткани с последующей их пропиткой связующим используют те же операции процесса и то же оборудование, что и при применении предыдущего метода, но последовательность операций несколько иная (рис. 5.2.): подготовка ткани (профилирование) – рис. 5.2, а; нанесение клея и склеивание сотовых блоков (рис. 5.2, б и в); пропитка связующим, сушка и термообработка (рис. 5.2, г и д); разрезка сотовых блоков на заготовки.

Для профилирования ткани и склеивания сотовых блоков на специализированных предприятиях применяют специальные установки. Проведение этих операций возможно на стандартном прессовом оборудовании при использовании несложного приспособления.

Решающее влияние на прочность сотовых конструкций оказывает качество склеивания наружных слоев с сотовым заполнителем. Трудность обеспечения высокой прочности этого соединения увеличивается в связи с малой поверхностью склеивания. Увеличить площадь склеивания можно, уменьшая размеры ячеек сотового заполнителя. Однако уменьшение размера ячеек сотового заполнителя ведет к увеличению

веса конструкции, что снижает эффективность использования трех-
 слойных конструкций.

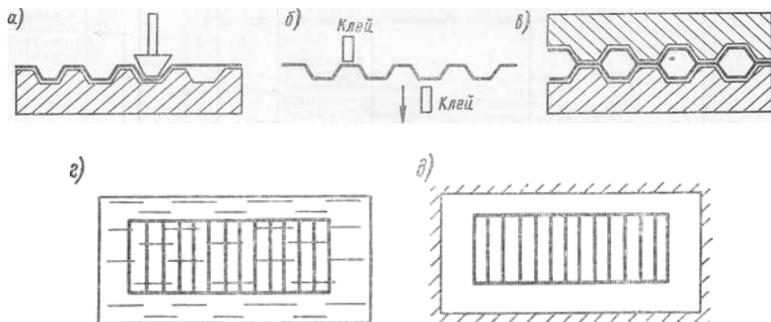


Рис. 5.2. Схема изготовления сотового заполнителя
 из профилированных непропитанных листов

Принципиально прочность соединения сот с несущими слоями обеспечивается клеевой прослойкой, которая образуется в узле «несущий слой – стенка сот» (рис. 5.3.). Правильное назначение количества клея для этого соединения и рациональное его распределение (правильный выбор параметров шва) являются предметом исследований.

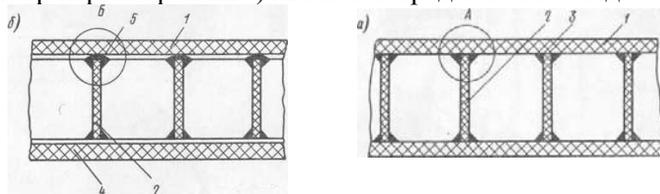


Рис. 5.3. Схема возможного соединения несущих слоев с сотовым
 заполнителем: а – с помощью наплыва клея; б – с помощью «мягкой подушки»
 1 – несущий слой; 2 – сотовый заполнитель; 3 – клеевая прослойка;
 4 – «мягкая подушка»; 5 – наплыв клея

Способы усиления узловых соединений сотовых заполнителей с несущими слоями зависят от материалов наружных слоев и заполнителя. При соединении сотового заполнителя и несущих слоев из композитов целесообразно применять промежуточный слой из стеклопластика, например из стеклоткани или стекломата, пропитанных смолой. Промежуточный слой как бы создает «мягкую подушку», на которую укладывается сотовый заполнитель. Кромки ячеек сотового заполнителя

частично вдавливаются в «мягкую подушку», прочно сцепляясь с ней и образуя условную сплошную поверхность, к которой, в свою очередь, приклеиваются несущие слои. Кроме того, в местах вдавливания кромок ячеек сотов образуются усиления (наплывы клея), которые обеспечивают необходимую прочность соединения (рис. 5.3, б).

Процесс изготовления трехслойных конструкций с сотовым наполнителем начинается с подготовки несущих слоев под склеивание; поверхности несущих слоев очищают от грязи, производят шерохование, обезжиривают.

Выбор способа нанесения клея зависит от его физических и технологических свойств, формы и габаритов конструкции, размеров ячеек заполнителя и характера производства. Производителей способ нанесения клеев распылением. Этим способом наносят клеи, имеющие вязкость по ВЗ-1 не более 30 сек. Клеи, наносимые распылением, не должны быть токсичными, вредными для человека.

Вязкость клеев можно уменьшить с помощью растворителей, но при этом необходимо наносить несколько слоев, чтобы был обеспечен необходимый процент сухого остатка в клеевой прослойке.

Коэффициент использования клея при нанесении его распылением невысок (40–50%). Наносить клей на сотовый наполнитель распылением в большинстве случаев нерационально: это приводит к большому непроизводительному расходу клея; кроме того, трудно получить приливы у кромок сотов, клей, попадая на стенки сотов вдали от кромок, увеличивает бесполезный вес конструкции.

Клей можно наносить на поверхности с помощью краскораспылителей (например, типов КР-Ю, 0-45 и др.)- Расстояние от сопла распылителя до поверхности зависит от марки клея, его вязкости, давления в системе, формы сопла и устанавливается опытным путем. Применяют несколько усовершенствованные способы распыления, позволяющие улучшить качество нанесения клея и уменьшить его непроизводительный расход: метод безвоздушного нанесения клея, распыление в электростатическом поле и др.

Наиболее широкое применение нашел способ окунания: сотовый наполнитель погружают в ванну с клеем на глубину 1,5–2,0 мм. Количество погружений зависит от вязкости клея и необходимого размера наплывов у кромок сотов.

На сотовый наполнитель клей наносят также роликом вручную или механизированным способом. Есть станки для нанесения клея одновременно на оба торца сотового заполнителя. На поверхности несущих

слоев и сотового заполнителя клей можно наносить обычными торцевыми кистями или кистями флейц, а клей высокой вязкости—шпателями. Технология нанесения пленочных клеев (типов ВК-3, ВК-4, БФ-4, ВК-32-200, МПФ-1 и других) существенно проще. Они позволяют обеспечивать в соединении сплошную и равномерную по толщине клеевую прослойку. На поверхность их наносят при помощи специальных роликов с обогревом. Прикатку ведут в одном направлении для удаления воздуха из соединения. В процессе прикатки обеспечивают полное сцепление пленки с поверхностью.

Дальнейшими операциями при изготовлении трехслойных конструкций являются: сборка трехслойной конструкции, создание давления для склеивания, обработка трехслойной конструкции в необходимый размер.

Сборка трехслойной конструкции состоит из укладки сотового заполнителя на один из несущих слоев и последующего накрытия их вторым несущим слоем. Сборка трехслойных конструкций не требует специального оборудования и может выполняться на сборочных столах. Необходимое для склеивания давление можно обеспечить на пневматических прессах любого назначения, если позволяют размеры стола. Однако использование прессов не всегда целесообразно. Давление, достаточное для склеивания сотовых конструкций, можно получить, применяя вакуумное прессование.

Содержание отчета

Содержание отчета определяется заданием на выполнение работы и включает:

- функциональные схемы процессов и оборудования;
- краткие выводы.

Контрольные вопросы

1. Из каких самостоятельных процессов состоит технология изготовления конструкций с сотовым заполнителем?
2. В чем заключается блочный метод изготовления сотового заполнителя?
3. Что оказывает решающее влияние на прочность сотовых конструкций?
4. От чего зависит выбор способа нанесения клея?
5. Перечислите основные способы нанесения клеев.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

«Технологические процессы изготовления узлов и отсеков намоткой»

Цель работы:

1. Ознакомление с технологическим процессом изготовления полимерных композитов методом намотки.
2. Изучение технологического оборудования для производства полимерных композитов методом намотки.

6.1. Краткие теоретические сведения

Намотка – технологический процесс, при котором непрерывный армирующий наполнитель в виде нитей, лент, жгутов, тканей, пленок пропитывается полимерным связующим, подается на оправку, имеющую конфигурацию внутренней поверхности изделия, и укладывается по ее поверхности в заданном направлении. После получения необходимой схемы армирования, заданной толщины и структуры материала производится отверждение изделия тем или иным способом и удаление оправки. Иногда оправка может быть элементом наматываемой конструкции, например, герметизирующей оболочкой.

Методом намотки изготавливают изделия, имеющие форму тел вращения: баллоны давления, баки, корпуса ракетных двигателей, головные части, отсеки ракет, транспортно-пусковые контейнеры, корпуса подводных аппаратов, стволы орудий и корпуса снарядов, жидконаливные цистерны, трубопроводные магистрали, коробчатые шпангоуты, воздухозаборники самолетов, лопасти винтов вертолетов, различные профили, пространственно изогнутые трубы и т.д.

Препрег наматывают на вращающуюся оправку, на поверхность которой нанесено антиадгезионное покрытие. Укладка препрега при намотке производится в соответствии с программой перемещения головки намоточного станка. Обычно намотка препрега производится по геодезическим линиям, что позволяет получить равнонапряженную ме-

ханическую систему нитей, находящуюся в статическом равновесии. При этом исключается самопроизвольное сползание нитей на оправке, нарушающее заданную структуру армирования. Кроме того, равнонапряженная система нитей обеспечивает минимальную массу конструкции из композита.

Для программной намотки изделия сложной формы по геодезическим линиям осуществляют перемещение головки намоточного станка по трем или даже четырем координатам, соответствующим степеням подвижности головки.

В зависимости от способа нанесения связующего на волокнистый армирующий материал и обеспечения необходимого содержания его в материале изделия различают несколько технологических способов формования изделий намоткой.

Способ «сухой» намотки (рис.6.1.) заключается в том, что волокнистый армирующий материал перед формованием предварительно пропитывают связующим на пропиточных машинах, которые обеспечивают не только качественную пропитку, но и требуемое равномерное содержание связующего в препреге на основе стекло-, органо- и углеволокон за счет применения различных растворителей для регулирования вязкости связующего в процессе пропитки. Особенно эффективно применение предварительно пропитанных ровингов, полотен стекло-, углетканей и лент.

Способ «мокрой» намотки отличается тем, что пропитка армирующего волокнистого материала связующим и намотка на оправку совмещены. При способе «мокрой» намотки (рис. 6.2.) нити, предварительно подсушенные горячим воздухом, попадают из шпулярника на индивидуальные натяжатели, собираются в прядь и поступают в пропиточно-натяжной тракт. Пропитка армирующего волокнистого материала связующим осуществляется одним из следующих способов: протягиванием нитей через ванночку со связующим; контактированием с роликом, купающимся в связующем; принудительной пропиткой в клиновой или вакуумной камере.

Физико-механические характеристики изделий, получаемых методом «мокрой» намотки, в среднем на 20 ... 30% ниже по сравнению с аналогичными характеристиками изделий при «сухой» намотке.

После пропитки излишек связующего отжимается, прядь нитей натягивается, проходит через систему контроля и через раскладывающее

устройство поступает на вращающуюся оправку, укрепленную на намоточном станке.

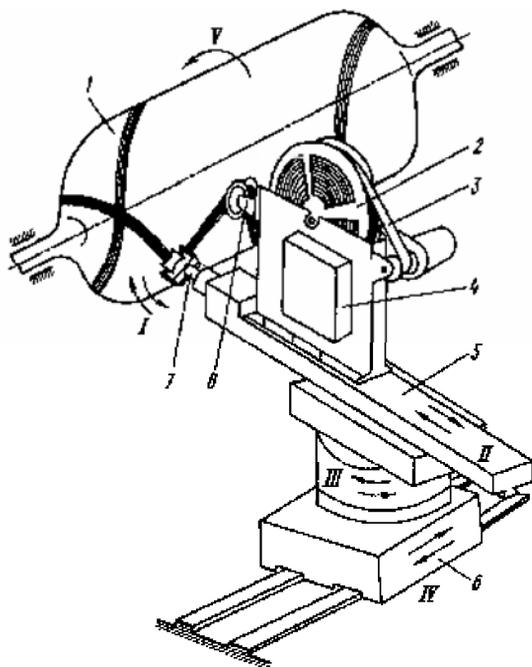


Рис. 6.1. Схема «сухой» намотки препрегом изделия:
1 – оправка; 2 – бобина с препрегом; 3 – разделительная пленка;
4 – нагреватель; 5 – суппорт; 6 – каретка; 7 – головка;
8 – устройство натяжения; 1...IV – степени подвижности станка

Необходимая вязкость связующего в данном случае обеспечивается выбором соответствующей смолы и применением подогрева связующего в пропитывающей ванне. Преимущество способа «мокрой» намотки заключается в более низком контактном давлении формования, что требует оборудования с меньшей мощностью привода и лучшей формуемостью поверхностей изделия. Поэтому способ «мокрой» намотки применяют, как правило, для изготовления крупногабаритных оболочек сложной конфигурации.

Существует и третий способ намотки, при котором сухой армирующий материал наматывается на оправку, а затем пропитывается

связующим путем разбрызгивания его под давлением из пульверизатора, вручную с помощью кисти, с использованием давления или вакуума. Этот способ, называемый намоткой с последующей пропиткой, ограниченно применяют при изготовлении панелей сетчатой структуры или тонкостенных оболочек, поскольку обеспечить качественную пропитку известными способами не удается.

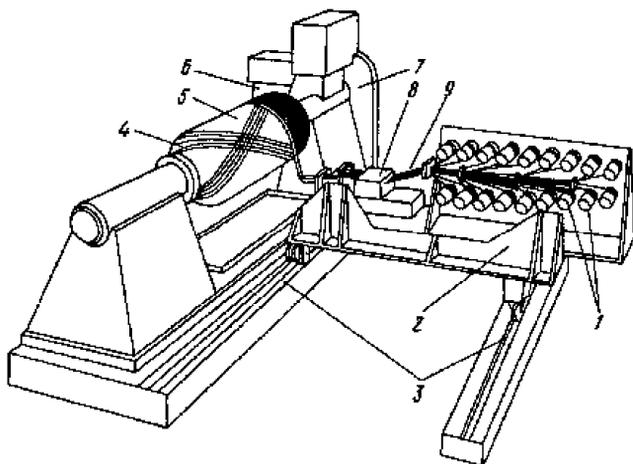


Рис. 6.2. Схема «мокрой» намотки:

- 1 – шпули с нитями; 2 – шпулярник; 3 – направляющие перемещения намоточно-пропиточного тракта; 4 – спиральные слои; 5 – оправка; 6 – окружные слои; 7 – привод вращения; 8 – ванночка со связующим; 9 – сформированная пряжа

Для способа «мокрой» намотки характерным является следующее: невысокая скорость намотки, ограниченная скоростью пропитки наполнителя связующим; невозможность обеспечения равномерного содержания связующего по толщине наматываемого изделия (особенно для толстостенных конструкций); большое количество отходов связующего в виде загустевших остатков в пропиточной ванне и выдавленного излишка связующего из наматываемого изделия; загрязнение намоточно-пропиточного тракта и рабочего места связующим; невозможность применения высоковязких связующих (например, термопластов). Метод «мокрой» намотки применяется для менее ответственных

элементов изделий из композитов, а также при отсутствии специализированных установок для получения препрега.

Способ «сухой» намотки более эффективен, чем «мокрой», и его преимущества заключаются в следующем: высокая производительность, так как скорость намотки не лимитируется условиями пропитки наполнителя; стабильность степени армирования, т.е. соотношения наполнитель—связующее; высокая воспроизводимость физико-механических характеристик от одного изделия к другому; возможность применения больших значений технологического натяжения; возможность использования препрегов, предварительно пропитанных высоковязкими связующими, в том числе и термопластичными; лучшие технологические условия для намотки изделий, имеющих конусность или сложные кривизны, за счет эффекта прилипания препрега к оправке; благоприятные экологические последствия.

6.2. Выполнение практической части работы

Оборудование и материалы: микроскоп МБС-1; аналитические весы модели ВЛР-20; образцы полимерных КМ.

По методике, указанной в работе [3], на полученных путем метода намотки образцах:

- рассчитать объемное и массовое содержание армирующего материала и матрицы в полимерном КМ;
- составить таблицу, в которой указать образец полимера, его плотность, объемное и массовое содержание армирующего материала и матрицы;
- зная плотность армирующего материала (ρ_A) и матрицы (ρ_M) композита, определить объемное (χ) и массовое ($\chi_{\text{мас}}$) содержание армирующего материала.

Содержание отчета

Содержание отчета определяется заданием на выполнение работы и включает:

- функциональную схему технологического процесса «сухой» и «мокрой» намотки;
- функциональную схему технологического оборудования для намотки;

- результаты выполненных экспериментов;
- краткие выводы.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается технологический процесс намотки?
2. Какие изделия изготавливают методом намотки?
3. Какие различают способы формования изделий намоткой в зависимости от способа нанесения связующего на волокнистый армирующий материал?
4. Перечислите характерные особенности технологических методов «сухой» и «мокрой» намотки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7 «Испытание композиционных материалов на радиальное сжатие»

Цель работы: Изучение методики испытания кольцевых и трубчатых образцов на растяжение и сжатие.

7.1. Испытания кольцевых образцов на растяжение и сжатие

В последние годы широко распространены методы испытаний композиционных материалов на образцах, имеющих форму кольца. Эти методы отличает сравнительная простота, достаточно высокая воспроизводимость и надежность получаемых результатов.

Растяжение кольцевых образцов осуществляют жесткими полудисками, эластичным кольцом, гидростатическим давлением (рис. 7.1).

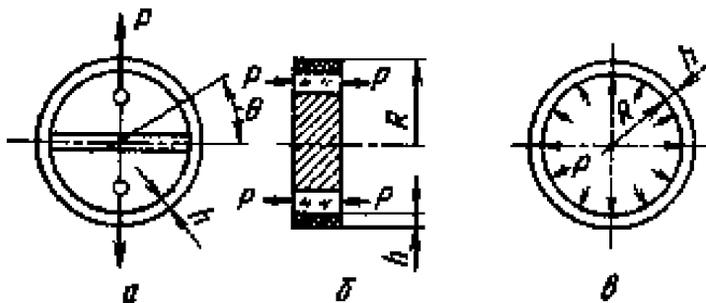


Рис. 7.1. Схемы нагружения кольцевых образцов при испытаниях на растяжение:
а – жесткими полудисками; *б* – эластичным кольцом;
в – гидростатическим давлением

Метод растяжения полудисками используют для определения прочности и модуля упругости в окружном направлении и прочности при сдвиге. ГОСТ 25603—82 предусматривает испытания колец с внутренним диаметром $150,1 \pm 0,1$ мм, толщиной $2 \pm 0,1$ мм, шириной для однонаправленных материалов $8 \pm 0,1$ мм.

При определении прочности образец с заданной скоростью нагружают до разрушения, фиксируют разрушающую нагрузку и определяют разрушающее напряжение:

$$\delta_p = \frac{P_p}{2Bh} k_{изг},$$

где P_p – разрушающая нагрузка; B – ширина кольцевого образца; h – толщина кольцевого образца; $k_{изг}$ – коэффициент, учитывающий влияние изгибающих напряжений при растяжении.

Прочность кольцевого образца, определяемая в зависимости от толщины образца и типа применяемого КМ, несколько занижена, так как при растяжении около разъемов полудисков образуется зазор, и на этом участке образец изгибается, что приводит к его преждевременному разрушению. С целью получения достоверных значений прочности вводят коэффициент $k_{изг} = 1,01...1,05$, зависящий от относительной толщины образца.

Модуль упругости при испытании кольцевых образцов считают, используя следующую формулу:

$$E_i^+ = \frac{\Delta P}{2Bh} \frac{\pi D}{2\Delta U},$$

где P – средний диаметр образца; ΔU – изменение расстояния между полудисками при увеличении нагрузки на ΔP .

Кроме того, модуль упругости можно определить через относительную деформацию образца, измеренную непосредственно в процессе испытания:

$$E_i^+ = \frac{P}{2Bh} \frac{1}{\varepsilon},$$

где P – приложенная нагрузка; ε – относительная деформация.

Относительную деформацию в этом случае определяют с помощью тензодатчиков, наклеенных на поверхность образца.

Чтобы исключить влияние эффектов, связанных с изгибом кольца в месте разъема жестких полудисков, используют методы создания равномерного давления на кольцевой образец. К ним, например, относятся методы нагружения эластичным кольцом, когда давление на об-

разец создается сжатием нового кольца в замкнутом пространстве, или гидростатически, когда давление создается упругим вкладышем – подушкой, в которую подается давление. Недостатки этих методов: необходимость специального оборудования и тщательной обработки внутренней поверхности испытуемого образца.

Сжатие кольцевых образцов осуществляют наружным давлением, которое создают жесткими полудисками, эластичным кольцом, гидростатическим давлением, металлической лентой (рис. 7.2.).

При испытаниях кольцевых образцов на сжатие прочность и модуль упругости подсчитывают в соответствии с формулами, используемыми при обработке результатов испытаний кольцевого образца на растяжение.

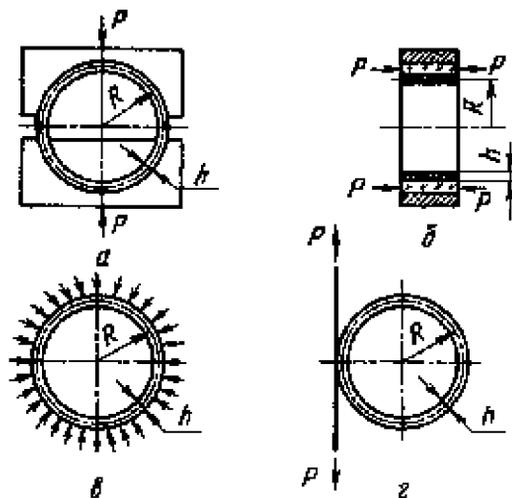


Рис.7.2. Схема нагружения кольцевых образцов при испытаниях на сжатие: a – жесткими полудисками; $б$ – эластичным кольцом; $в$ – гидростатическим давлением; $г$ – металлической лентой

7.2. Испытания трубчатых моделей на растяжение и сжатие

При проведении испытаний на растяжение (сжатие) определяют осевой модуль упругости, коэффициент Пуассона μ_{12} , предельные прочностные характеристики σ_1^+ , σ_1^- предельные деформационные

характеристики ε_1^+ , ε_1^- и строят диаграммы растяжения $\sigma_1^- = f(\varepsilon_1^+)$ и сжатия $\sigma_1^- = f(\varepsilon_1^-)$.

Сущность методики состоит в испытаниях трубчатых образцов осевыми растягивающими и сжимающими силами, измерении нагрузок и деформаций в рабочей части в продольном и поперечном сечениях. По измеренным параметрам определяют перечисленные выше характеристики и строят диаграммы деформирования.

Испытания на растяжение проводят в приспособлении, показанном на рис. 7.3. Образец зажимают клиновым зажимом, состоящим из тяги 3, четырехгранной усеченной пирамиды 1 и четырех фасонных плашек 2 с нарезкой, плоскости которых контактируют с гранями пирамиды, а цилиндрические поверхности – с внутренней поверхностью испытываемого образца. Тяга имеет резьбу и распорную гайку 5, с помощью которой через шайбу 4 осуществляют (при установке захвата в плоскость трубчатого образца) предварительный зажим образца.

Чтобы обеспечить соосное нагружение образца при испытаниях на растяжение и сжатие, тяги захвата присоединяют к траверсам испытательной машины через шарнирный переходник (рис. 7.4).

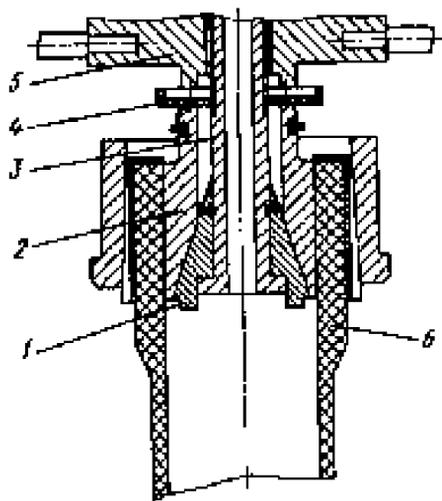


Рис. 7.3. Захват для испытаний трубчатых образцов на растяжение:
1 – пирамида; 2 – фасонная плашка; 3 – тяга; 4 – шайба;
5 – распорная гайка; 6 – образец

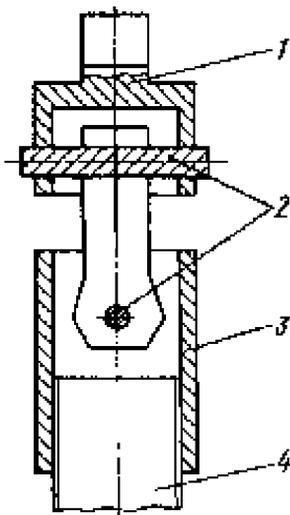


Рис.7.4. Шарнирный подвес:
1 – переходник; 2 – пальцы; 3 – втулка; 4 – тяга

Для проведения испытаний применяют машины, создающие необходимый уровень нагрузок, обеспечивающие скорость перемещения активного захвата до 10 мм/мин и погрешность измерения нагрузок не более 1%. Этим требованиям удовлетворяют испытательные машины фирм «Инстрон» (Англия), «Хек-керт» (Германия).

После установки образца в захваты тензорезисторы подключают к измерительным приборам. После тарировки по каналам нагрузки и деформаций плавно нагружают образец до разрушения, регистрируя показания тензорезисторов. После испытаний определяют характер и место разрушения образца.

По результатам испытаний рассчитывают: предельные деформации; предельные напряжения; упругие константы – и строят диаграммы растяжения – сжатия, а также зависимости осевой деформации от поперечной, характеризующие изменение коэффициента Пуассона на всем участке деформирования.

Прочность при растяжении – сжатии рассчитывают по формуле

$$\sigma_1 = \frac{P}{F}.$$

где P – разрушающая нагрузка; $F = \pi \left[\left(\frac{d}{2} + \delta \right)^2 - \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right]$ – площадь поперечного сечения (здесь d – внутренний диаметр образца; δ – толщина стенки).

Деформации, измеренные с помощью тензорезисторов, рассчитывают по известной формуле. Модуль упругости в соответствии с законом Гука вычисляют как соотношение приращения напряжения к соответствующему приращению деформации в упругой области диаграммы растяжения – сжатия:

$$E_{11} = \frac{\Delta\sigma_1}{\Delta\varepsilon_1}.$$

Коэффициент Пуассона определяют как абсолютное значение приращения деформации к соответствующему приращению продольной деформации в упругой области диаграммы растяжения–сжатия:

$$\mu_{12} = \left| \frac{\Delta\varepsilon_2}{\Delta\varepsilon_1} \right|.$$

7.3. Выполнение лабораторной работы

Для проведения лабораторной работы используется ГОСТ 26529-85 “Метод испытания на радиальное сжатие”

Образцы для испытаний изготавливаются из готовых изделий механической обработкой.

Механическая обработка должна исключать изменение свойств материала образцов вследствие нагрева, наклепа и других факторов и должна быть указана нормативно-технической документацией на конкретные изделия.

Образцы для испытаний должны иметь форму полого цилиндра, указанного на рис. 7.5.

Толщина стенки образца a должна быть не менее 2 мм. При этом отношение толщины стенки к его наружному диаметру D должно быть не менее 1/3.

Длина образца L должна быть не менее удвоенного значения его диаметра.

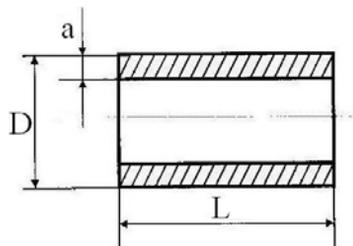


Рис. 7.5. Образец для испытаний

Толщину наружного диаметра и длину образца измеряют перед испытанием не менее чем в трех равноудаленных друг от друга местах с погрешностью не более установленной при измерении линейных размеров по ГОСТ 8.051-81 и вычисляют среднее арифметическое толщины, ширины и диаметра.

По средним из полученных размеров вычисляют толщину, ширину и диаметр образца.

Образец для испытания помещают между нажимными плитами испытательной машины таким образом, чтобы он находился в центре плит, как указано на рис.7.6. Нагружение образца проводят плавно и непрерывно.

Скорость нагружения образца выбирают в пределах от 2 до 20 МПа/с с таким расчетом, чтобы время от начала нагружения до разрушения образца было не менее 10 с.

Разрушают образец и определяют по шкале испытательной машины максимальную нагрузку, предшествовавшую его разрушению.

Испытание считается действительным, если относительная деформация образца в направлении радиального сжатия не превышает 10 %, а нагрузка в момент разрушения образца или появления в нем трещины уменьшается скачкообразно.

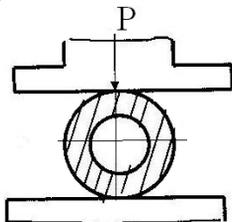


Рис. 7.6. Схема испытания образца

Обработка результатов. Предел прочности при радиальном сжатии образцов формы полого цилиндра $\sigma_{p.c}$ (максимальное напряжение, возникающее в момент разрушения или появления в нем трещины) в мегапаскалях вычисляют по формуле

$$\sigma_{p.c} = \frac{P_{max}(D-a)}{La^2}, \quad (7.1)$$

где P_{max} – наибольшая нагрузка, предшествовавшая моменту разрушения образца, Н; D – наружный диаметр образца, мм;

a – толщина стенки образца, мм; L – длина образца, мм.

Результаты вычислений округляют до первого знака.

Точная формула для определения предела прочности образца при радиальном сжатии образца следующая:

$$\sigma_{p.c} = \frac{0,954P_{max}(D-a)}{La^2} \times \left(1 - \frac{K^2}{3(1-K)^2} + \frac{L}{45} \times \frac{K^4}{(1-4)^4} \right), \quad (7.2)$$

где $K = \frac{a}{D}$; P_{max} – наибольшая нагрузка, предшествовавшая моменту разрушения образца, Н.

Отличие стандартного расчета от уточненного определяется соотношением

$$\sigma_{p.c} = \frac{\sigma_{Ipp.}}{B}. \quad (7.3)$$

Отсюда $B = 0,954 \times \left(1 - \frac{K^2}{3(1-K)^2} + \frac{L}{45} \times \frac{K^4}{(1-4)^4} \right).$ (7.4)

Множитель B для втулок с различным отношением a/D изменяется, как показано на рис 7.7.

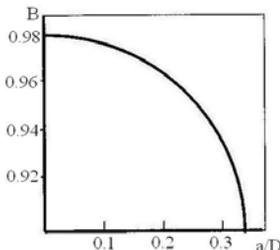


Рис. 7.7. Зависимость множителя B от отношения a/D

Контрольные вопросы

1. С помощью каких способов осуществляется растяжение кольцевых образцов?
2. Какие характеристики можно определить с помощью метода растяжения полудисками?
3. Какие характеристики определяются при испытании трубчатых моделей на растяжение и сжатие?
4. Исходя из чего подбирают скорость нагружения трубчатого образца при его сжатии?
5. В каком случае испытание на сжатие трубчатого образца считается действительным?
6. Каким образом проводится обработка результатов испытаний?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

Определение плотности керамических композиционных материалов методом гидростатического взвешивания

Используемое оборудование. Весы лабораторные равноплечие 2 класса *m* ВЛР-200г предназначены для точного определения массы вещества при производстве лабораторных анализов в различных отраслях народного хозяйства.

Таблица 8.1. Технические характеристики весов

Наименование параметров		Значение параметров
1	Наибольший предел взвешивания, г	20
2	Цена деления шкалы, мг	0,1
3	Цена деления делительного устройства, мг	0,005
4	Диапазон измерения массы по шкале, мг	0-10
5	Погрешность измерения массы по шкале, мг, не более	$\pm 0,005$
6	Вариации показаний весов из 5 измерений, мг, не более	0,015
7	Погрешность от неравноплечности, мг, не более	0,2
8	Погрешность включений встроенных гирь, мг, не более	$\pm 0,03$
9	Допускаемая погрешность взвешивания, мг, до 5 г от 5 до 20 г	$\pm 0,05$ $\pm 0,1$
10	Время успокоения колебаний коромысла, с, не более	30
11	Диапазон измерения массы с помощью гиревого механизма, мг	10-90
12	Напряжение питания весов переменным током частотой, 50 \pm 1 Гц, В	220+20-33

Устройство и принцип работы. Весы модели ВЛР-20 г являются равноплечими весами с наименованной шкалой и встроенными гирями на неполную нагрузку.

Работа на весах производится с применением методов точного взвешивания.

Весы состоят из следующих основных узлов (рис. 8.1): основания 1; коромысла 9 со стрелкой 19; серег 7 с подвесками 3; успокоителей

колебаний коромысла 4; гиревого механизма; изолира; оптического устройства; делительного устройства; кожуха 13; выносного трансформатора.

Корпус весов состоит из основания 1, платы, стоек, соединяющих основание и плату задней металлической стенки, переднего и боковых стекол.

На основании весов закреплена прямоугольная полая стойка 12, проходящая через отверстие в плате; в верхней части стойки крепится кронштейн с рычагами изолира 6 и опорная подушка. Между платой и основанием стойка закрыта коробчатым кожухом.

На основании закреплены также части изолира и оптического устройства.

Под основанием по центру весов выведена ручка 22, которая предназначена для настройки четкости изображения шкалы.

На плате установлены гиревой механизм, делительное устройство, детали оптического устройства, нижние корпуса успокоителей колебания коромысла.

Снизу в основание ввернуты три установочные ножки 18, две из которых регулируются.

Коромысло 9 выполнено из алюминиевого сплава.

На полотне коромысла 9 закреплены опорная призма 11, седла с грузоприемными призмами и стрелка 19.

Для регулирования нулевого равновесия справа и слева в коромысло ввернуты винты с тарировочными гайками 8.

Для регулировки положения центра тяжести в верхней части коромысла имеется винт с регулировочными гайками 10.

На нижнем конце стрелки закреплена оптическая шкала 21.

На грузоприемные призмы опираются подушками серьги 7; на нижних крючках серег подвешены стаканы успокоителей колебаний, на верхние крючки подвешиваются дужки с подвеской 3.

Воздушные успокоители колебаний коромысла 4 состоят из двух корпусов – верхнего (стакана) и нижнего.

При помощи гиревого механизма ручкой 14, производится наложение (или снятие) встроенных гирь на планку правой серьги. При повороте ручки в левом окне экрана появляются цифры, указывающие массу навешенных встроенных гирь (в десятках миллиграммов).

Механизм изолира состоит из валика с эксцентриками, штанги изолира, рычагов с подхватами 6, арретиров 2 и двух ручек 17.

Включение весов производится поворотом любой из ручек в верхнее положение.

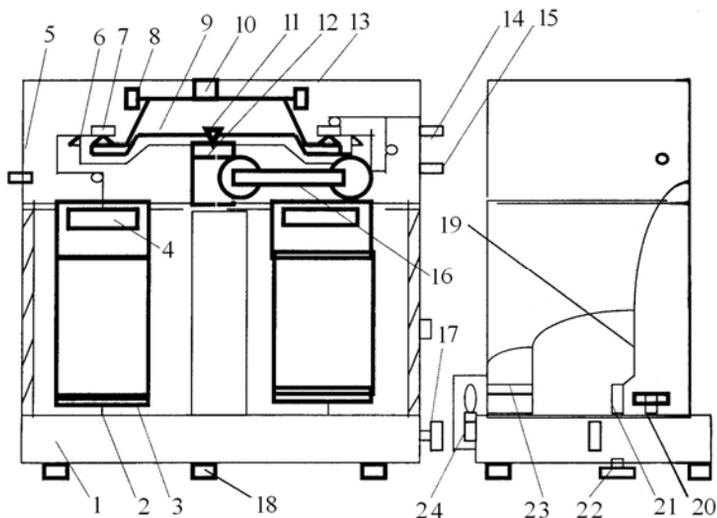


Рис. 8.1. Схема конструкции весов

При повороте ручек в нижнее положение происходит изолирование коромысла и серег, одновременно пружинные арретеры касаются чашек.

Оптическое устройство предназначено для проецирования шкалы на экран. Оно состоит из осветителя 24, конденсора 23, объектива 20, трех зеркал и экрана 16. Для снятия отсчета по шкале на экране имеется отсчетная отметка в виде двух параллельных штрихов.

Регулирование нулевого положения шкалы производится ручкой 5.

Делительное устройство позволяет снимать отсчет с диска в правом окне экрана. Диск делительного устройства разделен на 20 частей, которые обозначены оцифровкой от «00» до «95» через 5 единиц; полный оборот диска соответствует изменению отсчета по шкале на одно деление (0,1 мг). Установка отсчета производится ручкой 15.

На экране снимаются отсчеты по лимбу гиревого механизма, по шкале и диску делительного устройства. Схема расположения показаний на экране приведена на рис 8.2.

Если, например, в левом окне экрана установилась цифра 6 диска гиревого механизма, в центральном окне – отметка числа 2,5 шкалы и число 35 в окне делительного устройства, то суммарный отсчет на экране будет равен 62,535 (или 0,062535 г.). Сверху весы закрыты кожухом.

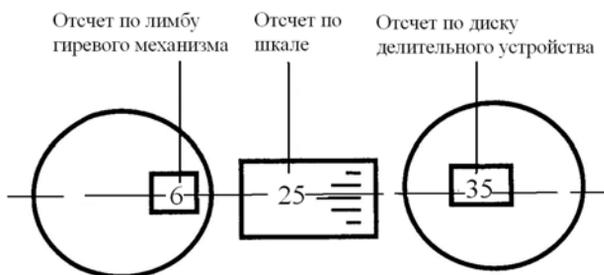


Рис. 8.2. Схема расположения показаний

Установка весов по уровню производится вращением регулировочных ножек в основании весов.

Включение (или выключение) подсветки шкалы производится микровыключателем при включении (или выключении) весов ручками 17.

Подготовка к работе

Проверку весов следует начинать не ранее, чем через 24 часа после их установки. Хождение возле рабочего места во время работы на весах не разрешается. Включение весов производится за 20-30 минут до начала работы.

Перед началом поверки еще раз убедитесь в том, что весы установлены по уровню. Проверьте также правильность установки нулевой отметки шкалы и отсутствие вибраций по изображению шкалы на экране.

Проверьте погрешность измерения массы по шкале в следующем порядке:

- а) установите диск делительного устройства на отметку «30»;
- б) с помощью гиревого механизма наведите кольцевую гирю 10 мг и уравновесьте ее гирей любого класса массой 10 мг на левой чашке весов так, чтобы положение равновесия коромысла было в пределах одного деления от нулевой отметки шкалы;
- в) ручкой регулирования нулевого положения введите нулевую отметку шкалы между штрихов отсчетной отметки экрана;
- г) с помощью гиревого механизма снимите навешенную встроенную гирю массой 10 мг;
- д) ручкой делительного устройства 15 введите отметку «10,0» шкалы в отсчетную отметку экрана;

е) с помощью гиревого механизма снимите навешенную встроенную гирию массой 10 мг;

ж) ручкой делительного устройства 15 введите отметку «10,0» шкалы в отсчетную отметку экрана и снимите отсчет по диску делительного устройства. Отсчет должен находиться в интервале отметок от «15» до «45»;

з) в случае, если отсчет по диску делительного устройства выходит из указанных в п. 5 табл. 1 пределов, произведите подрегулировку весов гайками регулировки центра тяжести 10.

Для этого снимите ручки на кожухе весов, кожух и ослабьте гайки центра тяжести. Поверните гайки центра тяжести на пол-оборота—оборот: против часовой стрелки – если отсчет по диску делительного устройства меньше «15»; по часовой стрелке, если отсчет больше «45».

Закрепите гайки центра тяжести, установите снятые с весов детали и вновь проверьте погрешность измерения массы по шкале, как указано выше.

ПРИМЕЧАНИЕ. Наложение гирь на чашки весов, их снятие навешивание и снятие встроенных гирь производите только при изолированном положении весов.

Проверьте вариацию показаний весов и погрешность из-за смещения нулевого положения. Для этого проведите поверку весов согласно табл. 8.2

Таблица 8.2. Проведение поверки весов

Нагрузка на чашки		Отсчет положений равновесия коромысла			Среднее значение отсчета положений равновесия коромысла		Разность положений равновесия
левую	правую	l_1	l_2	l_3	нагруж. весов L_p	ненагр. весов L_o	
О Р	О Р ₁				L_{p2}	L_{o1}	$\Delta L_1 = L_{p2} - L_{o1}$
О Р	О Р ₁				L_{p4}	L_{o3}	$\Delta L_2 = L_{p4} - L_{o3}$
О Р	О Р ₁				L_{p6}	L_{o5}	$\Delta L_3 = L_{p6} - L_{o5}$
О Р	О Р ₁				L_{p8}	L_{o7}	$\Delta L_4 = L_{p8} - L_{o7}$
О Р	О Р ₁				L_{p10}	L_{o9}	$\Delta L_5 = L_{p10} - L_{o9}$

Примечание: Р и Р₁ – две равные гири номинальной массой по 20 г каждая.

Расчет вариации показания весов (мг) производится по формуле

$$\Delta p = \Delta L_{\max} - \Delta L_{\min}, \quad (8.1)$$

где ΔL_{\max} и ΔL_{\min} выбирают по табл. 8.2 из пяти значений ΔL .

Погрешность весов (мг) из-за смещения нулевого положения определяется по формуле

$$\Delta o = \Delta L o_{\max} - \Delta L o_{\min}. \quad (8.2)$$

Примечание: При поверке следите, чтобы одни и те же гири каждый раз накладывались на те же чашки весов.

Вариация показаний и погрешность весов и из-за смещения нулевого положения не должны превышать 0,015 мг.

Регулировка весов с Δp и Δo , превышающими допустимое значение, должна производиться опытным механиком-юстировщиком.

Порядок работы

Перед началом работы ручкой 15 установите на отметку “00” диск делительного устройства и ручкой 5 введите нулевую отметку шкалы в отсчетную отметку экрана.

При работе на весах могут применяться методы прямого и точного взвешивания.

При прямом взвешивании в изолированном положении весов поместите взвешиваемый груз на левую чашку весов и уравновесьте его накладными гирями из комплекта Г-2-21, 105 и встроенными гирями (навешивая их ручкой 14 на правом плече коромысла).

Поворотом ручки 17 введите весы в рабочее положение.

Если после включения весов изображение шкалы не попадает на экран, то дополнительно накладывая (или снимая) накладные гири и навешивая (или снимая) гиревым механизмом встроенные гири, введите изображение шкалы на экран. Снимается отсчет.

При отсутствии необходимости в высокой точности результата взвешивания делительным устройством можно не пользоваться, снимая отсчет на экране только по лимбу гиревого механизма и по шкале.

Наложение и снятие накладных и встроенных гирь производите только в изолированном положении весов. Введение весов в рабочее положение, во избежание раскачивания подвесок, производите плавным поворотом ручки 17, при этом дверцы витрины должны быть закрыты.

Последовательность операций, выполняемых оператором при точном взвешивании, определяется выбранным методом точного взвешивания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Братухин, А.Г. Материалы будущего и их удивительные свойства / А.Г. Братухин, О.С. Сироткин, П.Ф. Сабодаш. – М.: Машиностроение, 1995. – 128 с.
2. Буланов, И.М. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов: учеб. для вузов / И.М. Буланов, В.В. Воробей. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1998. – 516 с.
3. Вашуков, Ю. А. Технология ракетных и аэрокосмических конструкций из композиционных материалов [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие/ Ю. А. Вашуков; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Электрон. текстовые и граф. дан. (1,96 Мбайт). – Самара, 2012. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).
4. Композиционные материалы: справочник / В.В. Васильев, В.Д. Протасов, В.В. Болотин [и др.]; под ред. Васильева В.В. и Тарнопольского М.Р. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
5. Крысин, В.Н. Технологические процессы формования, намотки и склеивания конструкций / В.Н. Крысин, М.В. Крысин. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.
6. Полимерные композиционные материалы / М.Л. Кербер, В.М. Виноградов, Г.С. Головкин [и др.]. – СПб.: Профессия, 2009. – 560 с.
7. Справочник по композиционным материалам: кн. 1 / под ред. Дж. Любина; пер. с англ. Л.Е. Геллера, М.М. Гельмонта. – М.: Машиностроение, 1988. – 448с.
8. Справочник по композиционным материалам: кн. II / под ред. Дж. Любина; пер. с англ. Л.Е. Геллера, М.М. Гельмонта. – М.: Машиностроение, 1988. – 584 с.
9. Степанов, А.А. Обработка резанием высокопрочных композиционных полимерных материалов / А.А. Степанов; Ленингр. отд-ние. – Л.: Машиностроение, 1987. – 176 с.
10. Сироткин, О.С. Проектирование, расчет и технология соединений авиационной техники / О.С. Сироткин, В.И. Гришин, В.Б. Литвинов. – М.: Машиностроение, 2006. – 331 с.

Учебное издание

Ващуков Юрий Александрович
Митрошкина Татьяна Анатольевна

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРОИЗВОДСТВА
АЭРОКОСМИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ
ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Лабораторный практикум

Редактор Т.К. К р е т и н и н а
Доверстка Л.Р. Д м и т р и е н к о

Подписано в печать 4.10.2016. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ. л. 4,75.

Тираж 120 экз. Заказ . Арт. 11/2016.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени академика С.П. КОРОЛЕВА»
(Самарский университет)
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского университета. 443086 Самара, Московское шоссе, 34.