

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Мозырский государственный педагогический университет
имени И. П. Шамякина»

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

В двух частях

*Рекомендовано учреждением образования
«Республиканский институт профессионального образования»
Министерства образования Республики Беларусь в качестве пособия
для учащихся учреждений образования, реализующих образовательные
программы среднего специального образования по группе специальностей
«Машиностроительное оборудование и технологии»*

Часть 2

Мозырь
МГПУ им. И. П. Шамякина
2014

УДК 620.22(075)
ББК 30.3я7
М33

Составители:

Л. Н. Бакланенко, кандидат технических наук, доцент кафедры основ машиностроения и МПМД;
А. В. Макаренко, старший преподаватель кафедры основ машиностроения и МПМД;
С. А. Литош, ассистент кафедры основ машиностроения и МПМД

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор УО «Белорусский государственный университет транспорта»

А. С. Неверов;

Директор УО «Жлобинский государственный профессионально-технический колледж»

Н. В. Алейник

Печатается по решению редакционно-издательского совета учреждения образования «Мозырский государственный педагогический университет имени И. П. Шамякина»

Материаловедение и технология конструкционных материалов. Лабораторный практикум: пособие: в 2 ч. / сост.: Л. Н. Бакланенко, А. В. Макаренко, С. А. Литош. – Мозырь: МГПУ им. И. П. Шамякина, 2014. – Ч. 2. – 57 с.
ISBN 978-985-477-522-7.

Учебно-методическое пособие к лабораторному практикуму по дисциплине «Материаловедение и технология конструкционных материалов» предназначено для изучения структуры и свойств цветных металлов и сплавов, пластичных смазок, древесины, композиционных материалов на полимерной основе, макро- и микроанализа; освоения необходимых для этого приборов и оборудования.

Разработано для студентов дневной и заочной форм получения высшего образования направлений специальности «Профессиональное обучение (машиностроение)» и «Профессиональное обучение (агроинженерия)».

Рекомендовано к использованию учреждениями образования, реализующими образовательные программы среднего специального образования по группе специальностей «Машиностроительное оборудование и технологии».

УДК 620.22(075)
ББК 30.3я7

ISBN 978-985-477-522-7

© Бакланенко Л.Н., Макаренко А.В.,
Литош С.А., составление, 2014
© УО МГПУ им. И. П. Шамякина, 2014

Учебное издание

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ
КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Пособие

В двух частях
Часть 2

Составители:

Бакланенко Людмила Николаевна

Макаренко Андрей Владимирович

Литош Станислав Андреевич

Корректор *Л. В. Журавская*

Оригинал-макет *Л. И. Федула*

Компьютерный дизайн обложки: *Е. В. Лис, Л. В. Клочкова*

Подписано в печать 09.12.2014. Формат 60x90 1/16.

Бумага офсетная. Ризография. Усл. печ. л. 3,6.

Тираж 56 экз. Заказ 30.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Учреждение образования «Мозырский государственный педагогический университет имени И. П. Шамякина».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий N 1/306 от 22 апреля 2014 г.

Ул. Студенческая, 28, 247760, Мозырь, Гомельская обл.

Тел. (0236) 32-46-29

СОДЕРЖАНИЕ

Общие методические указания	5
Лабораторная работа № 9. Анализ микроструктуры цветных сплавов	6
Лабораторная работа № 10. Выбор конструкционных материалов для изготовления деталей в машиностроении на основе медных сплавов	16
Лабораторная работа № 11. Выбор конструкционных материалов для изготовления деталей в машиностроении на основе алюминиевых сплавов	26
Лабораторная работа № 12. Определение свойств пластичных смазок	34
Лабораторная работа № 13. Изучение физических свойств древесины	42
Лабораторная работа № 14. Изучение композиционных материалов с полимерной матрицей	50

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ составлено в соответствии с учебной программой курса «Материаловедение и технология конструкционных материалов» для студентов дневной и заочной форм получения высшего образования инженерно-педагогического факультета. Пособие также рекомендовано для использования в учебном процессе учреждений образования, реализующих образовательные программы среднего специального образования по группе специальностей «Машиностроительное оборудование и технологии».

Во вторую часть пособия входят 6 лабораторных работ прикладного характера, которые потребуются в профессиональном становлении будущих специалистов машиностроительной отрасли. Работы посвящены изучению свойств конструкционных и эксплуатационных материалов, выбору или разработке их для определенных условий эксплуатации. В каждой работе приведены относящиеся к ней краткие теоретические сведения, содержание и порядок выполнения работы, а также формы отчетов.

Назначение учебного пособия – помочь студентам в формировании навыков самостоятельной работы по изучению структуры и свойств металлов и сплавов, использованию данных макро- и микроанализа, освоению необходимой для этого аппаратуры.

Перед выполнением лабораторной работы студенты должны усвоить меры безопасности. Студенты, не прошедшие проверку знаний или не выполняющие всех требований безопасности, от выполнения работы отстраняются.

Объем большинства лабораторных работ рассчитан на четыре учебных часа. Некоторые работы, носящие исследовательский характер, требуют для их выполнения больше времени. Эти работы целесообразно проводить таким образом, чтобы каждый студент выполнял только часть опытов, необходимых для своего исследования. Построение же результирующих графиков и их анализ каждый исполнитель проводит, используя данные всех опытов, проводящихся на занятии другими студентами.

Для самостоятельной работы студентам рекомендуется дополнительная литература и контрольные вопросы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №9 АНАЛИЗ МИКРОСТРУКТУРЫ ЦВЕТНЫХ СПЛАВОВ

Цель работы: изучение микроструктуры цветных сплавов.

Оборудование и материалы: металлографический микроскоп, шлифы, реактивы для травления шлифов.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

Все металлы и их сплавы, за исключением железа и его сплавов, относятся к цветным. Наибольшее значение имеют медь, алюминий, магний, цинк, свинец, олово, никель и их сплавы.

Сплавы меди. Латунь. Сплавы меди с цинком и небольшим количеством других элементов называются латунями. Сплавы, состоящие только из меди и цинка, называются простыми латунями. Сплавы меди с цинком образуют ряд фаз, представляющих собой твердые растворы или электронные соединения (рисунок 9.1). На диаграмме заштрихованные области относятся к латуням, которые редко или совсем не применяются как технические сплавы. Незаштрихованная область, охватывающая сплавы с содержанием цинка до 45%, относится к практически применяемым латуням [1].

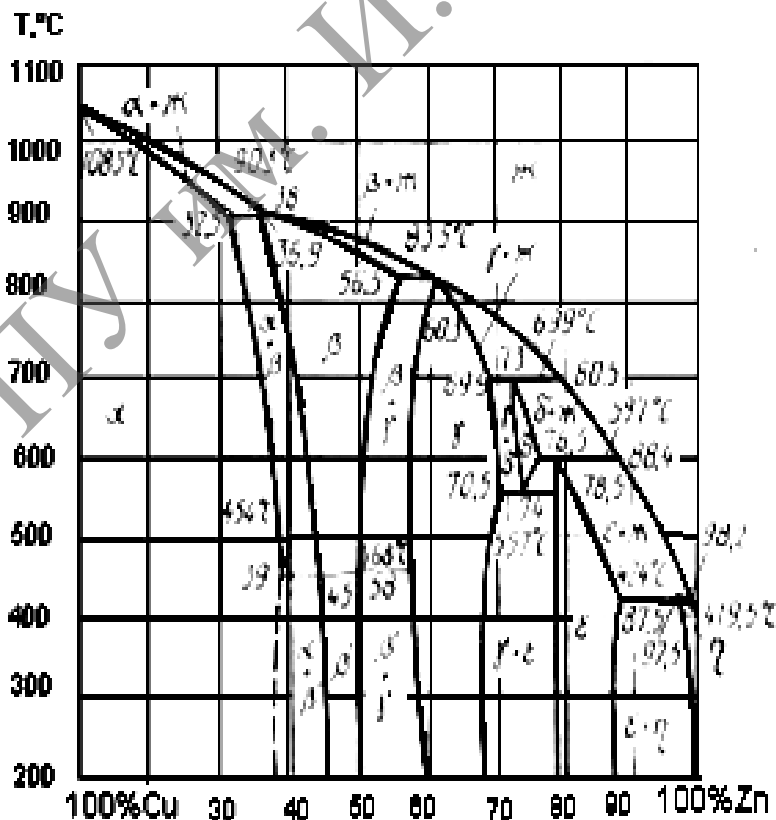


Рисунок 9.1. – Диаграмма состояния системы Cu–Zn

ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ!

Несмотря на то, что цинк был открыт только в XVI веке, латунь была известна уже древним римлянам. Они получали её, сплавляя медь с галмеем, то есть с цинковой рудой. Путём сплавления меди с металлическим цинком, латунь впервые была получена в Англии, этот метод 13 июля 1781 года запатентовал Джеймс Эмерсон (британский патент № 1297). В XIX веке в Западной Европе и России латунь использовали в качестве поддельного золота.

Во времена Августа в Риме латунь называлась «аури-халк», из которой чеканились сестерции и дупондии. Аури-халк получил название от цвета сплава, похожего на цвет золота [5].

Диаграмма состояния показывает, что при концентрациях до 39% образуется α -фаза – твердый раствор замещения цинка в меди, имеющий решетку куба с центрированными гранями. С повышением температуры растворимость цинка в меди уменьшается.

β -фаза представляет собой твердый раствор на базе электронного соединения CuZn

и имеет решетку центрированного куба. $\beta \rightarrow \beta'$ – фаза распространяется на область сплавов, содержащих от 46 до 50% Zn. CuZn может в себе растворять Cu и Zn. Это и означает, что β -раствор получается на базе соединения CuZn [1].

По структурному признаку практически применяемые латуни могут быть разделены на два типа.

Однофазные α -латуни, содержащие до 39% Zn. Эти латуни обладают наибольшей пластичностью, хорошо обрабатываются давлением в холодном и горячем состояниях, коррозионностойки; к α -латуням относятся медно-цинковые латуни марок: Л96, Л90, Л80, Л68. Структура их состоит из зерен α -раствора (рисунок 9.2).

Двухфазные $\alpha + \beta'$ -латуни, содержащие от 39 до 45% Zn. Двухфазные латуни обладают пониженной пластичностью, хорошо обрабатываются давлением в горячем состоянии, если они переведены в однофазное β -состояние. К двухфазным относятся латуни Л62 и Л59. Структура их при комнатной температуре состоит из светлых зерен α -раствора и темных включений β' -фазы (рисунок 9.3).



Рисунок 9.2. – Микроструктура однофазной латуни (30% Zn). Травление солянокислым раствором хлорного железа; $\times 250$

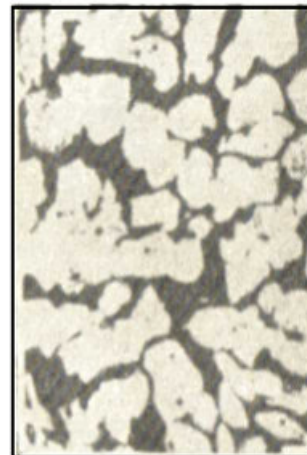


Рисунок 9.3. – Микроструктура двухфазной латуни (40% Zn). Травление солянокислым раствором хлорного железа; $\times 250$

Для повышения механических, коррозионных и других свойств в латуни вводят легирующие элементы: кремний, марганец и алюминий, которые не образуют новых фаз, так как они находятся в растворе в α - и β -фазах. Для улучшения обрабатываемости резанием в двухфазные латуни вводят свинец [2].

ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ!

Традиционную оловянную бронзу человек научился выплавлять ещё в начале Бронзового века, и очень длительное время она широко использовалась; даже с приходом века железа бронза не утрачивала своей важности (в частности, вплоть до XIX века пушки изготавливались из пушечной бронзы) [6].

Название «бронза» происходит от итал. bronzo, которое, в свою очередь, вероятно, произошло либо от персидского слова «begeņj», означающего «медь», либо от названия города Бриндизи, из которого этот материал доставлялся в Рим.

Плотность бронзы в зависимости от марки (и включения примесей) составляет 7800–8700 кг/м³; температура плавления 930–1140 °С.

сунке 9.4: α -фаза – это твердый раствор замещения олова в меди, имеющий кубическую гранецентрированную решетку; β -фаза – твердый раствор на базе электронного соединения Cu_3Sn , имеющий кубическую гранецентрированную решетку; γ -фаза – твердый раствор на базе химического соединения $\text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$.

На диаграмме состояния в области сплавов, содержащих до 20% Sn, сплошные линии характеризуют состояние, полученное при очень медленном охлаждении или отжиге отливки; пунктирные линии – состояние, полученное при более быстром охлаждении в условиях обычной отливки.

При медленном охлаждении структура оловянистых бронз, содержащих 4–6% Sn, будет состоять из зерен раствора и участков механической смеси $\alpha + \text{Cu}_{31}\text{Sn}_8$ или $\alpha + \text{Cu}_3\text{Sn}$ (рисунок 9.5). Для того, чтобы получить зерна однородного раствора в виде полиэдров, необходимо литейную бронзу подвергнуть обработке давлением и отжигу. Бронзы, содержащие 7–10% Sn, используются обычно для отливок.

Бронзы. Сплавы меди с оловом, алюминием, марганцем, кремнием, бериллием и другими элементами называются бронзами.

Оловянистые бронзы. Медь с оловом образует ряд фаз, представляющих собой твердый раствор. Часть диаграммы состояния Cu-Sn, представляющая наибольший интерес при изучении оловянистых бронз, приводится на ри-

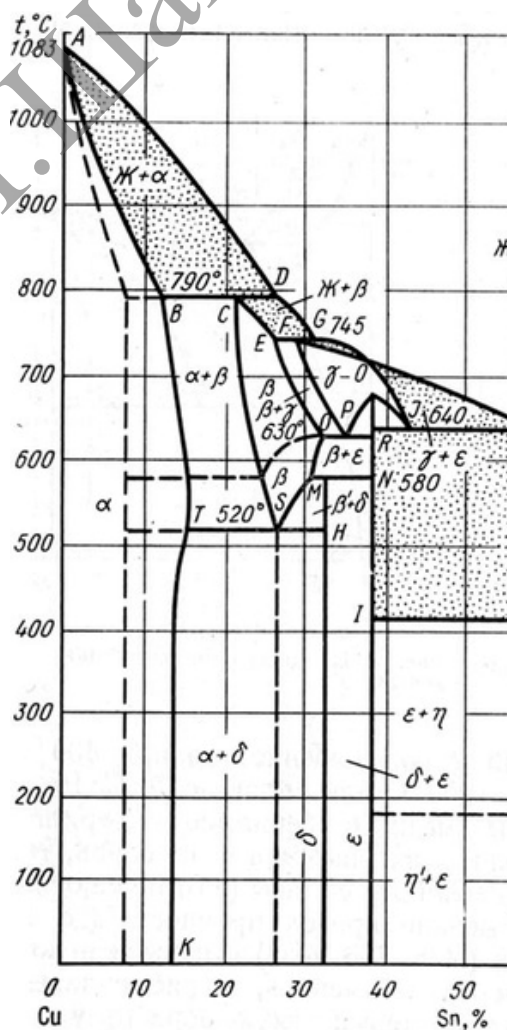


Рисунок 9.4. – Часть диаграммы состояния медь-олово



Рисунок 9.5. – Микроструктура однофазной оловянистой бронзы (5% Sn). Травление хлористой меди и аммония; $\times 250$

Цинк, фосфор и никель, вводимые в оловянистую бронзу, улучшают ее свойства и увеличивают количество эвтектоида, но не образуют новых фаз, т. к. эти элементы находятся в твердом растворе. Свинец, вводимый в оловянистую бронзу и нерастворимый в меди, улучшает обрабатываемость резанием. Оловянистые бронзы применяются для изготовления зубчатых колес, подшипников и арматуры, работающей в воде или паре.

Алюминиевые бронзы. Часть диаграммы состояния практически используемых сплавов

Cu-Al приводится на рисунке 9.6. Сплавы, содержащие до 9,8% Al, при медленном охлаждении образуют α -фазу – однородный твердый раствор алюминия в меди, и, следовательно, являются од-

нофазными (рисунок 9.7). При увеличенных скоростях охлаждения в сплавах, содержащих до 7–10% Al, не успевает произойти превращение $\beta \rightarrow \alpha$, и остающийся β -раствор при 537°C распадается с образованием механической смеси (эвтектоида) $\alpha + \beta$. Эти сплавы хорошо деформируются в холодном и горячем состояниях.

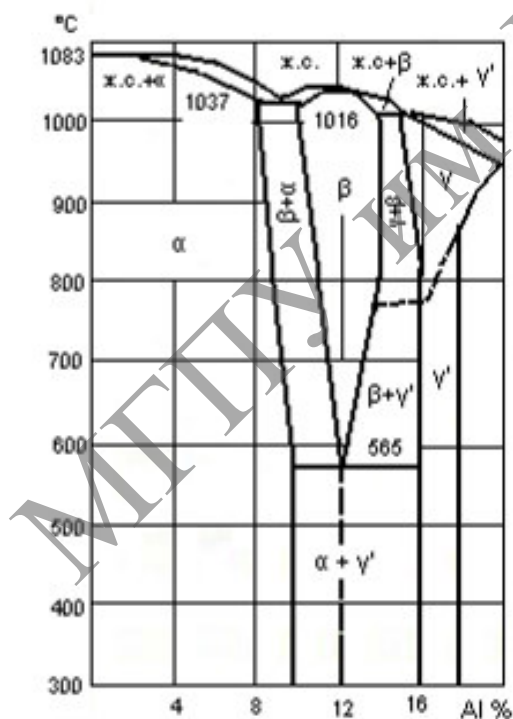


Рисунок 9.6. – Фрагмент диаграммы сплавов Cu-Al



Рисунок 9.7. – Микроструктура однофазной алюминиевой бронзы (5% Al). Травление солянокислым раствором хлорного железа; $\times 250$

Сплавы, содержащие 9,8–15,2% Al, состоят из зерен α -раствора и участков эвтектоида $\alpha+\beta$ и являются двухфазными сплавами. После травления кристаллы α -раствора будут светлыми, а эвтектоид – темным (рисунок 9.8).

Двухфазные алюминиевые бронзы подвергаются термической обработке, закалке и отпуску. После закалки сплав приобретает структуру типа мартенсита, состоящую из игольчатых кристаллов β' -фазы (рисунок 9.9). После отпуска структура сплава будет состоять из тонкой механической смеси фаз.

Двухфазные алюминиевые бронзы обладают большей прочностью, но меньшей пластичностью по сравнению с однофазными и применяются для тяжело нагруженных изделий [3].

Никель и марганец, вводимые в алюминиевую бронзу, не создают новых фаз, введение железа приводит к созданию богатой железом фазы.

Сплавы алюминия. Алюминий с медью, магнием, кремнием, цинком и другими элементами образует ряд технических сплавов, обладающих лучшими свойствами, чем чистый алюминий, и широко применяющихся в промышленности. Для упрощения алюминиевые сплавы изучают на основе двойных систем: Al-Cu, Al-Si, Al-Mg и др.

В этих системах сплавы разделяются на *деформируемые и литейные*.

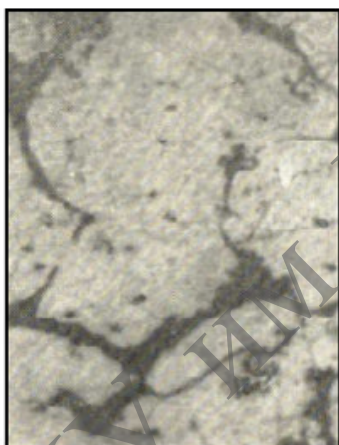


Рисунок 9.8. – Микроструктура двухфазной алюминиевой бронзы (10% Al). Травление солянокислым раствором хлорного железа; x 250



Рисунок 9.9. – Микроструктура закаленной алюминиевой бронзы (10,5% Al); x 250

К *деформируемым* относятся сплавы, состоящие в равновесном состоянии из твердого раствора с небольшим количеством других фаз или из одного твердого раствора и обладающие повышенной пластичностью.

Ряд компонентов, входящих в алюминиевые сплавы указанных выше систем, с алюминием образуют ограниченные твердые растворы переменной концентрации. С понижением температуры растворимость компонента уменьшается и из двойных твердых растворов выделяются кристаллы

избыточной фазы. В системе Al-Cu такой избыточной фазой является CuAl_2 (рисунок 9.10), в системе Al-Si – кристаллы Si (рисунок 9.11), в системе Al-Mg – кристаллы Al_3Mg_2 .

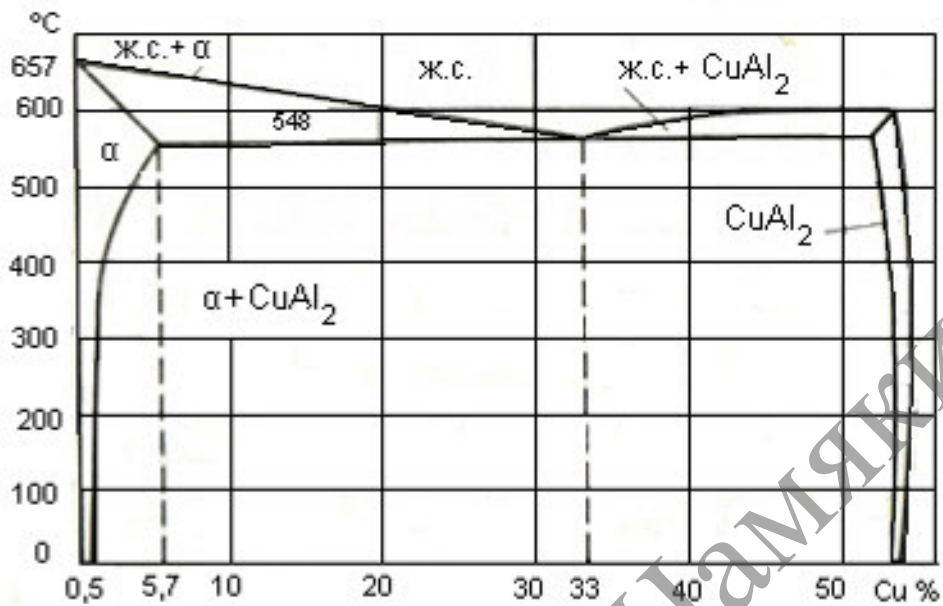


Рисунок 9.10. – Часть диаграммы состояния алюминий–медь

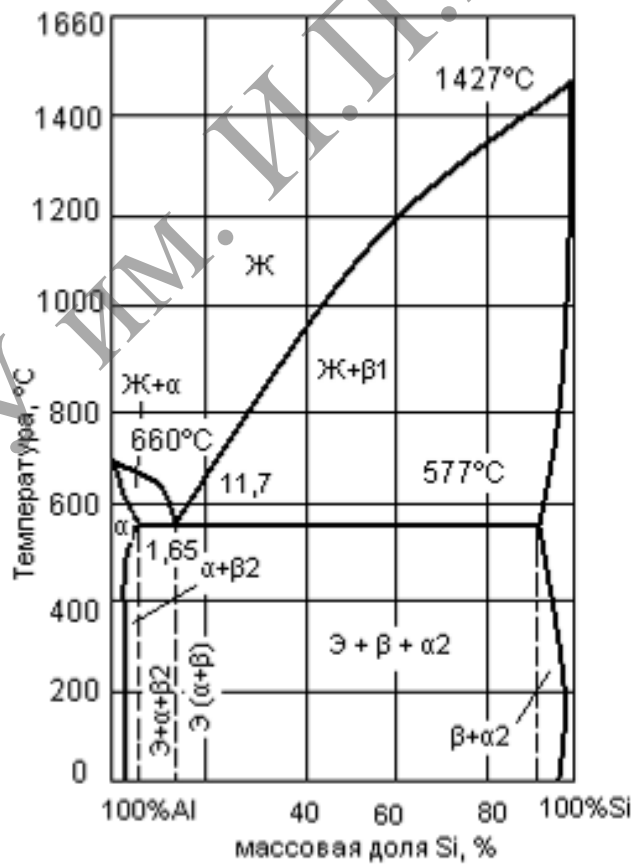


Рисунок 9.11. – Диаграмма состояния алюминий–кремний

Сплавы на основе Al-Cu представляют наиболее многочисленную группу и получили самое широкое распространение. В этой системе, в свою очередь, различают сплавы *деформируемые и литейные*. Из деформируемых нашли применение сплавы марок АК2, АК4, АК6, АК8 и дюралюмины марок Д1, Д6, Д16, Д18, ДЗП, обладающие высокой прочностью и достаточно высокой пластичностью. В состав дюралюминия входят следующие элементы: медь, магний, марганец и кремний, которые с алюминием и между собой образуют химические соединения, обладающие переменной растворимостью в алюминии.

ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ!

Фирменное название дюраль (Dural®) в русском языке стало по преимуществу разговорным и профессионально-жаргонным. Иногда встречаются также старая (основная до 1940-х) форма дюралюминий и англоязычные варианты дюралюмин, дюралюмин. Название происходит от немецкого города Дюрен, нем. Düren, где в 1909 году было начато его промышленное производство [7]. Дюралюминий разработан немецким инженером-металлургом Альфредом Вильмом (Alfred Wilm), сотрудником металлургического завода Dürener Metallwerke AG.

Дюралюмины подвергают отжигу, закалке и старению. В дюралюминии после медленного охлаждения будут присутствовать фазы: α -твердый раствор на базе алюминия (основа); химическое соединение Mg_2Si ; W-фаза и N-фаза (Cu_2AlFe) (рисунок 9.12).

После травления в NaOH или HF-W фаза – будет светло-серого цвета, а фаза N – в виде темных образований. Фазы – Mg_2Si и – W в структурных превращениях вызывают упрочнение сплава при термической обработке.

Термическая обработка дюралюминия состоит в закалке и естественном или искусственном старении. При нагреве фазы-упрочнители (Mg_2Si и W) растворяются в α -твердом растворе и структура сплава при этих температурах оказывается однофазной. Последующее быстрое охлаждение в воде позволяет зафиксировать этот пересыщенный однофазный твердый раствор (рисунок 9.13). В закаленном состоянии дюралюминий мягок, пластичен и легко деформируется.

После закалки и естественного старения структура сплава остается такой же, как и после закалки, т.к. происшедшие в процессе старения структурные изменения не могут быть обнаружены в оптическом микроскопе.

Литейные сплавы на основе Al-Cu применяют следующих марок: АЛ1, АЛ7, АЛ12, В195. Эти сплавы подвергают термической обработке для повышения механических свойств [4].

Сплавы на основе Al-Si называются силуминами. Они содержат от 5 до 14% Si, применяются в литом виде. Простые силумины, состоящие только из Al и Si, практически термической обработкой не упрочняются, несмотря на существование переменной растворимости Si в Al, т.к. Si растворяется в Al крайне незначительно (при 200°С – 0,05%, при 500°С – 0,8%). К таким сплавам относится силумин марки АЛ2.

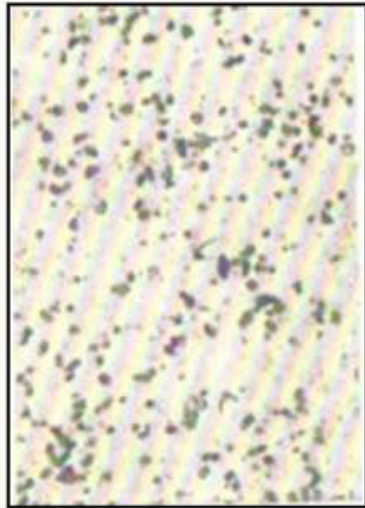


Рисунок 9.12. – Микроструктура отожженного дюралюминия; $\times 250$. Травление раствором кислот

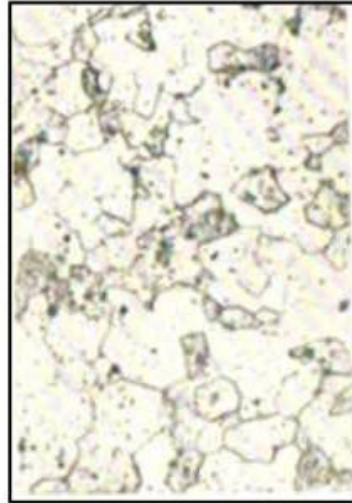


Рисунок 9.13. – Микроструктура закаленного дюралюминия; $\times 250$. Травление раствором кислот

Силумины, содержащие менее 10–12% Si, обладают пониженными литейными свойствами и меньшей прочностью, поэтому их упрочняют введением меди и магния. Медь с алюминием образует ограниченный твердый раствор и химическое соединение CuAl_2 . Магний с медью также образует ограниченные твердые растворы, из которых выделяется упрочняющая фаза Mg_2Si . Эти сплавы называются специальными силуминами, и их можно успешно подвергать термической обработке. К ним относятся силумины марок АЛ4, АЛ5, АЛ9 и АЛ10.

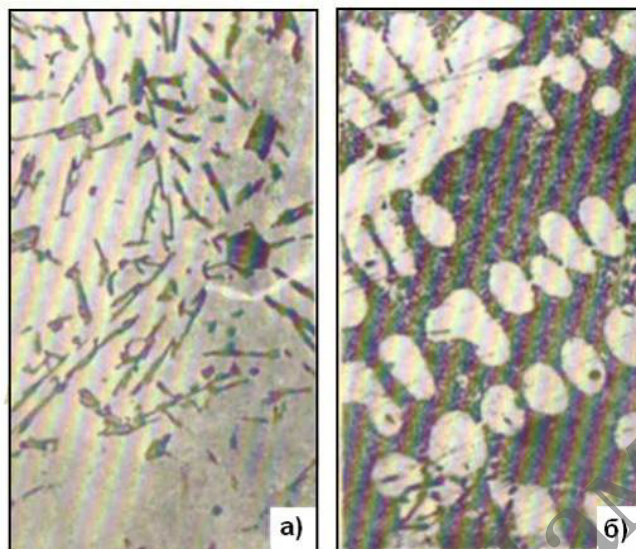
Структура сплавов, содержащих до 11,3% Si, состоит из кристаллов первичного α -твердого раствора кремния в алюминии и эвтектики алюминия и кремния (рисунок 9.14а). Структура сплавов, содержащих более 11,3% Si, будет состоять из первичных кристаллов кремния и эвтектики. Выделения кремния являются крупными, поэтому для измельчения их сплав модифицируют натрием (рисунок 9.14, б).

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Выбрать реактив для травления шлифов и протравить их.
2. Настроить микроскоп на увеличение в 100 раз и установить исследуемый образец на предметный столик микроскопа.
3. Зарисовать видимую под микроскопом структуру, указать стрелками различные структурные составляющие (фазы) и написать увеличение. Перечислить структурные составляющие (или фазы), присутствующие в сплаве, и описать форму их выделения (зернистая, игольчатая форма, по границам зерен). Указать, к какой группе относится сплав – к однофазным или двухфазным.
4. Указать положение изучаемого сплава на диаграмме состояния.

5. Объяснить различия в свойствах латуней и бронз в зависимости от структуры этих сплавов.

6. Оформить отчет и сдать преподавателю на проверку.



а – немодифицированного; б – модифицированного; х 250

Рисунок 9.14. – Микроструктура силумина (10% Si);

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА:

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Краткая характеристика сплавов меди и алюминия.
4. Диаграммы состояния медных и алюминиевых сплавов.
5. Микроструктуры сплавов меди и алюминия с указанием фаз и структурных составляющих.
6. Выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему чистые медь и алюминий не находят широкого применения как конструкционные материалы?
2. Какие виды сплавов на основе меди вы знаете? Назовите марки этих материалов.
3. Как влияет концентрация цинка на свойства латуней?
4. Какова структура двухфазной бронзы?
5. С использованием диаграммы состояния алюминий-медь объясните микроструктуру и процессы, протекающие при охлаждении и нагревании подобных сплавов.
6. Какие сплавы называются силуминами? Расскажите о видах силуминов и методах термической обработки.
7. Из каких микроструктурных составляющих состоит отоженный дюралюминий?

ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин, Ю.М. Материаловедение / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1990. – С.408–417.
2. Геллер, Ю.А. Материаловедение / Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштадт. М.: Металлургия, 1984. – С.321–327.
3. Чередниченко, В.С. Материаловедение. Технология конструкционных материалов / В.С. Чередниченко. – М.: Омега–Л., 2006. – С.555–574.
4. Фетисов, М.Г. Материаловедение и технология металлов / М.Г. Фетисов [и др.]. – М.: Высш. школа, 2001. – С.180–204.
5. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Латунь>.
6. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Бронза>.
7. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Дюралюминий>.

МГТУ им. И.П.Шамякина

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №10 ВЫБОР КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ НА ОСНОВЕ МЕДНЫХ СПЛАВОВ

Цель работы: научиться подбирать материал для изготовления деталей; виды и режим термической обработки для улучшения механических свойств; сравнивать механические свойства выбранного сплава с механическими свойствами стали.

Оборудование и материалы: учебные пособия, справочники, натуральные образцы.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

Медь – высокопластичный металл (δ – 50...60%) с низким пределом прочности ($\sigma_{\text{в}}=200...240$ МПа), который может быть повышен до 400–450 МПа за счет холодного деформирования. Пластичность при этом снижается до 2–5%. Исходные значения свойств могут быть восстановлены отжигом при 600–700° С. Дальнейшее повышение прочности меди достигается введением специальных добавок (например, 0,8–1% кадмия).

По способу изготовления деталей медные сплавы подразделяются на *деформируемые и литейные*. Из деформируемых изготавливают листы, ленты, трубы, полуфабрикаты различного профиля. Из литейных сплавов методом литья в формы получают фасонные детали и художественные изделия.

Медные сплавы обладают высокими механическими и технологическими свойствами, хорошо сопротивляются износу и коррозии. Большая часть медных сплавов не подвергается упрочняющей термической обработке либо потому, что они однофазны, либо потому, что эффект упрочнения очень мал. Твердость и прочность медных сплавов могут быть повышены в 1,5–3 раза за счет наклепа, который при необходимости может быть снят частично или полностью отжигом (600–700° С).

Медные сплавы подразделяются на *латуни, бронзы и медно-никелевые сплавы*.

ИНТЕРЕСНО ЗНАТЬ!

Медь – один из первых металлов, широко освоенных человеком из-за сравнительной доступности для получения из руды и малой температуры плавления. Он входит в семерку металлов, известных человеку с очень древних времён. Этот металл встречается в природе в самородном виде чаще, чем золото, серебро и железо. Латинское название меди *Cuprum* (древн. *Aes cuprium*, *Aes cuprium*) произошло от названия острова Кипр. У Страбона медь именуется халкосом, от названия города Халкиды на Эвбее. От этого слова произошли многие древнегреческие названия медных и бронзовых предметов, кузнечного ремесла, кузнечных изделий и литья. Второе латинское название меди *Aes* (санскр. *ayas*, готское *aiz*, герм. *erz*, англ. *ore*) означает руда или рудник.

Славянское **mědь* «медь» не имеет чёткой этимологии, возможно, исконное слово. В. И. Абаев предполагал происхождение слова от названия страны Мидия: **M*□*дь* из ир. *Māda* – через посредство греч. *Μηδία* [5].

Латуни подразделяются на однофазные (α -латуни) и двухфазные ($\alpha+\beta'$). Однофазные латуни характеризуются высокой пластичностью. β' -фаза очень хрупкая и твердая, поэтому двухфазные латуни имеют более высокую прочность и меньшую пластичность, чем однофазные.

Большинство латуней обрабатывается давлением. Особенно пластичны однофазные латуни. Они деформируются при низких и высоких температурах. Однако в интервале 300–700° С существует зона хрупкости, поэтому при таких температурах латуни не деформируют.

Двухфазные латуни пластичны при нагреве выше температуры превращения, особенно выше 700° С, когда их структура становится однофазной (β -фаза).

Для повышения механических свойств и химической стойкости латуней в них часто вводят легирующие элементы: алюминий, никель, марганец, кремний и т. д.

Олово, марганец и алюминий увеличивают прочность и коррозионную стойкость (так называемые "морские латуни"). Кремний повышает твердость и прочность, улучшает литейные свойства.

Основным видом термической обработки латуней является смягчающий отжиг перед пластическим деформированием при 600–700° С с медленным охлаждением. Такая обработка способствует увеличению доли пластической α -фазы в структуре латуней. Если требуется повышение прочности и твердости латуней, увеличение доли β -фазы охлаждения с указанных температур следует вести ускоренно (воздух, вода). При охлаждении в воде от изделий отстает окалина, что улучшает их товарный вид.

Отрицательным свойством латуней, содержащих более 20% Zn, и особенно более 30% Zn, является их склонность к растрескиванию при вылеживании во влажной атмосфере, и особенно в атмосфере, содержащей следы аммиака (так называемое "сезонное растрескивание"). Оно наблюдается в деформированных изделиях. Сущность такого явления заключается в предпочтительной коррозии по границам зерен. Для устранения этого явления после деформации латунь подвергают отжигу при 240–260° С.

Принята следующая маркировка латуней. Латунный сплав обозначают буквой «Л», после чего следуют буквы основных элементов, образующих сплав. В марках деформируемых латуней первые две цифры после буквы «Л» указывают среднее содержание меди в процентах. Например, Л70 – латунь, содержащая 70% Cu. В случае легированных деформируемых латуней указывают ещё буквы и цифры, обозначающие название и количество легирующего элемента, ЛАЖ60-1-1 означает латунь с 60% Cu, легированную алюминием (А) в количестве 1% и железом в количестве 1%. Содержание Zn определяется по разности от 100%. В литейных латунях среднее содержание компонентов сплава в процентах ставится сразу после

буквы, обозначающей его название. Например, латунь ЛЦ40Мц1,5 содержит 40% цинка (Ц) и 1,5% марганца (Мц).

Сплавы меди с оловом, алюминием, кремнием и др. элементами, среди которых цинк не является основной добавкой, называют *бронзами*.

Бронзы обладают хорошими литейными свойствами, некоторые бронзы имеют хорошую пластичность и хорошо обрабатываются давлением, резанием. Большинство бронз имеют хорошую коррозионную стойкость. Их широко используют как антифрикционные сплавы. Для улучшения свойств их подвергают термической обработке: отжигу, закалке и отпуску или пластическому деформированию с целью наклепа. Отжиг производится для снятия напряжений, устранения наклепа, получения однородной структуры; закалка от 700–750° С без отпуска – для повышения пластичности, с отпуском – для повышения твердости и прочности бронзы.

Оловянистые бронзы содержат до 12% олова, с повышением содержания которого увеличивается и прочность и твердость. Эти бронзы характеризуются высокими антифрикционными и упругими свойствами. *По методу изготовления изделий бронзы подразделяются на литейные и деформируемые.*

Для улучшения обрабатываемости резанием, повышения износостойкости и плотности отливок в бронзы вводят свинец и цинк [2].

Алюминиевые бронзы (5–11% Al) в настоящее время очень распространены, являются дешевыми заменителями оловянных бронз и даже превосходит их по ряду свойств: менее склонны к ликвации, обладают лучшей жидкотекучестью; характеризуются сравнительно высокими прочностными показателями, жаропрочностью, химической стойкостью. Из алюминиевых бронз изготавливают зубчатые колёса, сальники, детали турбин и др.

Кремниевые бронзы (1–3% Si) применяют в качестве заменителей оловянистой бронзы. Эти бронзы имеют хорошие литейные свойства, обрабатываются резанием, деформируются в горячем состоянии. Обладают высокой упругостью, выносливостью. Их используют для деталей, работающих до 500° С.

Бериллиевые бронзы (2–2,5% Be).

Бериллий – дорогой и редкий металл, однако комплекс свойств этих бронз настолько высокий, что их производство экономически оправдано.

Бериллиевую БрБ2 используют в приборостроении для изготовления ответственных пружин, мембран и других пружинящих деталей. Для этой бронзы характерны химическая стойкость, хорошая свариваемость, обрабатываемость режущим инструментом.

После термической обработки – закалки 780° С в воде и старения при 300°С 3 часа – сплав сильно упрочняется. Бронза БрБ2 приобретает σ_b до 1500 МПа при $\delta=2\%$ и твердости НВ375 [4].

Бериллиевая бронза является искробезопасной, поэтому из нее делают электрические контакты и ударный инструмент для работы во взрывоопасных атмосферах.

Медно-никелевые сплавы маркируют буквами МН и цифрой, указывающей суммарное содержание Ni+Co.

К медно-никелевым сплавам относятся следующие [3]:

1) *мельхиоры* МН19 и МНЖМц30-0,8-1, однофазные сплавы из α -твердого раствора серебристого цвета ($\sigma_{\text{в}}=350\text{--}400$ МПа). Обладает высокой коррозионной стойкостью в воздушной атмосфере, пресной и морской воде. Из мельхиора изготавливают конденсаторные трубы в судостроении, трубы термостатов, медицинский инструмент, изделия массового потребления;

2) *нейзильбер* МНЦ15-20 (Ni+Co=15%, Zn=20%) – однофазный сплав α , представляющий собой твердый раствор Ni+Zn+Co в меди, $\sigma_{\text{в}}=500\text{--}700$ МПа. Обладает высокими коррозионными свойствами и упругостью, хорошей полируемостью. Применяется в электротехнике (плоские пружины, реле, проволока для термопар и реостатов), автомобилестроении (игольчатые клапаны карбюраторов). Из него изготавливают приборы точной механики, медицинский инструмент, художественные изделия и монеты;

3) *копель* МНМц43-0,5 и *константан* МНМц 40–1,5 идут на производство компенсационных проводов и термопар.

ЗАДАНИЕ №1

Червяк редуктора для уменьшения коэффициента трения часто изготавливают из стали, а венец колес – из сплава на медной основе. Указать марку и состав сплава для венца, колеса, обладающего высокими антифрикционными свойствами и пределом прочности не ниже 250 МПа.

Объяснить, как изменяются механические свойства сплава в зависимости от условий литья (в кокиль или землю). Указать для сравнения состав, термическую обработку, структуру и механические свойства стали для изготовления червяка редуктора диаметром 30 мм, если предел прочности должен быть не ниже 700 МПа.

ЗАДАНИЕ №2

Трубки в паросиловых установках должны быть стойкими против коррозии. Необходимо подобрать марку сплава на основе меди, пригодного для изготовления трубок и не содержащего дорогих элементов. Привести состав выбранного сплава. Указать способ приготовления трубок и сравнить механические свойства выбранного сплава, получаемого после окончательной обработки, с механическими свойствами стали, стойкой против коррозии в тех же средах.

ЗАДАНИЕ №3

В химическом машиностроении применяют специальные латуни для изготовления литьем коррозионноустойчивых и тяжело нагруженных деталей. Необходимо выбрать марку медного сплава с пределом прочности не ниже 450 МПа, привести его состав, механические свойства, структуру и указать, в каких средах такой сплав является устойчивым. Сопоставить механические свойства латуни выбранного состава с аналогичными свойствами латуни ЛС59-1, указать область применения латуни ЛС59-1.

ЗАДАНИЕ №4

Необходимо изготовить зубчатые колеса из сплава, стойкого против действия воды и пара и обладающего небольшим коэффициентом трения. Объяснить, почему в таких условиях не применяют нержавеющей сталь, стойкую против коррозии в условиях воды и пара. Указать состав и структуру цветного сплава, не содержащего дорогих элементов и пригодного для изготовления подобных зубчатых колес.

ЗАДАНИЕ №5

Вкладыши коренных и шатунных подшипников двигателей внутреннего сгорания изготавливают, в том числе, из бронзы, отличающейся высокими антифрикционными свойствами и не содержащей особо дорогих элементов. Необходимо подобрать состав медного сплава и привести способ изготовления из него деталей, указать его строение и механические свойства, а также причины, по которым подобный сплав хорошо работает в условиях износа. Для сравнения привести состав и строение других антифрикционных сплавов, обладающих более низкими температурами плавления и применяемых для заливки подшипников.

ЗАДАНИЕ №6

Многие детали изготавливают из листа способом глубокой вытяжки. Необходимо выбрать состав медного сплава, обладающего высокой пластичностью и способностью принимать вытяжку, привести его состав и структуру. Указать режим и назначение термической обработки, применяемой между отдельными операциями вытяжки для повышения пластичности, а также механические свойства после вытяжки и после термической обработки. Привести состав стали, применяемой для глубокой вытяжки, и сопоставить механические свойства выбранного цветного сплава с аналогичными свойствами стали.

Пример выполнения задания

Многие изделия изготавливают из латуни вытяжкой из листа в холодном состоянии. Иногда в изделиях обнаруживаются трещины, возникающие без приложения внешних нагрузок (так называемое "сезонное растрескивание").

Необходимо объяснить сущность этого явления и указать способы его предупреждения. Подобрать марку латуни, не подверженной сезонному растрескиванию, описать структуру, механические и технологические свойства α - и β -латуней.

РЕШЕНИЕ

Латуни в зависимости от содержания цинка и структуры можно разделить на три класса:

- 1) α -латуни до 39,5%;
- 2) $\alpha+\beta'$ -латуни от 39,5 до 45,7%;
- 3) β' -латуни от 45,7 до 51%.

Увеличение содержания цинка изменяет структуру и свойства латуни. Увеличение содержания цинка до определенного предела повышает пластичность и прочность. Пластичность достигает максимальных значений при 30–32% Zn, а прочность – 40%. При дальнейшем содержании цинка прочность и пластичность снижаются. Это изменение свойств определяется свойствами соответствующих фаз, образующихся при введении цинка:

α -фаза представляет собой твердый раствор замещения, пластичность и твердость которой возрастает по мере увеличения содержания Zn;

β -фаза – твердый раствор на базе электронного соединения с объемно-центрированной кубической решеткой и упорядоченным расположением атомов.

Отличается повышенной хрупкостью и твердостью, поэтому образование β' -фазы снижает вязкость и повышает твердость.

Эти свойства фаз определяют технологический процесс изготовления изделий из различных сортов латуни, а также их назначение. Изделия из α -латуни изготавливают главным образом холодной или горячей деформацией, обработка резанием не дает достаточно чистой поверхности. Изделия из $\alpha+\beta'$ -латуни изготавливают горячей (прессование, штамповка) или холодной деформацией (но без вытяжки) или обработкой резанием. Изделия из α - или $\alpha+\beta'$ -латуней применяют в отожженном состоянии, поскольку термическая обработка (закалка и отпуск) не дает заметного эффекта.

Холодная деформация латуни создаёт в изделии остаточные напряжения. Они возникают и в результате местной холодной деформации (при изгибе деталей, чеканке, развальцовке).

При вылеживании или эксплуатации в латунных изделиях иногда возникают трещины. "Сезонное растрескивание" наблюдается главным образом в латунях с содержанием более 20% Zn и отчетливо обнаруживается, например, в полых изделиях, прутках. «Сезонное растрескивание» усиливается в химически активных средах, особенно в парах аммиака, ртутных солей, ртути, мыльной воде.

Образование трещин является результатом совместного действия остаточных напряжений, созданных холодной деформацией (наиболее опасны растягивающие напряжения), и химически активных сред.

Для предохранения от сезонного растрескивания нужен отпуск с нагревом до 200–300° С, это снимает большую часть остаточных напряжений и незначительно снижает прочность. В некоторых условиях не всегда возможно избежать сезонного растрескивания, в таких случаях применяют более дорогие, не склонные к сезонному растрескиванию латуни Л96 и Л90.

Механические свойства латуней и их состав: Л96 – 95–97% ост. Zn. Примеси Fe, Si ≤0,30%, $\sigma_B=35\%$;

Л90 – 89–90 Cu (ост. Zn). Примеси ≤0,30%, $\sigma_B=270$ Мпа, $\sigma=38\%$;

Л80 – 79–81 Cu (ост. Zn). Примеси ≤0,30%, $\sigma_B=280$ Мпа, $\sigma=45\%$. $\alpha+\beta'$ -латуни ЛС59-1 58-61Cu, 0,8-1,9 Р_в примеси 0,75%, $\sigma_B=350$ Мпа, $\sigma=30\%$.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получите задание у преподавателя.
2. Выберите состав материала в соответствии с полученным заданием, обладающего комплексом необходимых свойств, приведите его состав и структуру (таблицы 10.1–10.5). При необходимости укажите режим и назначение термической обработки. Опишите технологию изготовления деталей из выбранного материала.
3. При необходимости для сравнения приведите состав и строение других материалов, обладающих аналогичными или улучшенными свойствами. Опишите и сравните эти материалы.
4. Напишите отчет о работе в соответствии с указанными выше пунктами заданий.

Таблица 10.1. – Латуни: механические свойства, химический состав, назначение

Марка сплава	Химический состав, %					Механич. свойства		Назначение
	Cu	Al	Pb	Sn	др. эл-ты	σ_B , МПа	δ , %	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Простые латуни								
Пластичные однофазные, деформируемые в холодном и горячем состоянии								
Л-96	95-97	–	–	–	–	230	35	Трубки радиаторные, листы, ленты
Л-80	79-81	–	–	–	–	270	38	Трубки, ленты, проволока
Л-68	67-70	–	–	–	–	280	45	Листы, ленты для глубокой вытяжки
Меньшей пластичностью (двухфазные), деформируемые в горячем состоянии и литейные								
ЛС59-1	57-60	–	0,8–1,9	–	–	350	30	Листы, трубы, литье (хорошая обрабатываемость резанием)

Продолжение таблицы 10.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
2.Сложные латуни стойкие против коррозии Обрабатываемые давлением (однофазные)								
ЛА77-2	76-79	1,75-2,5	–	–	–	750	8	Трубы в морском и общем машиностроении
ЛО70-1	69-71	–	–	1-1,5	–	670	4	Трубы подогревателей
Литейные (двухфазные)								
ЛА67-2,5	66-68	2-3	0,7	–	–	450	45	Отливки в морском и общем машиностроении
3.Сложные латуни повышенной прочности и стойкие против коррозии Обрабатываемые давлением (однофазные)								
ЛАН59-3-2	57-60	2,5-3,5	–	–	2-3 Ni	–	–	Трубы тяжело нагруженные, детали в судостроении
ЛАЖ60-1-1	58-61	10,75-1,5	0,4	–	0,75-1,5 Fe	750	8	Судостроение
Литейные (двухфазные)								
ЛЦ40МцЗЖ	53-58	≤0,6	≤0,5	1,3-4,5	0,5-1,5 Fe	–	–	Судостроение
ЛМцОС 58-2-2-2	57-60	–	0,5-2,5	1,5-2,5	1,5-2,5 Mn	300	6	Шестерни, колеса зубчатые

Таблица 10.2. – Оловянные бронзы: механические свойства, химический состав, назначение

Марка сплава	Химический состав, %					Механические свойства		Назначение
	Sn	P	Zn	Ni	Pb	σ_b , МПа	δ , %	
Обрабатываемые давлением (однофазные)								
БрОФ6,5-0,15	6-7	0,1-0,25	–	–	–	400	65	Ленты, сетки в приборостроении, бумажной промышленности. Мембраны, пружины, детали, работающие на трение
БрОЦ4-3	3,5-4	–	–	2,7-3,3	–	180	8	Пружины, мембраны, контакты
Литейные (двухфазные)								
БрОц10-2	9-11	–	2-4	–	–	150	5	Шестерни, втулки, подшипники
БрОФ10-1	9-11	0,8-1,2	–	–	–	400	65	Шестерни, втулки, подшипники (пластичность выше)
БрОНС11-4-3	9-11	–	–	4	3	210	5	Шестерни, втулки, подшипники (при нагреве); втулки клапанов

Таблица 10.3. – Алюминиевые бронзы

Марка сплава	Химический состав, %			Механ. свойства		Назначение
	Al	Fe	Ni	σ_b , МПа	δ , %	
Высокой пластичности (однофазные)						
БрА5	4-6	–	–	800	4	Ленты, полосы для пружин
Высокой прочности (двухфазные)						
БрАЖ9-4	8-10	2-4	–	550	5	Шестерни, втулки, арматура для работ в морской воде
БрАЖН10-4-4	9,5-11	3,5-5,5	3,5-5,5	550	40	То же, при больших давлениях и трении

Таблица 10.4. – Кремнистые бронзы

Марка стали	Химический состав, %			Механ. свойства		Назначение
	Si	Mn	Ni	σ_b , МПа	δ , %	
БрКМу3-1	3	1	–	70	7	Пружины, трубы, втулки в судостроении, авиации
БрКН1-3	0,6-1,1	0,1-0,4	2,4-3,1	–	–	Втулки, клапана, болты, для работы в морской и сточных водах

Таблица 10.5. – Бериллиевые бронзы

Марка сплава	Химический состав, %				Механ. свойства		Назначение
	Be	Ni	Ti	Mg	σ_b , МПа	δ , %	
БрБ2	1,8-2,1	0,2-0,5	–	–	560	30	Высокопрочные и тонковедущие
БрБНТ1,7	1,6-1,85	0,2-0,4	0,1-0,25	–	420	50	Пружины
БрБНТ1,9	1,85-2,1	0,2-0,4	0,1-0,25	–	410	45	Мембраны
БрБНТ1,9Mg	1,85-2,1	0,2-0,4	0,1-0,25	0,07-0,13	400	40	Сифоны

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА:

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Характеристика и состав материала, область его применения.
4. Технология изготовления деталей из выбранного материала.
5. Выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. На какие виды разделяются медные сплавы? Охарактеризуйте их.
2. Какими преимуществами обладают медные сплавы?
3. Расскажите о структуре латуней.
4. Какие легирующие элементы вводятся в латуни и зачем? Какие недостатки присущи латуням?
5. Как маркируются латуни?
6. Охарактеризуйте конструкционные материалы – бронзы. Назовите виды бронз.
7. Какие виды медно-никелевых сплавов вы знаете? Опишите их.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин, Ю.М. Материаловедение / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1990. – С.406–408.
2. Геллер, Ю.А. Материаловедение / Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштадт. М.: Металлургия, 1984. – С.424–434.
3. Чередниченко, В.С. Материаловедение. Технология конструкционных материалов / В.С. Чередниченко. – М.: Омега-Л, 2006. – С.575–577.
4. Фетисов, М.Г. Материаловедение и технология металлов / М.Г. Фетисов [и др.]. – М.: Высш. школа, 2001. – С.203–204.
5. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Медь>.

МГТУ ИМ. И.П. ПАВЛОВА

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №11 ВЫБОР КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Цель работы: научиться подбирать материал для изготовления деталей; виды термической обработки для улучшения механических свойств; режим термической обработки; сравнивать механические свойства выбранного сплава с механическими свойствами стали.

Оборудование и материалы: учебные пособия, справочники, натуральные образцы.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

Алюминиевый сплав – сплав, основной массовой частью которого является алюминий. Самыми распространенными элементами в составе алюминиевых сплавов являются: медь, магний, марганец, кремний и цинк. Все алюминиевые сплавы можно разделить на две основные группы: *упрочняемые обработкой* и *не упрочняемые обработкой*.

Основные преимущества алюминиевых сплавов, определяющие область их применения, – малая плотность ($2,7-0,3\text{т/м}^3$) при достаточно высоких механических свойствах. Однако они уступают сплавам на железной основе в величине модуля упругости: 7×10^4 МПа у алюминия и 20×10^4 МПа у сталей и чугунов. Кроме того, алюминиевые стали мало пригодны для упрочнения поверхностного слоя способами химико-термической обработки и их твердость и износостойкость ниже, чем стали. Некоторые из них, особенно дюралюминий, недостаточно устойчивы против коррозии в обычной атмосфере и не обладают хорошей свариваемостью. *Алюминиевые сплавы (подобно стали и чугунам) делят на: деформируемые (прокаткой, прессованием, штамповкой); литейные; изготавливаемые способом порошковой металлургии.*

Принята буквенно-цифровая система маркировки алюминиевых сплавов. Буква, стоящая в начале означает:

А – технический алюминий;

Д – дюралюминий;

АК – алюминиевый сплав, ковкий;

АВ – авиаль;

В – высокопрочный алюминиевый сплав;

АЛ – литейный алюминиевый сплав;

АМг – алюминий-магниевый сплав;

АМц – алюминий-марганцевый сплав;

САП – спеченные алюминиевые порошки;

САС – спеченные алюминиевые сплавы [1].

Вслед за буквами идет номер марки сплава. За номером марки сплава ставится буква, обозначающая состояние сплава:

М – сплав после отжига (мягкий);

Т – после закалки и естественного старения;

А – плакированный (нанесен чистый слой алюминия);

Н – нагартованный;

П – полунагартованный [1].

Алюминиевые сплавы, обрабатываемые давлением для повышения прочности, подвергаются термической обработке: закалке, сообщающей структуру перенасыщенного твердого раствора, и старению (дисперсионному твердению) – естественному и искусственному. Кроме того, для их упрочнения используется и термомеханическая обработка, заключающаяся в закалке, холодной пластической деформации и старении.

Для повышения стойкости против коррозии некоторые сплавы, главным образом дюралюмины, плакируют, т.е. покрывают защитным слоем алюминия (что однако снижает прочность и износостойкость).

Сплавы используют в различных условиях эксплуатации, поэтому они не одинаковы по составу и свойствам и их целесообразно распределить на:

– сплавы высокой прочности, называемые дюралюминами (механические свойства указаны в таблице 11.1). Они имеют сложный механический состав: главным легирующим элементом являются медь и магний, а у сплава В95 – цинк;

– сплавы (дюралюмины), сохраняющие прочность при повышенных температурах (жаропрочные). Они используются при нагреве до 300–350°С (что ниже, чем у жаропрочных сталей и титановых сплавов). Дюралюмины этой группы имеют более сложный состав; большинство из них содержит дополнительно никель (при меньшем содержании меди);

– сплавы повышенной пластичности хорошо принимающие глубокую вытяжку и сварку. Содержащие медь ограниченно, вследствие чего прочность сплавов ниже 250 МПа, а пластичность выше, чем у дюралюминов;

– сплавы повышенной пластичности, свариваемости и стойкости против коррозии. Они легируются магнием и реже марганцем и в отличие от дюралюминов почти не содержат меди, т.е. компонента, который образует упрочняющие фазы и делает сплав многофазным и малоустойчивым против коррозии. Эти сплавы устойчивы против воздействия масел, бензина и т.п. Кроме того, они хорошо принимают холодную вытяжку и удовлетворительно свариваются [2].

Интересно знать!

Дюралюминий разработан германским инженером-металлургом Альфредом Вильмом (Alfred Wilm), сотрудником металлургического завода Dürener Metallwerke AG. В 1903 году Вильм установил, что сплав алюминия с добавкой 4% меди после резкого охлаждения (температура закалки 500°С), находясь при комнатной температуре в течение 4–5 суток, постепенно становится более твердым и прочным, не теряя при этом пластичности. Дальнейшие эксперименты со сплавами этой системы привели к освоению в 1909 году заводом Dürener Metallwerke сплава дюралюминия. Обнаруженное Вильмом старение алюминиевых сплавов позволило повысить прочность дюралюминия до 350–370 МПа по сравнению с 70–80 МПа у чистого алюминия. Распространённые в Европе (Великобритания и Швейцария) алюминиевые сплавы марок Hiduminium и Avional являются близкими по составу к дюралюминию сплавами других производителей [5].

Таблица 11.1. – Состав и свойства деформируемых алюминиевых сплавов

Тип сплавов	Марка	Содержание компонентов, %						Показатели свойств		
		Mn	Mg	Si	Cu	Fe	примеси	$\sigma_{в,}$ МПа	$\sigma_{0,2,}$ МПа	$\sigma\%$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Не упрочняемые термической обработкой	АМу 1	1,0-1,6	–	–	–	–	до 1,8 пр	130(220)*	50(180)*	50(5)*
	АМг 2	0,2-0,6	1,8-2,8	–	–	–	до 1,2 пр	190(250)*	100(210)*	23(6)*
	АМг 3	0,3-0,6	3,2-3,8	0,5-0,8	–	–	до 0,9 пр	100(240)*	100(200)*	15(7)*
Сплавы нормальной прочности**										
Упрочняемые термической обработкой	Д1	0,4-0,8	0,4-0,8	–	3,8-4,8	–	до 1,9 пр	210(420)	110(240)	18(18)
	Д16	0,3-0,9	1,2-1,8	–	3,8-4,9	–	до 1,5 пр	210(450)	110(330)	18(7)
	Высокопрочные сплавы									
	В93	–	1,6-2,2	–	0,8-1,2	0,2-0,45	6,3-7,3Zn до 0,4 пр	490	440	6
	В95	0,2-0,6	1,8-2,8	–	1,4-2,0	–	5,0-7 Zn до 1,1 пр	560	530	8
	В96	0,2-0,5	2,5-3,2	–	2,2-2,8	–	7,6-8,6Zn 0,1-0,25Zn	870	630	7
	Сплавы дляковки и штамповки									
	АК4	–	1,4-1,8	0,5-1,2	1,9-2,5	0,8-1,3	0,8-1,3 Ni до 0,6 пр	420	350	10
	АК6	0,4-0,8	0,4-0,8	0,7-1,2	1,8-2,6	–	до 1,2 пр	390	280	10
	АК8	0,4-1,0	0,4-0,8	0,6-1,2	3,9-4,8	–	до 1,2 пр	480	380	10
Упрочняемые термической обработкой	Жаропрочные сплавы									
	АКЧ-1	–	1,4-1,8	–	1,9-2,5	0,8-1,3	0,8-1,3 Ni 0,02-0,1 Ti до 0,85 пр	430	280	13
	Д-20	0,4-0,8	–	–	6,0-7,0	–	0,1-0,2 Ti до 0,95 пр	400	250	12

* – в скобках даны значения показателей в нагартованном состоянии;

** – в скобках даны значения показателей для закалочных и естественно состаренных сплавов.

Литейные алюминиевые сплавы подразделяются на следующие сплавы:

– сплавы с наиболее высокими литейными свойствами легируются кремнием, они называются силуминами. Эти сплавы имеют низкую температуру литья, хорошую жидкотекучесть, наибольшую чувствительность

к образованию литейных пор, но пониженные механические свойства (см. таблицу 11.2).

Силумины используют для деталей сложной формы, но не воспринимающих повышенных нагрузок;

– сплавы с повышенными механическими свойствами легируются магнием и медью; литейные свойства ниже, чем у силуминов.

Имеются 2 группы спечённых алюминиевых сплавов промышленного значения: САП (спечённая алюминиевая пудра) и САС (спечённый алюминиевый сплав).

Таблица 11.2. – Свойства и состав материалов из спеченных алюминиевых порошков

Марка материала	Содержание Al_2O_3 , %	Температура испытаний, $^{\circ}C$	Показатели свойств		
			σ_B , МПа	σ_{T_2} , МПа	σ , %
САП-1*	6-9	20	290	220	7
		350	150	130	8
		500	70	55	2,5
САП-2	9,1-13	20	350	280	4
		350	170	140	3
		500	100	70	2,5
САП-3	13,1-17	20	410	320	3
		350	190	150	1,5
		500	120	90	1,5
САП-4	18-22	20	450	370	1,5
		500	130	100	1,3

* – приведены свойства материала в виде прессованного и штампованного полуфабрикатов.

Спекаемые алюминиевые сплавы (САП) изготавливают спеканием алюминия в виде пудры, содержащей на поверхности слой окисла (Al_2O_3). В спеченном сплаве алюминий является матрицей ячеистого строения, в которую включены в качестве фазы-упрочнителя дисперсные частицы окислов Al_2O_3 . Оптимальное количество окиси алюминия 20–22%. Частицы Al_2O_3 химически не взаимодействуют с матрицей, не коагулируют при нагреве, вследствие чего прочностные свойства сплава мало изменяются при повышении температуры. Прочность при 20° С ниже, чем у дюралюминов, а при 200–300° С, наоборот, выше и стойкость против коррозии.

Сплавы САП используют преимущественно в качестве жаропрочных для работы при температурах на 30–50° С выше, чем деформируемых и литейных сплавов.

ЗАДАНИЕ №1

Сварные бензиновые и масляные баки, от материала которых не требуется высоких механических свойств, изготавливают в промышленности из легких листовых сплавов, обладающих повышенной стойкостью против коррозии, пластичностью и способностью хорошо принимать сварку.

Рекомендовать состав алюминиевого сплава, пригодного для данного назначения указать его структуру и механические свойства.

Для сравнения привести химический состав, а также режим термической обработки и структуру стали, стойкой против коррозии в указанных средах [2].

ЗАДАНИЕ №2

Детали колес, агрегатов и приборов, имеющих сложную форму и не испытывающие больших механических нагрузок, изготавливают литьём из легких сплавов (плотностью $2,7 \text{ т/м}^3$), обладающих хорошими литьевыми свойствами. Выбрать состав алюминиевого сплава, указать его микроструктуру, а также способы повышения механических свойств (в процессе выплавки) и происходящие при этом изменения строения сплава и механических свойств. Указать, для каких литейных сплавов на железной основе применяют аналогичные способы улучшения структуры и свойств.

ЗАДАНИЕ №3

Уменьшение массы поршня в двигателях внутреннего сгорания дает повышение мощности. Рекомендовать состав алюминиевого сплава с минимальной плотностью, пригодного для изготовления поршней. Указать химический состав сплава, его механические свойства и режим обработки.

ЗАДАНИЕ №4

Топливные и масляные баки и некоторые другие детали изготавливают из сплава с плотностью $1,7 \text{ т/м}^3$. Этот сплав имеет высокую пластичность в горячем состоянии, стойкость против коррозии, а также допускает сварку длинных швов. Привести химический состав алюминиевого сплава, его структуру, механические свойства. Сопоставить состав и структуру, механические свойства, стойкость против коррозии в условиях морской воды и влаги с аналогичными свойствами материалов, из легированной стали.

ЗАДАНИЕ №5

Бесшовные трубы опреснительных установок, подающие морскую воду, нагретую до $80\text{--}120^\circ \text{C}$, целесообразно для повышения их долговечности изготавливать из сплава со значительно большей стойкостью против коррозии в этих условиях, чем у нержавеющей стали.

Выбрать марку алюминиевого сплава и сопоставить его свойства со свойствами нержавеющей стали 12ХТ8Н9Т.

ЗАДАНИЕ №6

Отдельные нагруженные детали, например, тяги управления, изготавливают из легкого сплава с пределом прочности не ниже 400–450 МПа. Привести состав и плотность алюминиевого сплава, а также режим термической обработки и указать структуру и механические свойства после каждой операции термической обработки. Указать способы повышения коррозионной стойкости этого сплава.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Получите задание у преподавателя.
2. Выберите состав алюминиевого сплава в соответствии с полученным заданием, обладающего комплексом необходимых свойств, приведите его состав и структуру (используйте таблицы 11.1–11.5). При необходимости укажите режим и назначение термической, механической и других видов обработки. Опишите технологию изготовления деталей из выбранного материала.
3. При необходимости для сравнения приведите состав и строение других материалов, обладающих аналогичными или улучшенными свойствами. Опишите и сравните эти материалы.
4. Напишите отчет о работе в соответствии с указанными выше пунктами заданий.

Таблица 11.3. – Состав, свойства и способы переработки литейных Al-х сплавов [3]

Марка сплава	Содержание компонентов, %						Свойства				Способ литья
	Si	Mg	Cu	Mn	Ti	др. элементы	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma\%$	НВ	
Al 1	2	1,25-1,75	3,75-4,5	–	–	1,75-2,25Ni	220	–	2	2	З,О,В,К
Al 2	10-13	–	–	–	–	–	180	90	5	50	ЗМ,ОМ,ВМ,КМ,Д
Al 4	8-10	0,17-0,3	–	0,25-0,35	–	–	220	140	4	70	З,О,В,К,Д
Al 8	–	9,5-11,5	–	–	–	–	350	170	10	80	З,О,В,К
Al 27	–	9,5-11,5	–	–	0,05-0,15	0,05-0,15Be	360	180	18	90	З,О,В,К,Д
Al 29	0,5-1,0	6,0-8,0	–	0,25-0,6	–	–	210	–	3	60	Д
Al 7	–	–	4,5	–	–	–	240	160	7	65	З,О,В,К

Обозначения: З – в землю; О – в оболочковые формы; В – по выплавляемым моделям; К – в кокиль; Д – под давлением; М – модель.

Таблица 11.4. – Состав и свойства алюминиевых подшипниковых сплавов

Сплав	Cu	Fe	Mg	Ni	Si	др. элементы	$\sigma_{в}$, МПа	$\sigma_{т}$, МПа	$\sigma\%$	НВ при	
										20 ⁰ С	100 ⁰ С
АСС-6-5	–	–	0,5	–	–	5-6 Sb 4-5 P1	$\frac{81}{307}$	$\frac{27}{39}$	13,9	31,4	28,2
АСМ	–	–	0,5	–	–	3-5 Sb	$\frac{84}{577}$	$\frac{32}{97}$	29,4	28,6	25,6
АЖ6-5	–	4,5-6	0,35-0,55	–	–	–	$\frac{110}{329}$	–	10	37	42
Алькусин	7,0-9,0	до 1	–	–	1,0-1,25	–	$\frac{16}{30}$	100-120	0,4	60-70	–
АО3-1	0,8-1,2	–	–	0,3-0,5	1,7-2,1	2-4 Sn	11	–	2	42	–
АО9-2	2,0-2,5	–	–	0,8-1,2	0,3-0,7	8-10 Sn	15	–	4,5	55	–
АО20-1	0,7-1,2	–	–	–	–	Sn7-23	11	–	30	30	–
АН-2,5	–	–	–	2,7-3,3	–	–	12	–	20	35	–

Примечание:

1. В числителе даны значения показателей при растяжении, в знаменателе – при сжатии.
2. Свойства сплава АО20-1 после прокатки и отжига.

Таблица 11.5. – Назначение алюминиевых сплавов [4]

Марка сплава	НАЗНАЧЕНИЕ
1	2
Д1	Трубы, прутки, заклепки для конструкций средней прочности
Д16	То же, большей прочности
В(95), В(96)	Лонжероны самолетов, лопасти, штонгоуты, сплав высокой прочности
АК4	Диски и кольца турбореактивных двигателей, лопатки компрессоров, поршни
АВ (авиль)	Трубопроводы и детали, изготавливаемые глубокой вытяжкой
АМг2	Сварные баки, трубопроводы, оконные рамы
АМу, ММг6	Бензо- и маслопроводы, баки сварные, заклепки
АЛ2	Детали колес, агрегатов малой нагруженности
АЛ4	Крупные нагруженные детали моторов
АЛ9	Детали тонкостенные и сложной формы небольшой и средней нагруженности, сварные детали
АЛ	Корпуса и детали приборов
АЛ8 ⁺²	Ответственные узлы несложной формы, работающие при ударных нагрузках и во влажной атмосфере

Продолжение таблицы 11.5

1	2
АЛ7	Детали средней нагруженности, педали, рычаги, арматура, литейные свойства ниже, чем у магния
АЛ1, АЛ20	Головки и поршни цилиндров и др. детали ДВС, нагревающиеся до 275 ⁰ С
САП	Детали из листа профильного проката, нагревающегося до 300–325 ⁰ С

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА:

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Характеристика и состав материала, область его применения.
4. Технология изготовления деталей из выбранного материала.
5. Выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой материал называется алюминиевым сплавом? Какие существуют основные группы алюминиевых сплавов?
2. На какие виды разделяются алюминиевые сплавы? Охарактеризуйте их.
3. Какими преимуществами обладают алюминиевые сплавы?
4. Как осуществляется маркировка алюминиевых сплавов?
5. Какие виды термической обработки применяются для алюминиевых сплавов?
6. Охарактеризуйте литейные алюминиевые сплавы.
7. Расскажите о технологии получения спекаемых алюминиевых сплавов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лахтин, Ю.М. Материаловедение / Ю.М. Лахтин, В.П. Леонтьева. – М.: Машиностроение, 1990. – С.385–387.
2. Геллер, Ю.А. Материаловедение / Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштадт. М.: Металлургия, 1984. – С.375–383.
3. Чередниченко, В.С. Материаловедение. Технология конструкционных материалов / В.С. Чередниченко. – М.: Омега-Л, 2006. – С.562–566.
4. Фетисов, М.Г. Материаловедение и технология металлов / М.Г. Фетисов [и др.]. – М.: Высш. школа, 2001. – С.180–191.
5. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Дюралюминий>.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №12 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СВОЙСТВ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК

Цель работы: закрепление теоретического материала, изучение свойств пластичных смазок.

Оборудование: прибор для визуального исследования смазок, пене- трометр, прибор для определения температуры каплепадения, прибор для определения коллоидной стабильности.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

Пластичные смазки (консистентные смазки, от лат. *consisto* – состою, застываю, густею), мазе- или пастообразные смазочные материалы, получающиеся введением твердых загустителей в жидкие нефтяные или синтетические масла и их смеси [1]. Как правило, пластичные смазки (в литературе их для краткости часто называют просто смазками) – трехкомпонентные коллоидные системы, содержащие дисперсионную среду (жидкая основа, 80–90%), дисперсную фазу (загуститель, 10%–50% – мыло, твердые углероды, неорганические соединения), модификаторы структуры (стабилизаторы) и добавки (наполнители, присадки). Благодаря высокой концентрации коллоидные частицы загустителя образуют пространственный структурный каркас, в ячейках которого прочно удерживается масло. Большинство пластичных смазок имеет волокнистое строение.

Отличительная особенность пластичных смазок состоит в том, что в зависимости от условий работы они способны обладать свойствами твердых или жидких веществ.

Высокая степень структурирования дисперсной фазы придает смазкам пластичность, упругость и другие свойства, которыми они значительно отличаются от жидких смазочных материалов. При малых нагрузках или в их отсутствие пластичные смазки проявляют свойства твердых тел: не растекаются под действием собственной массы, удерживаются на вертикальных поверхностях, не сбрасываются инерционными силами с движущихся деталей. Однако при некоторых критических нагрузках (обычно 0,1–0,5, реже 2–3 кПа), превышающих предел прочности структурного каркаса, про-

Интересно знать!

Смазочным материалом может служить твердое вещество (например, графит), жидкость (скажем, жидкое масло) либо смесь масла с мылом – т.е. консистентная смазка. Кроме того, в качестве смазочных материалов используются многочисленные смеси жидких масел с различными добавками и присадками. Твердые смазочные материалы. Наиболее известным из короткого перечня твердых смазочных материалов является графит – темный минерал с жирным блеском, маслянистый на ощупь [2]. К твердым смазочным материалам относится также сульфид молибдена, который применяется как сухое поверхностное покрытие и как добавка к маслам и консистентным смазкам. Из пластиковых твердых смазочных материалов наиболее известен политетрафторэтилен, называемый также тефлоном.

исходят так называемые тиксотропные превращения: смазки разрушаются и начинают деформироваться – течь как пластичное тело без нарушения сплошности; после снятия нагрузок течение прекращается, разрушенный каркас восстанавливается и смазки снова приобретают свойства твердых тел.

Благодаря этому свойству, они получили широкое применение в узлах трения, к которым невозможно непрерывно подводить масло. Или масло не может удерживаться на трущихся поверхностях, при больших удельных нагрузках и малых скоростях, в трудногерметизируемых узлах.

Пластичные смазки не только уменьшают трение и износ, но также уплотняют подвижные и неподвижные соединения, предохраняют металлические поверхности от атмосферной коррозии. Они не требуют частой замены и могут работать весь период эксплуатации.

Жидкая основа в значительной мере определяет вязкостно-температурные характеристики, стабильность и другие свойства пластичных смазок. В качестве дисперсионной среды, содержание которой в смазках составляет 70–90% по массе, используют товарные нефтяные масла малой и средней вязкости (не более $50 \text{ мм}^2/\text{с}$ при 50°C). При подборе жидкой основы учитывают также химический состав (содержание смол, полициклических ароматических углеводородов, кислородных соединений), заметно влияющий на формирование структуры смазок. Для приготовления пластичных смазок, работоспособных при высоких температурах ($150\text{--}200^\circ\text{C}$ и более), служат обычно синтетические масла (полисилоксаны, полигликоли, сложные эфиры, перфтор- и перхлоруглероды и др.). Регулирование эксплуатационных свойств смазок и более эффективное их использование достигаются применением композиций синтетических и нефтяных масел [3].

Содержание загустителей в смазках составляет, как правило, 10–15%, при низкой загущающей способности – до 20–50% по массе. Загустители оказывают наибольшее влияние на структуру и свойства пластичной смазки и подразделяются на *органические и неорганические*.

Смазки на органических загустителях [4]:

- мыльные (загустители-соли высших жирных кислот (мыла);
- углеводородные (твердые предельные углеводороды C18–C35, C36–C55 и др.);
- пигментные (органические красители);
- полимерные (например, фторопласты);
- уреатные (алкил-, ацил- и арилпроизводные мочевины);
- на основе целлюлозы, солей терефталевой кислоты и т. д.

Улучшение качества смазок достигается присутствием в них модификаторов структуры и введением наполнителей и присадок.

Прочность пространственного структурного каркаса смазок повышается благодаря так называемым модификаторам структуры. Причины их присутствия в смазках:

- вносятся дисперсионной средой (например, смолы и нефтяные кислоты);
- образуются при приготовлении так называемых технологических ПАВ (продукты окисления жидкой основы, избыток жирового сырья и продукты его превращений);
- накапливаются при хранении и применении (кислородсодержащие соединения) и т. д.

Наполнители (1–15%, реже до 20% по массе и более) – твердые высоко дисперсные (размер частиц до 10 мкм) вещества – графит, технологический углерод (сажа), MoS_2 , BN, алюмосиликаты, порошки Sn, Cu и других металлов. Обладают слабым загущающим действием, практически нерастворимы в дисперсионной среде, образуют самостоятельную фазу в смазках и способствуют упрочнению их граничных слоев.

Присадки (0,001–5% по массе) – обычно органические соединения, растворимые в дисперсионной среде, оказывают существенное влияние на формирование структуры и реологические свойства смазок. Основные присадки:

- антиокислительные (например, ионол);
- антикоррозионные (нитро ванный окисленный петролатум и др.);
- противоизносные (например, трикрезилфосфат);
- вязкостные (полиизобутилены и др.) и т. д.

Эффективно также использование в пластичных смазках композиций присадок и наполнителей.

Пластичные смазки делят на два основных класса:

- универсальные, совмещающие антифрикционные, герметизируемые и защитные свойства;
- специальные, предназначены для определенных механизмов и условий работы.

В настоящее время выпускается большой ассортимент как универсальных, так и специальных смазок.

Обычно для маркировки пластичных смазок пользуются буквенными или цифровыми обозначениями, характеризующими их свойства [4]:

- У – универсальные;
- Н – низкоплавкие ($t_{пл}$ около 50°C);
- С – среднеплавкие ($t_{пл}$ до 80°C);
- Т – тугоплавкие ($t_{пл}$ выше 120°C);
- В – водостойкие;
- М – морозостойкие;
- А – активированные;
- З – защитные;
- Р – не растворяющие резины.

Нередко смазки выступают под номерами: 1–13, № 158 и т. п.

Основные характеристики пластичных смазок даны в таблице 12.1.

Таблица 12.1. – Некоторые основные характеристики типичных пластичных смазок

Смазка	Предел прочности, кПа		Вязкость, кПа*с		Испаряемость, % (при T=100°C, 1 ч)	Коллоидная стабильность, %	Температурный диапазон применения, °C
	T=50°C	T=80°C	T=0°C	T=20°C			
Общего назначения	0,2-0,3	-	0,1-0,2	0,08-0,15	1-4	1-5	-20-65
Многоцелевая	0,4-0,6	0,2-0,6	0,2-0,28	0,08-0,12	2-3 (при 150°C)	8-12	-40-120
Термостойкая	0,12-0,25	0,06-0,15	0,08-0,2	0,04-0,10	0,5-1 (при 150°C)	3-7	-60-150
Морозостойкая	0,18-0,4	0,1-0,15	0,16-0,35	0,085-0,115	1-2	8-15	-50-100
Химически стойкая	0,4-0,8	0	1-2,5	0,1-0,3	1	1-3	-20-50
Радиоационно-стойкая	0,37	0,2-0,26	0,18-0,21	0,12-0,13	2-6 (при 200°C)	3-8	-20-250
Приборная	0,15-0,4	0,06-0,1	0,5-0,7	0,15-0,2	0,5-2	3-9	-40-100
Для электрических машин	0,25-0,65	0,13-0,3	0,2-0,4	0,14-0,24	3-4 (при 150°C)	5-8	-30-100
Авиационная	0,12-0,24	0,11-0,2	0,05-0,18	0,05-0,07	0,5	8-16	-60-150
Космическая	0-0,24	0	0,07	0,03	0,9 (при 150°C)	10	-50-115
Металлоплакирующая	0,58	0,4	0,15-0,28	0,08-0,16	1	10-15	-40-130
Автомобильная	0,4-0,84	0,4-0,52	0,1-0,2	0,08-0,15	3,6	2-5	-30-100
Железнодорожная	0,4-0,6	0,15-0,25	0,37-0,43	0,2-0,3	<2,5	9-12	-40-120
Морская	0,35-0,8	0,24-0,38	1,2-2,0	0,4-0,7	0	1-5	0-75
Индустриальная	0,15-0,35	0,1-0,3	<0,11	0,055	1-2 (при 150°C)	3-10	-10-160
Консервационная	0,05-0,18	-	1,5-4,0	0,1-0,4	0	1-4	ниже 50
Канатная	-	-	0,25-0,36	0,02-0,75	0,8-1,5	-	-35-50
Уплотнительная	0,3-0,55	0,2	0,43	0,2	9,3 (при 150°C)	3-6	-25-130

Состав и область применения некоторых смазок приведены в таблице 12.2.

Таблица 12.2. – Состав и область применения пластичных смазок [3, 4]

Марка смазки	Примерный состав	Область применения
Солидолы жировые УС-1, УС-2	Индустриальное масло, калиевые масла растительных масел, стабилизатор	Среднеплавкие, влагоустойчивые; смазка различных узлов машин, соприкасающихся со влагой
Солидолы синтетические С и прессолидол С	Индустриальное масло, кольцевые масла синтетических жирных кислот, стабилизатор	
Смазка графитная УССА	Масло цилиндрическое, кольцевые масла синтетических жирных кислот, графит	Смазка узлов, работающих с большими нагрузками
Консталины УТ-1, УТ-2	Индустриальное масло, натриевые мыла растительных масел	Тугоплавкие и водостойкие, смазка узлов и машин, защищенных от влаги
Вазелин технический УН, ПВК	Индустриальное масло, твердые углероды	Низкоплавкие, смазка малонагруженных узлов машин, защищенных
Литол-24	Минеральное масло, литые мыла, антиокислительные присадки	Тугоплавкая, невлагоустойчивая смазка подшипников автомобилей
УНИОЛ-1	Авиационное масло МС-20, кальциевые мыла синтетических жирных кислот	Тугоплавкая, смазка различных узлов машин
1-13 жировая, 1-13Л (улучшенная)	Масло касторовое и минеральное, едкий натр, известь строительная	Среднеплавкая, смазка ступиц колес, шлицев карданов, подшипников
Смазка № 158	Авиационное масло МС-20 литиево-кальциевые мыла. Фталацинад меди	Среднеплавкая, смазка подшипников качения, карданных соединений

Качество применяемых смазок влияет на срок службы и надежность машин и оборудования. При эксплуатации машин и оборудования часто возникает необходимость в определении основных свойств смазки. Пользуясь такими признаками, как цвет, влагостойкость, растворимость, жировое пятно, число пенетрации, температура каплепадения, коллоидная стабильность, можно установить не только вид консистентной смазки, но в некоторых случаях и марку.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Пройдите инструктаж по мерам безопасности и получите задание у преподавателя.

2. Визуальным способом исследуйте цвет и внешний вид пластичных смазок.

Визуальное исследование цвета и внешнего вида пластичных смазок проводят с целью определения наличия механических примесей.

ГОСТы на пластичные смазки предусматривают два показателя качества по механическим примесям:

- механические примеси, не растворимые в спирто-бензольной смеси и воде;
- механические примеси, не растворимые в соляной кислоте;
- наличие в пластичных смазках частиц извести, используемой при изготовлении, абразивных веществ считается недопустимым, так как вызывает абразивный износ.

Визуальные исследования производят на приборе, который устроен следующим образом. Нижняя часть прибора состоит из металлической или деревянной камеры с электрической лампочкой мощностью 40 Вт. Сверху на камеру накладывают два стекла. На нижнее стекло устанавливается металлическая рамка толщиной 0,0002 м; в середине рамки на нижнем стекле помещается проба смазки массой 0,005 кг, что позволяет получить слой, имеющий площадь поверхности примерно 0,00025 м². Сверху смазки накладывается другое стекло, на которое надавливают рукой до тех пор, пока стекло не будет соприкасаться с рамкой. Оба стекла с заключенной между ними исследуемой смазкой помещаются в верхней части камеры и включается лампочка. Слой смазки рассматривается с помощью лупы. Если в слое смазки видны какие-либо включения (пузырьки воздуха во внимание не принимаются), песчинки и тому подобное, то необходимо проверить смазку на содержание двух видов механических примесей.

Пластичные смазки должны обладать цветом от светло-желтого до темно-коричневого. Ряд смазок с наполнителями могут иметь цвет от синего до черного.

3. Изучите основу смазок.

Определение основы смазок или характера мыла, на котором приготовлена смазка, осуществляется путем ее растворения в воде или бензине (растворителе).

Кусочек испытываемой смазки (0,005 кг) помещается в пробирку, добавляется вода или другой растворитель (0,002 л), подогревается до 60° С и тщательно перемешивается. Смазки на натриевой и литиевой основах растворяются в воде, смазки на углеродистой основе растворяются в бензине. Мыльные смазки в бензине не растворяются.

4. Определите вид консистентной смазки по жировому пятну.

Жировое пятно, образовавшееся на фильтровальной бумаге от нанесения на нее кусочка смазки, может позволить определить ее вид.

Фильтровальная бумага с пластичной смазкой подогревается над источником тепла, от него она полностью или частично расплывается, образуя масляное пятно. Технический вазелин расплавляется полностью, оставляя равномерное желтое пятно. Графитная смазка образует темное пятно с четко видимыми включениями графита. Солидолы оставляют мягкий остаток в центре обычно того же цвета, что и жировое пятно. Констатины кальциево-натриевые смазки образуют пятно небольшого диаметра или остаются не расплавленными даже при интенсивном нагреве до обугливания бумаги.

5. Изучите числа пенетрации.

Пенетрация характеризует густоту (консистентность) смазки и выражается в десятых долях мм глубины погружения в смазку конуса под действием собственной массы (0,15 кг) за 5 секунд при температуре +25° С. Число пенетрации определяется на пенетрометре. С изменением температуры число пенетрации меняется. Лучше та смазка, у которой с увеличением температуры меньше увеличивается пенетрация.

6. Исследуйте температуры каплепадения смазок.

Температура каплепадения позволяет определять температуру плавления смазки, при которой она теряет свои смазывающие свойства.

Для надежной смазки рабочая температура должна быть на 10–20° С меньше температуры каплепадения. Испытываемую смазку загружают в капсулу с отверстием 0,003 м, помещают в пробирку и подогревают со скоростью 1° С за 60 секунд, одновременно наблюдая за тем, при какой температуре упадет первая капля на дно пробирки. Отмеченная температура называется температурой каплепадения.

7. Определите коллоидную стабильность смазок.

Коллоидная стабильность характеризует способность пластической смазки сопротивляться выделению из нее жидкого масла как при хранении, так и в работе. В зависимости от количества выделившегося масла смазка ухудшает или полностью теряет смазывающие свойства.

Для определения коллоидной стабильности навеску смазки помещают в цилиндр, установленный на стопку фильтровальной бумаги. В верхней части цилиндра имеется поршень, на который давит груз, массой 1 кг, в течение $1,8 \cdot 10^3$ сек. Под действием массы поршня жидкое масло выпрессовывается из смазки и впитывается в фильтровальную бумагу.

Количество масла, перешедшего в бумагу, выраженное в процентах, и есть показатель коллоидной стабильности.

Если определение коллоидной стабильности осуществляют при комнатной температуре, то она характеризует стабильность смазки при хранении.

8. Напишите отчет о работе и сделайте выводы.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Схемы приборов и принцип их работы.
4. Результаты изучения свойств пластических смазок в соответствии с порядком выполнения работы (полученные результаты внести в таблицу 12.3).

Таблица 12.3. – Результаты эксперимента

№ п.п.	Наименование и марка смазки	Цвет	Однородность	Наличие твердых примесей	Температура каплепадения	Число пенетрации	Коллоидная стабильность
1	2	3	4	5	6	7	8

5. Заключение об области применения смазок.
6. Выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется пластичной смазкой?
2. Приведите классификацию пластичных смазок.
3. Объясните область применения пластичных смазок.
4. Каков состав пластичных смазок?
5. Назначение универсальных смазок.
6. До каких температур работоспособны пластичные смазки?
7. В каких машинах и механизмах используются графитные, литиевые, кальциевые, углеводородные смазки?

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://xumuk.ru/encyklopedia/2/3399.html>.
2. <http://www.slovoedia.com/14/209/1019159.html>.
3. Ваванов, В.В. Автомобильные пластичные смазки / В.В. Ваванов [и др.]. – М.: Высш. школа, 1986. – С. 38–96.
4. Сеницын, В.В. Пластичные смазки в машиностроении / В.В. Сеницын. – М.: Химия, 1984. – С. 25–143.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №13 ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ

Цель работы: научиться определять влажность и плотность древесины, а также определять линейную и объемную усушку.

Оборудование и материалы: комплект образцов, технические весы, бюксы, эксикатор, штангенциркуль.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

Древесина – хороший строительный материал, получаемый из стволовой части деревьев. Главные достоинства древесины – прочность, дешевизна и малый удельный вес (от 0,35 до 0,75 г/см³). По сравнению с металлами древесина имеет малую твердость и хорошо поддается различным видам обработки: пиленю, строганию, резанию, раскалыванию. Древесина имеет волокнистое строение. Прочность древесины неоднородна. Вдоль волокон она гораздо выше, чем в поперечном направлении, и зависит от породы деревьев, которые делятся на твердые и мягкие.

Интересно знать!

В лесах Беларуси произрастают 28 пород деревьев и около 70 видов кустарников. Самые распространённые породы деревьев в Беларуси – это берёза и сосна, которые встречаются на всей территории Беларуси, ель в северных районах страны и дуб в южных [1].

К твердым породам относятся дуб, бук, ясень и клен, к мягким – сосна, ель, липа, осина, ольха.

Свежесрубленная древесина содержит до 40–60% влаги, обладает пониженной прочностью, и поэтому перед обработкой ее высушивают на воздухе или в сушильных камерах.

По качеству и назначению древесину разделяют на деловую и топливо. Деловая древесина в свою очередь делится на круглую (бревна, подтоварник, жерди) и пиленую (доски, пластины, брусья). В машиностроении применяют чаще всего пиленую древесину. Из досок делают обшивку железнодорожных вагонов, кузовов грузовых автомашин и т.п. Чтобы повысить прочность древесины, из нее изготавливают фанеру-переклейку. Склеивая три или несколько слоев лущеной фанеры так, чтобы направление волокон различных слоев пересекалось, получают более прочный материал, чем доски [2].

Недостатками древесины являются малая по сравнению с металлами прочность, подверженность гниению, способность легко воспламеняться и впитывать в себя влагу. Предохранение древесины от гниения достигается пропитыванием различными веществами (креозот). Имеются также способы повышения огнестойкости древесины и уменьшения ее гигроскопичности.

К физическим свойствам древесины относят: внешний вид и запах, плотность, влажность и связанные с ней изменения – усушку, разбухание, растрескивание и коробление. К физическим свойствам древесины относятся также ее электро-, звуко- и теплопроводность [3].

Для определения физических свойств древесины по стандартной методике изготавливают образцы, которые затем подвергают испытаниям. Сначала из кряжей выпиливают сердцевинные доски, затем распиливают их на рейки (рисунок 13.1), а из реек изготавливают образцы. Форма и размеры образцов приведены в описании отдельных видов испытаний древесины.

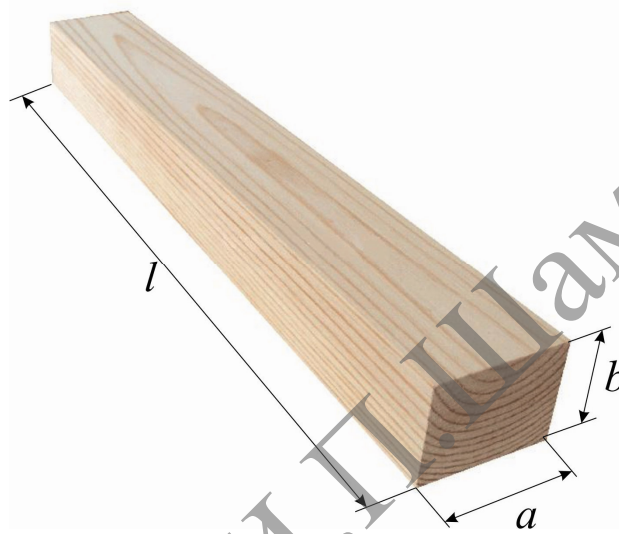


Рисунок 13.1 – Образец для определения величины усушки

При изготовлении образцов необходимо соблюдать следующие требования: образцы не должны содержать никаких пороков древесины; торцевые поверхности должны быть параллельными между собой и перпендикулярными боковым поверхностям; годовые слои на торцевых противоположных ребрах должны иметь тангентальные направления; грани образцов следует гладко отстругать и выполнить точно под угольник; высота образцов должна иметь направление по образующей годовых слоев, отклонения в размерах допускаются в пределах $\pm 0,5$ мм.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ

Влажность древесины определяют в процентах по отношению к массе абсолютно сухого образца. Образец размером $20 \times 20 \times 30$ мм очищают от опилок, пыли и помещают в предварительно взвешенную боксу. Боксу с образцом взвешивают на технических весах с точностью до $0,01$ г и, сняв крышку, ставят в сушильный шкаф, где при температуре $103 \pm 2^\circ \text{C}$ высушивают образец до абсолютно сухого состояния, которое определяют несколькими контрольными взвешиваниями. Образцы мягких пород (сосна, ель, осина) взвешивают через 6 ч после начала сушки, твердых (дуб, бук,

явень и т.п.) – через 10 ч. Последующие контрольные взвешивания производят через каждые 2 ч. Сушку заканчивают, когда разность между результатами последних двух взвешиваний будет не больше 0,02 г, после чего боксу закрывают в сушильном шкафу крышкой и переносят в эксикатор, в конусообразную нижнюю часть которого помещают безводный хлористый кальций. Боксу с образцом ставят на сетку эксикатора и охлаждают до комнатной температуры [2].

Влажность W вычисляют с точностью до 0,1% по формуле 13.1:

$$W = [(m_1 - m_2) / (m_2 - m)] \times 100\%, \quad (13.1)$$

где m – масса пустой боксы, г;

m_1 – масса боксы с влажным образцом, г;

m_2 – масса боксы с высушенным образцом, г.

В случае, когда древесина длительное время находилась при постоянной температуре и относительной влажности воздуха и не увлажнялась атмосферными осадками, ее влажность (равновесную) можно определять по диаграмме Н.Н. Чулицкого. Например, чтобы определить влажность древесины, хранящейся в помещении при температуре 20° С и относительной влажности воздуха 60%, по диаграмме устанавливают, около какой наклонной линии вертикальная линия, соответствующая температуре 20° С, пересекается с горизонтальной линией, соответствующей влажности 60%. Это пересечение происходит на линии, соответствующей влажности древесины 13%.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ДРЕВСИНЫ

Плотность древесины определяют на образцах прямоугольной формы при влажности древесины в момент испытания, в абсолютно сухом состоянии и с условной плотностью. Определение плотности древесины при влажности в момент испытания выполняют следующим образом. Из ранее изготовленных образцов в виде прямоугольных призм сечения 20x20 мм и высотой (вдоль волокон) 30 мм выбирают образцы. Подлежащие испытанию образцы должны иметь прямые углы и гладко выструганные поверхности. Размер поперечного сечения и длину (a , b и l) измеряют штангенциркулем с точностью до 0,1 мм по осям симметрии образцов. Объем вычисляют с точностью до 0,01 см³. Сразу после измерения образец взвешивают на технических весах с точностью до 0,01 г и вычисляют плотность $\rho_m(W)$ [2]:

$$\rho_m(W) = m_w / V_w, \quad (13.2)$$

где, m_w – масса образца при влажности W , г;

V_w – объем образца при влажности W , см³.

Найденную плотность пересчитывают на стандартную 12%-ную влажность древесины:

$$\rho_m(12) = \rho_m(W)[1 + 0,01(1 - K_0)(12 - W)], \quad (13.3)$$

где K_0 – коэффициент объемной усушки, %;

W – влажность.

Если коэффициент объемной усушки не определяется, то при пересчете для древесины березы, бука и лиственницы значение его берут равным 0,6, а для прочих пород – 0,5.

Плотность древесины в абсолютно сухом состоянии определяют на тех же образцах, которые затем подсушивают в течении 3 ч при температуре 50-60° С. После этого образцы высушивают в сушильном шкафу, при температуре 103±2°С до постоянной массы так же, как описано выше (см. определение влажности). Высушенные образцы взвешивают с точностью до 0,01г и штангенциркулем измеряют размеры поперечного сечения (a_0 и b_0) и длину l_0 по осям симметрии образцов.

Плотность древесины в абсолютно сухом состоянии ρ_0 вычисляют по формуле (13.4):

$$\rho_0 = m_0 / (a_0 \times b_0 \times l_0), \quad (13.4)$$

где m_0 – масса образца в абсолютно сухом состоянии, г;

a_0, b_0, l_0 – размеры образца, см.

Условная плотность древесины определяется на образцах с влажностью, равной или большей предела гигроскопичности. При этом допускается вымачивать образцы в дистиллированной воде при температуре 10–20° С до изменения размеров на 0,1 мм. Образцы измеряют, высушивают и взвешивают.

Вычисляют условную плотность древесины с плотностью до 1кг/м³ по формуле (13.5):

$$\rho_{\text{усл}} = m_0 / (a_{\text{max}} \times b_{\text{max}} \times l_{\text{max}}), \quad (13.5)$$

где m_0 – масса образца в абсолютно сухом состоянии, г;

$a_{\text{max}}, b_{\text{max}}, l_{\text{max}}$ – размеры образца при влажности, равной или большей предела гигроскопичности, см.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСУШКИ И РАЗБУХАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

При высыхании древесины от 30% (точка насыщения волокон) уменьшаются ее литейные размеры и объем, т. е. происходит усушка. Обратное явление – разбухание, т. е. увеличение размеров древесины и ее объема при увлажнении до 30% [2].

Различное строение древесины вдоль и поперек волокон, в тангентальном и радиальном направлениях, определяет и различное влияние влажности на величину усушки и разбухания. Так, в среднем изменение размеров древесины составляет по длине волокон 0,1%, в радиальном направлении 3–6% и тангентальном 6–12%. Поскольку усушка вдоль волокон незначительна и не имеет практического значения, ее обычно не определяют.

Линейную усушку древесины поперек волокон (радиальную и тангентальную) определяют на образце в виде прямоугольной призмы сечением 20x20x30 мм. Все поверхности образцов следует гладко обработать точно под угольник и щеткой очистить от пыли. На каждый образец наносят номер.

Размеры поперечного сечения образцов измеряют штангенциркулем с точностью не более 0,01 мм по осям симметрии, размер a в радиальном направлении и размер b в тангентальном направлении.

На технических весах взвешивают пронумерованные бюксы с притертыми крышками с образцами до высушивания, затем помещают бюксы с образцами и снятые крышки в сушильный шкаф для предварительного подсушивания при температуре 50–60°C в течение 3 ч. Затем образцы высушивают повторными взвешиваниями с точностью 0,01 г двух-трех образцов. Первое навешивание при высушивании мягких пород выполняют не ранее чем через 6 ч высушивания при $103 \pm 2^\circ \text{C}$, а при высушивании твердых пород – не ранее 10 ч. Повторные взвешивания проводят через 2 ч. Высушивание считается законченным, когда разница между двумя последними взвешиваниями будет не более 0,02 г. Перед взвешиванием образцы охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе гигроскопическим веществом.

После окончания высушивания вторично измеряют поперечное сечение образцов с точностью до 0,01 мм по тем же направлениям и в тех же местах, что и первый раз. Эти измерения следует проводить как можно быстрее, чтобы древесина образцов не успела поглотить влагу из воздуха.

По результатам взвешивания определяют влажность древесины по приведенной ранее формуле, а затем вычисляют с точностью до 0,1% усушки по следующим формулам (13.6, 13.7):

В радиальном направлении:

$$U_p = [(a - a_1) / a_1] \times 100, \% \quad (13.6)$$

в тангентальном направлении:

$$U_T = [(b - b_1) / b_1] \times 100\%, \quad (13.7)$$

где a , b – размеры влажного образца соответственно вдоль волокон, в радиальном и тангентальном направлениях;

a_1, b_1 – размеры влажного образца соответственно вдоль волокон, в радиальном и тангентальном направлениях после высушивания.

Коэффициент линейной усушки древесины, % (т. е. средней усушки на 1% уменьшения ее влажности), по тем же направлениям вычисляют с точностью до 0,01% по формулам (13.8, 13.9):

$$K_p = Y_p/W; \quad (13.8)$$

$$K_T = Y_T/W, \quad (13.9)$$

где W – влажность образца в %, определяемая на отдельной пробе, вырезанной рядом с образцом при его изготовлении.

Объемная усушка характеризуется уменьшением объема образца древесины при изменении ее влажности от точки насыщения волокон до 0.

Объемную сушку определяют тем же способом и на том же образце, что и линейную, но, кроме размеров a и b измеряют еще высоту l . По этим трем размерам определяют объем образца до V_w и после высушивания V_0 с точностью до $0,01\text{см}^3$ по формулам (13.10, 13.11):

$$V_w = a \times b \times l, \quad (13.10)$$

$$V_0 = a_1 \times b_1 \times l_1 \quad (13.11)$$

Объемную сушку $V_{об}$ вычисляют с точностью до 0,1% по формуле (13.12):

$$V_{об} = (V_w - V_0)/V_0 \quad (13.12)$$

Разбухание древесины определяют на образцах того же размера. Образцы вымачивают в дистиллированной воде при температуре 20–25°C. Изменение размеров проверяют повторным измерением двух–трех образцов в тангентальном направлении через каждые 3 сут. Когда расхождение между двумя последними измерениями будет не более 0,02мм, определяют размеры поперечного сечения образцов. Перед измерениями поверхность образцов следует обсушить фильтровальной бумагой. Измеряют и взвешивают образцы так, как описано выше.

Линейное разбухание древесины $P, \%$ с точностью до 0,1%, вычисляют по формулам (13.13, 13.14)

- в радиальном направлении:

$$P_p = [(a_{max} - a)/a] \times 100, \quad (13.13)$$

- в тангентальном направлении:

$$Y_T = [(b_{max} - b)/b] \times 100, \quad (13.14)$$

где a_{\max} , b_{\max} – размеры образца при влажности, равной или больше предела гигроскопичности (30%), т.е. после вымачивания в воде, мм.

Затем вычисляют объемное разбухание древесины P_v , %, не учитывая продольного разбухания, с округлением до 0,1% по приближенной формуле (13.15):

$$P_v = [(ab - a_0b_0) / a_0b_0] \times 100. \quad (13.15)$$

Коэффициент разбухания K_p вычисляют с точностью до 0,01% на 1% влажности по формуле (13.16):

$$K_p = P / W, \quad (13.16)$$

где P – линейное тангентальное или рациональное разбухание,
 W – начальная влажность образца, %, вычисленная с погрешностью до 0,1%.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Пройдите инструктаж по мерам безопасности и получите задание у преподавателя.
2. Определите влажность древесины.
3. Найдите плотность древесины при влажности W , в абсолютно сухом состоянии и условную.
4. Определите усушку древесины: линейную, объемную и коэффициент усушки.
5. Рассчитайте разбухание древесины и коэффициент разбухания.
6. Полученные результаты сведите в таблицу 13.1.
7. Зарисуйте образцы с указанием размеров для всех видов опытов.
8. По результатам эксперимента сделайте вывод и сдайте отчет на проверку преподавателю.

Таблица 13 – Результаты эксперимента

Порода древесины	W	$\rho_m(W)$	ρ_0	$\rho_{\text{усл}}$	U_p	U_T	K_p	K_T	V_w	V_0	$V_{\text{об}}$	P_p	P_T	P_v	K_p

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование и цель работы.
2. Краткие теоретические сведения.
3. Рисунки образцов древесины.
4. Выполненные расчеты и результаты эксперимента.
5. Выводы о проделанной работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите основные физические свойства древесины.
2. Где находит применение в машиностроении древесина?
3. Расскажите о преимуществах и недостатках древесины как машиностроительного материала.
4. Кратко изложите методику определения влажности древесины.
5. Что такое усушка и разбухание и как они определяются?

ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.fotobel.by/o-sajte/belarus-info>.
2. Зубарев, Г.Н. Конструкции из дерева и пластмасс / Г.Н. Зубарев. – М.: Высш. школа, 1990. – С.10–55.
3. Чередниченко, В.С. Материаловедение. Технология конструкционных материалов / В.С. Чередниченко. – М.: ОмегаЛ., 2006. – С.714–718.

МГТУ ИМ. И.П. ШАМЯКИНА

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №14 ИЗУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ПОЛИМЕРНОЙ МАТРИЦЕЙ

Цель работы: изучение теоретических основ и технологических приемов получения композиционных материалов с полимерной матрицей.

Оборудование и материалы: металлическая форма, фольга, ножницы, пинцет, парафин, резиновые перчатки, фарфоровая пиала, стеклянная палочка, эпоксидная смола, отвердитель, стекловолокно, штангенциркуль, микрометр, аналитические весы.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ТЕМЕ

Композиционные материалы (КМ) представляют собой металлические и неметаллические матрицы (основы) с заданным распределением в них упрочнителей (волокон, дисперсных частиц и др.); при этом эффективно используются индивидуальные свойства составляющих композиции. По характеру структуры КМ подразделяются на:

- 1) волокнистые, упрочненные волокнами и нитевидными кристаллами;
- 2) дисперсноупрочненные материалы, полученные путем введения в металлическую матрицу дисперсных частиц-упрочнителей;
- 3) слоистые материалы, созданные путем прессования или прокатки разнородных материалов;
- 4) эвтектические сплавы после направленной кристаллизации эвтектических структур.

Комбинируя объемное содержание компонентов, можно, в зависимости от назначения, получать материалы с требуемыми значениями прочности, а также создавать композиции с необходимыми магнитными, диэлектрическими, радиопоглощающими и другими специальными свойствами.

Важнейшими технологическими методами изготовления КМ являются:

- 1) пропитка армированных волокон матричным материалом;
- 2) формование в пресс-форме лент упрочнителя и матрицы, получаемых намоткой;
- 3) холодное прессование обоих компонентов с последующим спеканием;
- 4) электрохимическое нанесение покрытий на волокна с последующим прессованием;
- 5) осаждение матрицы плазменным напылением на упрочнитель с последующим обжатиением;
- 6) пакетная диффузионная сварка многослойных лент компонентов;
- 7) совместная прокатка армирующих элементов с матрицей и др.

К композиционным материалам с полимерной матрицей относятся: стеклопластики, органопластики, углепластики, боропластики и гибридные армированные пластики. Стеклопластики армированы стеклянными волокнами, органопластики – высокопрочными арамидными волокнами, углепластики – высокопрочными углеродными волокнами, боропластики – волокнами бора, гибридные – армированы волокнами разной природы. В качестве связующего применяются различные смолы: эпоксидные, резольные, фенолформальдегидные, кремний-органические и другие. Полимерная матрица (пластик) образуется после отверждения (полимеризации) связующего (смолы). Процесс превращения жидкой смолы в твердую называется отверждением. Армирующими элементами в конструктивных стеклопластиках являются непрерывные стекловолокна, организованные в виде нитей и жгутов различной степени крутки, либо ткани из стекловолокна различного переплетения. Слоистые стеклопластики на основе тканей называют стеклотекстолитами.

При сравнительно малой плотности ($2,4-2,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$) стеклянные волокна имеют высокую прочность, низкую теплопроводность, теплостойки, стойки к химическому и биологическому действию. Форма сечения стекловолокна – круг. Однако выпускаются и полые волокна и профилированные с формой сечения в виде треугольника, квадрата, шестиугольника, прямоугольника. Непрерывные волокна получают вытягиванием расплавленной стекломассы через фильеры диаметром 0,8–3,0 мм и дальнейшем быстрым вытягиванием до диаметра 3–19 мкм. Штапельное стеклянное волокно получают вытягиванием непрерывного стекловолокна и разрывом его на отрезки определенной длины или разделением расплавленного стекла на отдельные части, которые затем растягивают (раздувают) на короткие волокна центробежным или комбинированным способами.

По прочности стекловолокна (на один-два порядка) превосходят стекла в виде блоков. Так, модуль упругости стекловолокна ВМ-1 составляет 95 ГПа, а средняя прочность (на базе 10 мм) 4,80 ГПа. Стекловолокна весьма термостойки. У стекловолокон модуль упругости снижается незначительно вплоть до температуры размягчения. Стекловолокна применяются в качестве армирующих элементов композитов в виде жгутов и нитей из элементарных волокон, лент, тканей разнообразного плетения, матов, холстов и других нетканых материалов.

Совместимость полимеров – термин, отражающий возможность получения композиционного материала при смешивании исходных высокомолекулярных компонентов с определенным комплексом эксплуатационных свойств. Для каждой пары совместимость зависит от природы составляющих, их молекулярной массы и условий совмещения. В работах [2, 3] авторы предлагают разделять все полимерные смеси на совместимые, несовместимые и квазисовместимые, характеризующиеся макроскопической однородностью при отсутствии совместимости на молекулярном

уровне, то есть по термодинамической совместимости. Выделяют также понятие технологической совместимости, при которой отсутствует расслоение высокомолекулярных термодинамически несовместимых компонентов смеси в течение времени ее эксплуатации [4]. Хорошо известны методы оценки совместимости по механической однородности, оптической прозрачности, температуре стеклования полимерных смесей [5]. Тем не менее, существование значительного количества подобных методик не может характеризовать все многообразие различных аспектов изучаемого процесса.

Предложено использование методики качественной оценки технологической совместимости высокомолекулярных компонентов в бинарных полимер-полимерных смесях [6, 7]. Методика основана на проведении комплексного анализа спектров электронного парамагнитного резонанса стабильного нитроксильного радикала, введенного в исследуемую композицию. Сегментальную подвижность в исходных компонентах и их смесях в области быстрых вращений оценивали по изменению времени корреляции вращения стабильного нитроксильного радикала (τ_c).

Полимерная матрица образуется после отверждения (полимеризации) связующего. К связующим и матрицам предъявляется весьма широкий комплекс требований как в процессе изготовления материала, так и при эксплуатации изделия из композита.

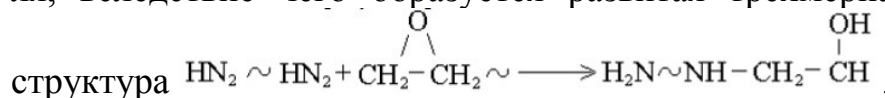
Комплекс требований на этапе изготовления: хорошая смачивающая способность и адгезия к армирующему материалу, низкая усадка при отверждении, низкая вязкость связующего при большой жизнеспособности, высокая скорость отверждения. Основными связующими являются эпоксидные, полиэфирные, термостойкие, полибутадиеновые смолы. Разработаны связующие нового типа, получившие название роливсанов, которые дают возможность сочетать высокую теплостойкость композита и легкую перерабатываемость связующего.

Комплекс требований, которые предъявляются к матрице на этапе эксплуатации: высокие физико-механические характеристики матрицы, во многом определяющие свойства композита, высокая термостойкость матрицы, стойкость к климатическим и биологическим факторам и т. д.

В качестве связующих для производства композиционных материалов широко применяются эпоксидные смолы. Эпоксидные связующие имеют плотность 1230–1300 кг/м³, модуль упругости при растяжении

2000–4000 МПа. Эпоксидные смолы содержат эпоксигруппу $\begin{array}{c} \text{O} \\ \diagup \quad \diagdown \\ -\text{C}-\text{C}- \end{array}$. Важной технологической характеристикой смол является их вязкость, при этом одна и та же смола может иметь различную вязкость. Так, например, разные марки эпоксидной смолы могут иметь вязкость 13–28 Па·с (смола ЭД-16) и $1,5 \cdot 10^3$ Па·с (смола АЦ-30).

Кроме армирующего компонента (для стеклопластиков – стеклянных волокон) и связующего (смолы), для протекания полимеризации на стадии формирования композиционных материалов с полимерной матрицей в систему вводят отвердители. Применяются различные отвердители: амины, ангидриды кислот, трехфтористый бор (BF_3) и другие вещества. При этом время отверждения смолы зависит от вида отвердителя. Так, отверждение эпоксидной смолы алифатическими аминами происходит гораздо быстрее, чем ароматическими. В первом случае "время жизни" смолы может варьировать от нескольких минут до нескольких часов, тогда как во втором до 24 часов и более. При смешивании эпоксидной смолы с отвердителем эпоксидные группы химически взаимодействуют с молекулами отвердителя, вследствие чего образуется развитая трехмерная пространственная



Жидкая смола при этом превращается в твердую, т.е. происходит отверждение. Ароматические и алифатические отвердители аминного типа содержат реакционноспособные группы на обоих концах молекулы. Это позволяет отвердителям образовывать сшивки между молекулами эпоксидов. Например, концевая аминогруппа (первичный амин) взаимодействует с эпоксидной группой, принадлежащей молекуле смолы, следующим образом: когда образовавшаяся при этом вторичная аминогруппа соединится с эпоксидной группой, принадлежащей второй молекуле смолы, образуется межмолекулярная сшивка.

Количество отвердителя и смолы, которое следует взять для получения точного стехиометрического соотношения реакционноспособных групп (количество массовых частей амина, которые следует вводить в 100 массовых частей смолы) рассчитывается как частное от деления молекулярной массы амина на произведение количества соответствующих атомов водорода в молекуле амина на эквивалентную массу эпоксидных групп.

Реакция между алифатическими аминами и эпоксидными группами протекает при комнатной температуре. В случае использования жестких ароматических аминов необходимо нагревание. Химическая связь между атомами углерода и азота, возникающая при "сшивании" смолы аминами, устойчива к действию большинства неорганических кислот и щелочей.

Известно много способов формования (придания формы) композиционных материалов с полимерной матрицей. Наиболее широко применяются следующие способы: прессование, контактный, контактно-вакуумный, автоклавный, намотка, напыление, центробежный и др. Правильность выбора метода изготовления конструкций изделий является важной технологической задачей, определяющей, как правило, их свойства, а также преимущества полимерных композиционных материалов перед другими материалами. При выборе способа изготовления изделий необходимо учитывать их назначение и требования, предъявляемые к ним,

конструкцию и габариты изделия, а также масштабы их производства. Кроме того, способ изготовления конструкций изделий зависит от типа армирующего волокнистого наполнителя и полимерного связующего. Параметры же процесса определяются в первую очередь типом используемого связующего и очень часто не зависят от применяемого армирующего материала. Выбор того или иного способа следует осуществлять, исходя, прежде всего, из конструктивных особенностей деталей, технических требований, предъявляемых к готовым изделиям, а также экономической целесообразности.

В данной лабораторной работе применяется метод контактного формования. Он является наиболее простым по аппаратурно-технологическому оформлению. В промышленности он применяется для изготовления сравнительно небольшого количества крупногабаритных малонагруженных изделий сложной конфигурации: лодок, крыльев автомобилей, небольших катеров, трехслойных, с пенопластовым наполнителем, кузовов специальных машин и укрытий антенн. Он считается экономически целесообразным, так как не требует сложной и дорогостоящей технологической оснастки и оборудования.

Суть метода: на подготовленную форму последовательно укладываются, пропитываются связующим и уплотняются до нужной толщины слои армирующего материала (стекловолокна в данной лабораторной работе). Процесс изготовления изделий методом контактного формования состоит из следующих операций: нанесение разделительных покрытий на формы, раскрой тканых или нетканых армирующих материалов, приготовление связующих, укладка армирующего материала на форму, нанесение на армирующий материал связующего и пропитки им арматуры, формование изделия с одновременным или последующим его отверждением при комнатной температуре или нагревании до 70–95° С после желатизации смолы, извлечение изделия из формы и механическая обработка его по контуру согласно требованиям чертежа [8].

Подготовка формы к работе

1. Изучить форму: форма металлическая, разъемная, состоит из трех частей – средней части и двух боковин (торцов) (рисунок 14.1). Внутренняя поверхность формы выкладывается фольгой, которая имеет гладкую поверхность.

2. Ножницами нарезать фольгу, размерив по внутренней поверхности формы, т. е. с двух торцов и средней части.

3. Отполировать одну поверхность фольги парафином. Для этого зажечь свечу и наклоном ее сливать струйки парафина на фольгу. Салфеткой втереть парафин в фольгу. Затем снова повторить операцию полировки фольги парафином. После нанесения очередного слоя парафина фольга

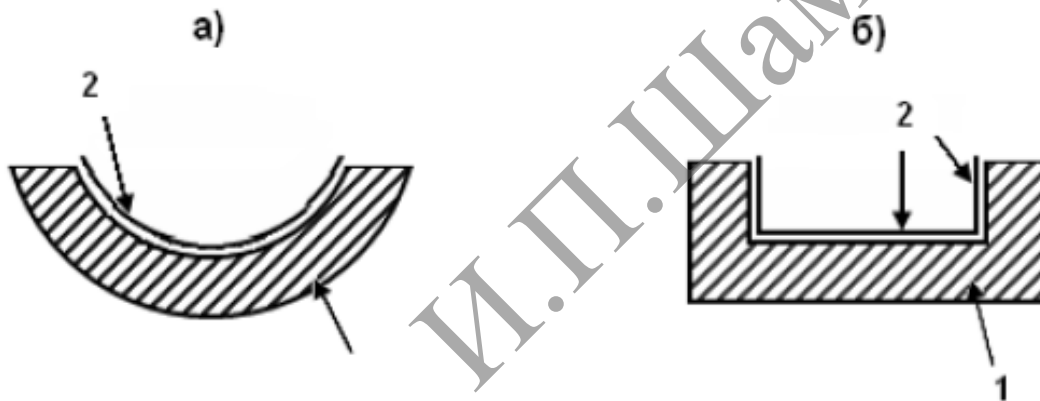
выдерживается до его затвердевания. Так нанести четыре слоя парафина. После окончания полировки необходимо убедиться, что фольга не имеет шероховатую или матовую поверхность (не допускать избытка парафина на поверхности). Собрать форму согласно рисунку 14.2.

Подготовка связующего

Работу производить в резиновых перчатках. Связующее готовится из эпоксидной смолы и отвердителя. В емкость (фарфоровая пиала) последовательно наливают 10 мл смолы и 1 мл отвердителя. Затем содержимое тщательно перемешивают стеклянной палочкой.

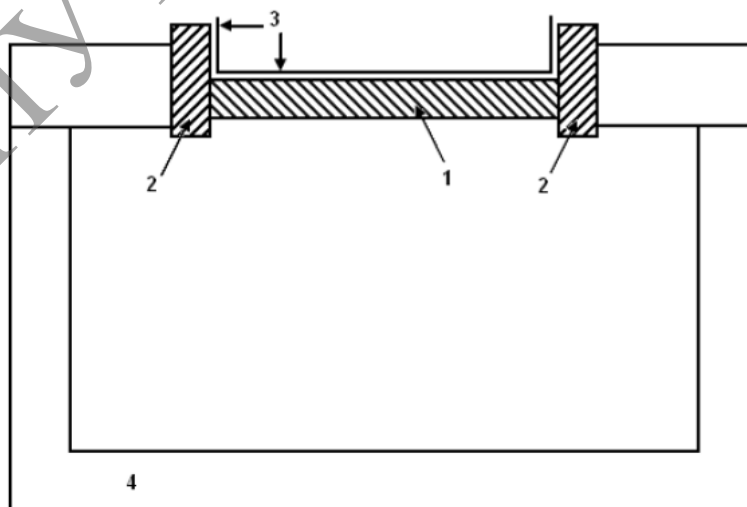
Подготовка стекловолокна

1. Измельчить стекловолокно на отрезки, соответствующие внутренней длине формы.
2. Измерить диаметр стекловолокна (микрометром, штангенциркулем).



1) корпус формы; 2) молибденовая фольга;
а) форма в виде полуцилиндра; б) прямоугольная форма

Рисунок 14.1. – Поперечное сечение формы



1) средняя часть формы; 2) ее бока; 3) молибденовая фольга;
4) зажимное устройство (тиски)

Рисунок 14.2. – Продольный разрез формы

3. По заданной преподавателем объемной доле волокна и объему формы определить необходимую массу стекловолокна. Для этого:

а) по внутренним размерам формы определить ее внутренний объем (см^3);

б) по заданной объемной доле определить объем стекловолокна (см^3);

в) по плотности стекловолокна ($2,5 \text{ г/см}^3$) и его объему определить массу стекловолокна в образце.

Взвесить на аналитических весах рассчитанную массу стекловолокна. Промыть и высушить стекловолокно.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Нанести тонкий слой связующего на дно формы.
2. Уложить (пинцетом) кусочки стеклянных волокон на дно формы и слой связующего (по длине формы). Следить, чтобы между стекловолокнами оставался зазор, заполненный связующим.
3. Сверху нанести еще один тонкий слой связующего.
4. Уложить на него (в него) ряд стекловолокон.
5. Можно чередовать один слой стекловолокна по длине формы, а другой слой – поперек формы. Продолжить послойно укладку связующего и стекловолокна до полного заполнения формы.
6. Положить сверху отполированную парафином полоску фольги из молибдена.
7. Надавить на эту фольгу, тем самым сжимая, уплотняя содержимое в форме (эту операцию можно проводить ручным прессом).
8. Оставить форму до следующего занятия.
9. На следующем занятии разобрать форму, извлечь и почистить образец.
10. Провести испытания прочности полученного образца стеклопластика на изгиб.
11. Построить график зависимости прочности стеклопластика ($\sigma_{\text{изг}}$ – ордината) от объемной доли стекловолокна в нем (V_f – абсцисса). Для этого необходимо воспользоваться данными $\sigma_{\text{изг}}$ такого же стеклопластика с другими значениями V_f (полученные студентами в лабораторных работах).
12. Провести статистическую обработку полученных результатов.
13. Оформить отчет и сдать преподавателю на проверку.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА:

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Краткие теоретические сведения.

4. Результаты измерений и расчетов оформить в виде таблиц и графиков. Представить полученный стеклопластик в соответствии с заданием.
5. Выводы по работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой материал называется композиционным? Приведите классификацию КМ.
2. Какая существует классификация композиционные материалы с полимерной матрицей?
3. Назовите материалы, используемые в качестве армирующих элементов в ПКМ.
4. Назовите материалы, используемые в качестве матрицы в ПКМ.
5. Какие существуют способы формования ПКМ? Что такое формование?
6. Расскажите кратко методику изготовления стеклопластика.
7. Что называется технологической совместимостью? Какие существуют полимерные смеси по совместимости?

ЛИТЕРАТУРА

1. Никифорова, Э.М. *Материаловедение и технология композиционных материалов: методические указания для лабораторных работ по специальности 150108 / Никифорова Э.М. [и др.]. – Красноярск: Сибирский федер.унив-т, 2007. – 44 с.*
2. Тягер, А.А. *Успехи химии / А.А. Тягер [и др.]. – М.: Химия, 1987. – Т. 56. – Вып. 6. – С. 1004-1023.*
3. Mac. Knight William J. // *Plasty a Kauc*, 28. – 1991. – № 9. – P. 265–271.
4. Gaytord, N. G. // *Macromol. Sci.*, 28A. – 1989. – № 8. – P. 1211–1229.
5. Мэнсон, Д. *Полимерные смеси и композиты: пер. с англ. / Д. Мэнсон; под ред. Ю. К. Годовского. – М.: Химия, 1979. – 440 с.*
6. Макаренко, А.В. *Исследование совместимости компонентов полимерных смесей методом ЭПР / А.В. Макаренко [и др.] // Материалы. Технологии. Инструменты. – Гомель, 2004. – № 4, (Т. 9). – С. 107–110.*
7. Макаренко, А.В. *Исследование совместимости компонентов полимерных смесей методом ЭПР / А.В. Макаренко [и др.] // Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования: тезисы докладов 2 Гомел. рег. конф. молодых ученых, Гомель, 30–31 октября 2003 г. / Изд-во ИММС НАН Беларуси. – Гомель, 2003. – С. 72–73.*
8. Чередниченко, В.С. *Материаловедение. Технология конструкционных материалов / В.С. Чередниченко. – М.: Омега□Л., 2006. – С.419–420.*