

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра машиностроения и транспорта



УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

 Е.И. Луковникова

«31» мая 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ**

**Б1.В.ДВ.04.02**

**НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ**

**15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение  
машиностроительных производств**

**ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ  
Технология машиностроения**

Программа прикладного бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств от 11 августа 2016 г № 1000 и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» от 01.04.2019 г. № 196 для очной формы обучения для набора 2019 года

<b>1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>3</b>
<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>3</b>
<b>3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>4</b>
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....	4
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости .....	4
<b>4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>4</b>
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий .....	4
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам .....	5
4.3 Лабораторные работы.....	18
4.4 Семинары / практические занятия.....	18
4.5 Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат.....	18
<b>5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>19</b>
<b>6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ.....</b>	<b>20</b>
<b>7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>20</b>
<b>8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>20</b>
<b>9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>20</b>
9.1 Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ.....	21
9.2. Методические указания по выполнению курсового проекта (курсовой работы), контрольной работы, РГР, реферата .....	23
<b>10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>23</b>
<b>11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>23</b>
<b>Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....</b>	<b>24</b>
<b>Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины .....</b>	<b>26</b>
<b>Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе .....</b>	<b>27</b>
<b>Приложение 4. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости по дисциплине.....</b>	<b>28</b>

# 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

## Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к производственно-технологическому виду профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

## Цель и задачи дисциплины

Целью изучения дисциплины является – формирование у обучающихся теоретических и прикладных знаний о современных информационных технологиях при проектировании машиностроительных изделий и производств, выборе материалов, оборудования и других средств технологического оснащения и автоматизации для реализации производственных и технологических процессов.

Задачами изучения дисциплины является:

- изучение новых и прогрессивных материалов и технологий, применяемых на современных машиностроительных производствах.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
ПК-19	способность осваивать и применять современные методы организации и управления машиностроительными производствами, выполнять работы по доводке и освоению технологических процессов, средств и систем технологического оснащения, автоматизации, управления, контроля, диагностики в ходе подготовки производства новой продукции, оценке их инновационного потенциала, по определению соответствия выпускаемой продукции требованиям регламентирующей документации; по стандартизации, унификации технологических процессов, средств и систем технологического оснащения, диагностики, автоматизации и управления выпускаемой продукции	<b>знать:</b> – новые материалы и технологии; <b>уметь:</b> – выполнять работы по освоению новых технологических процессов; <b>владеть:</b> – навыками реализации новых технологий.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.ДВ.04.02 Новые материалы и технологии является дисциплиной по выбору вариативной части.

Дисциплина «Новые материалы и технологии» базируется на знаниях, полученных при изучении таких учебных дисциплин, как:

- «Материаловедение»;
- «Процессы и операции формообразования»;
- «Технологические процессы в машиностроении»;
- «Технология создания инженерных программ».

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, «Новые материалы и технологии» представляет основу для изучения дисциплин:

- «Технология композиционных материалов»;
- «Физические методы исследования металлов и сплавов».

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

### 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах						Курсовая работа (проект), контрольная работа, реферат, РГР	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Семинары / Практические занятия	Самостоятельная работа		
Очная	3	5	108	51	17	34	-	57	-	зачет
Заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Заочная (ускоренное обучение)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Очно-заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

#### 3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

Вид учебных занятий	Трудоемкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)	Распределение по семестрам, час
			5
<b>I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)</b>	<b>51</b>	-	<b>51</b>
Лекции (Лк)	17	-	17
Лабораторные работы (ЛР)	34	-	34
Групповые (индивидуальные) консультации	+	-	+
<b>II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)</b>	<b>57</b>	-	<b>57</b>
Подготовка к лабораторным работам	34	-	34
Подготовка к зачету	23	-	23
<b>III. Промежуточная аттестация</b>	зачет	-	+
Общая трудоемкость дисциплины .....	час.	-	<b>108</b>
	зач. ед.	-	<b>3</b>

### 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий

- для очной формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)		
			учебные занятия		самостоятельная работа обучающихся
			лекции	лабораторные работы	
<b>1.</b>	<b>Новые материалы</b>	<b>46</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>26</b>
1.1.	Металлические сплавы с особыми свойствами	6	2	-	4
1.2.	Керамические и композиционные материалы	6	2	-	4
1.3.	Наноструктурные материалы	24	2	10	12
1.4.	Полимерные материалы	4	2	-	2
1.5.	Функциональные порошковые материалы	6	2	-	4
<b>2.</b>	<b>Новые технологии</b>	<b>62</b>	<b>7</b>	<b>24</b>	<b>31</b>
2.1.	Синтетические сверхтвердые покрытия	46	3	20	23
2.2.	Многофункциональные покрытия	16	4	4	8
	<b>ИТОГО</b>	<b>108</b>	<b>17</b>	<b>34</b>	<b>57</b>

## 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

### Раздел 1. Новые материалы

#### Тема 1.1. Металлические сплавы с особыми свойствами

Для ряда отраслей машиностроения и приборостроения необходимо применение материалов со строго регламентированными значениями в определенных температурных интервалах эксплуатации таких физических свойств, как температурные коэффициенты линейного расширения  $\alpha$  (ТКЛР) и модуля нормальной упругости  $\beta$  (ТКМУ). Эти коэффициенты определяют характер изменения размеров детали и модуля упругости сплава при нагреве.

*Сплавы с реглалируемым температурным коэффициентом линейного расширения*

Основным представителем сплавов с минимальным ТКЛР является сплав 36Н. Инвар имеет самые низкие значения  $\alpha$  в интервале температур от 100 до +100 °С. Благодаря высокому уровню механических свойств и технологичности инвар используется в качестве конструкционного материала для деталей, от которых требуется постоянство размеров при меняющихся температурных условиях эксплуатации. Из инвара изготавливают жесткозакрепленные трубопроводы сложной пространственной формы, перекачивающие сжиженные газы в криогенных установках. Малая величина ТКЛР позволяет уменьшить напряжения в трубопроводах и предотвратить возможность их разрушения. Отпадает необходимость установки сильфонных узлов для компенсации деформации, что упрощает конструкцию и делает ее более надежной.

Для обеспечения минимально возможного ТКЛР и наибольшей стабильности размеров содержание углерода в сплавах инварного состава не должно превышать 0,05 %. Более высокое содержание углерода приводит к изменению параметров кристаллической решетки и магнитострикции пара- процесса. Для сплав со стеклом повышенное содержание углерода приводит к выделению CO<sub>2</sub> в процессе впаивания и образованию газовых пузырей в стекле.

В табл. 1.2.1 приведены составы и свойства сплавов с регламентированными значениями ТКЛР, нашедших наибольшее применение. Значения ТКЛР приведены в состоянии после отжига при температуре ~900°С с последующим медленным охлаждением.

Таблица 1.2.1

Состав и свойства Fe–Ni сплавов с регламентированным ТКЛР(ГОСТ 10994-74)

Названия сплавов	Марка сплава	Массовая доля элементов, %			Тепловые свойства	
		Ni	Co	Cu	Интервал температур, 0С	$\alpha$ , 10 <sup>-6</sup> К <sup>-1</sup>
Инвар	36Н	35-37	–	–	20-80	1,5
Суперинвар	32НКД	31,5-33	3,3-4,2	0,6-0,8	20-100	1,0
Ковар	29НК	28,5-29,5	17-18	–	20-400	4,5-5,2
Платинит	47НД	46-48	–	4,5-5,5	20-400	9,2-10,0

ТКЛР сплавов зависит от предварительной обработки. Минимальное значение коэффициента  $\alpha$  инвара достигается после закалки от 830 °С, в результате которой примеси переходят в твердый раствор, и отпуска при 315 °С. Холодная деформация также способствует снижению ТКЛР. В результате комбинации обеих обработок  $\alpha$  становится почти равным нулю.

Замена части никеля равным количеством кобальта и легирование малыми добавками меди позволяет дополнительно снизить ТКЛР инвара. Такой сплав называют *суперинваром*.

В электровакуумных газоразрядных и полупроводниковых приборах широко используют сплавы металлов с такими диэлектриками, как стекло и керамика. Для обеспечения герметичности и вакуумной плотности спаев необходимо соответствие ТКЛР материалов соединяемой пары в эксплуатационном интервале температур. Во избежание напряжений и трещин значение ТКЛР сплава должно быть максимально приближено к ТКЛР диэлектрика и строго регламентировано. Для определения пригодности спаев металлов со стеклом используют чувствительный метод – измерение в поляризованном свете упругих напряжений, имеющихся в спае.

Состав сплавов для пайки и сварки со стеклом подбирают таким образом, чтобы ТКЛР стекла и металла были близки во всем интервале температур вплоть до размягчения стекла. Ковар применяют для соединения с термостойкими стеклами, а платинит – с обычными легкоплавкими стеклами, применяемыми в электровакуумной промышленности.

Стали с определенным тепловым расширением служат также для изготовления термометаллов, когда слой с низким тепловым расширением ("пассивный слой") путем прокатки надежно соединяют с другим слоем, обладающим более высоким тепловым расширением ("активный слой"). Биметаллические пластины используют в качестве терморегулятора в приборостроении. Нагрев такой пластинки приводит к ее искривлению, позволяющему замкнуть электрическую цепь.

Основным свойством термометаллов является термочувствительность, т.е. способность изгибаться при изменении температуры. В качестве пассивной составляющей обычно применяют инвар 36Н с ТКЛР = 1,5·10<sup>-6</sup> К<sup>-1</sup>, а в качестве активной – Fe–Ni сплавы с ТКЛР около 20·10<sup>-6</sup> К<sup>-1</sup>, содержащие 8-27 % Ni, дополнительно легированные Cr, Mn, Mo.

*Сплавы с постоянным модулем упругости*

Сплавы с заданными свойствами упругости, помимо низких значений ТКМУ, должны обладать высоким сопротивлением малым пластическим деформациям и релаксационной стойкостью в условиях статического и циклического нагружения.

Уровень ТКМУ чистого железоникелевого сплава даже при небольших колебаниях концентрации никеля, неизбежных в сталеплавильном производстве, становится нестабильным и претерпевает значительные изменения.

Легирование хромом повышает стабильность сплава. Элинвар, содержащий 36% Ni и 12% Cr, характеризуется такими же значениями ТКМУ, как и чистый Fe–Ni сплав, но менее зависящими от возможных отклонений в концентрации никеля. Однако он имеет более низкие механические свойства, которые нельзя улучшить термической обработкой из-за стабильности аустенитной структуры. Кроме того, температура Кюри этого сплава составляет около 100 °С, что ограничивает температурный интервал его применения.

*Металлы с памятью формы*

Долгое время неупругую деформацию считали полностью необратимой. В начале 60-х годов XX в. был открыт обширный класс металлических материалов, у которых элементарный акт неупругой деформации осуществляется за счет структурного превращения. Такие материалы обладают обратимостью неупругой деформации. Явление самопроизвольного восстановления формы – эффект памяти формы (ЭПФ) – может наблюдаться как в изо- термических условиях, так и при температурных изменениях. При теплосменах такие металлические материалы могут многократно обратимо деформироваться.

Способность к восстановлению деформации не может быть подавлена даже при высоком силовом воздействии. Уровень реактивных напряжений некоторых материалов с ЭПФ может составлять до 1000-1300 МПа.

Металлы, обладающие ЭПФ, относятся к числу наиболее ярких представителей материалов со специальными свойствами. Повышенный интерес к этому металлургическому феномену обусловлен уникальным сочетанием высоких обычных механических характеристик, сопротивления усталости, коррозионной стойкости и необычных свойств, таких как термомеханическая память, реактивное напряжение, основанных на термоупругом мартенситном превращении. Особенностью сплавов с ЭПФ является ярко выраженная зависимость большинства свойств от структуры. Значения физико-механических характеристик меняются в несколько раз при обратимом фазовом переходе аустенит – мартенсит для разных сплавов в интервале температур обычно от -150 до + 150 °С.

Из большого числа сплавов с ЭФФ наиболее перспективными для практического применения являются сплавы Ti–Ni эквимолярного состава (примерно 50:50% (ат.)), обычно называемые никелидом титана или нитинолом. Реже используют более дешевые сплавы на основе меди Cu–Al–Ni и Cu–Al–Zn.

Эффект памяти формы состоит в том, что образец, имеющий определенную форму в аустенитном состоянии при повышенной температуре, деформируют при более низкой температуре мартенситного превращения. После перегрева, сопровождающегося протеканием обратного превращения, исходная характерная форма восстанавливается. ЭФФ проявляется в сплавах, характеризующихся термоупругим мартенситным превращением, когерентностью решеток исходной аустенитной и мартенситной фаз, сравнительно небольшой величиной гистерезиса превращения, а также малыми изменениями объема при превращениях. В никелиде титана объемные изменения составляют около 0,34%, что на порядок меньше, чем в сталях (около 4%).

Сплавы с ЭФФ часто относят к так называемым интеллектуальным материалам, позволяющим создавать принципиально новые конструкции и технологии в разных отраслях машиностроения, авиакосмической и ракетной техники, приборостроения, энергетики, медицины и др. Рассмотрим не-которые объекты применения сплавов с ЭФФ.

Освоение ближнего и дальнего космоса связано с созданием орбитальных станций и крупным космическим строительством. Необходимо сооружение таких громоздких объектов, как солнечные батареи и космические антенны. На рис. 1.2.1 приведена схема космического аппарата с антеннами саморазворачивающейся конструкции. Антенны состоят из листа и стержня из сплава Ti–Ni, которые свернуты в виде спирали и помещены в углубление в искусственном спутнике. После запуска спутника и выведения его на орбиту антенна нагревается с помощью специального нагревателя или тепла солнечного излучения, в результате чего она выходит в космическое пространство.

#### *Радиационно-стойкие материалы*

Технический прогресс связан с непрерывным ростом потребления электроэнергии. Ограниченность запасов органического топлива, преодоление энергетического кризиса и приемлемая стоимость производства электроэнергии обусловили необходимость использования атомной энергии и широкомасштабного строительства атомных электростанций (АЭС) во всех развитых странах мира. Ядерная энергетика – это энергетика будущего.

По принципу действия АЭС и тепловые электростанции (ТЭС) мало отличаются друг от друга. На АЭС и ТЭС вода доводится до кипения и образующийся пар подается на лопасти высокоскоростной турбины, заставляя ее вращаться. Вал турбины соединен с валом генератора, который при вращении вырабатывает электрическую энергию. Различие АЭС и ТЭС состоит в способе нагрева воды до кипения. Если в ТЭС для нагрева воды сжигается уголь или мазут, то в АЭС для этой цели используют тепловую энергию управляемой цепной реакции деления урана.

#### *Аморфные металлические сплавы*

В обычных условиях реализуются лишь восходящие ветви кривых скоростей зарождения и роста кристаллов (СЗ и СР) и с ростом  $\Delta T$  увеличиваются скорости обоих процессов. Использование специальных методов позволяет достигать скорости охлаждения более 105 К/с и получать металл в стеклообразном аморфном состоянии.

Аморфные металлы являются высокопрочными материалами. Наряду с высокой прочностью они характеризуются хорошей пластичностью при сжатии (до 50%) и изгибе. При комнатной температуре аморфные сплавы подвергаются холодной прокатке в тонкую фольгу. Лента аморфного сплава Ni<sub>49</sub>Fe<sub>29</sub>P<sub>14</sub>B<sub>6</sub>A<sub>12</sub> толщиной 25 мкм без образования микротрещин может быть согнута вокруг острого бритвенного лезвия. Однако при растяжении их относительное удлинение составляет не более 1-2%. Это объясняется тем, что пластическая деформация происходит в узко (10-40 нм) локализованных полосах сдвига, а за пределами этих полос деформация практически не имеет развития, что и приводит к низким значениям макроскопической пластичности при растяжении. Предел текучести аморфных сплавов Fe<sub>40</sub>Ni<sub>40</sub>P<sub>14</sub>B<sub>6</sub>, Fe<sub>80</sub>B<sub>20</sub>, Fe<sub>60</sub>Cr<sub>6</sub>Mo<sub>6</sub>B<sub>28</sub> составляет соответственно 2400, 3600, 4500 МПа, в то время как предел текучести высокопрочных сталей обычно составляет не более 2500 МПа.

Аморфные материалы используют для армирования трубок высокого давления, изготовления металлокорда шин и др. В перспективе возможно применение аморфных сплавов для изготовления маховиков. Такие маховики могут использоваться для аккумуляции энергии и покрытия пиковых нагрузок на электростанциях, для улучшения рабочих характеристик автомобилей и т.д.

#### *Сверхпроводящие материалы*

Сверхпроводимость – способность материалов не оказывать сопротивления электрическому току при температурах ниже характерной для них критической температуры Т<sub>к</sub>.

Из всех чистых металлов, способных переходить в сверхпроводящее состояние, наивысшую критическую температуру перехода имеет ниобий (Т<sub>кр</sub> = 9,2 К). Однако для ниобия характерны низкие значения критического магнитного поля (около 0,24 Тл), что недостаточно для его широкого применения. Хорошим сочетанием критических параметров Т<sub>к</sub> и Б<sub>к</sub> отличаются сплавы и интерметаллидные соединения ниобия с цирконием, титаном, оловом и германием.

Сверхпроводящие магниты используют для исследований в области физики высоких энергий, создания мощных магнитных кольцевых ускорителей частиц и систем управления движением пучков частиц на выходе из ускорителя. Сверхпроводящие магнитные системы применяют в жидководородных пузырьковых камерах, в которых по кривизне траекторий от пузырьков вскипающей жидкости определяют знак заряда и импульс пролетающих частиц.

Сверхпроводимость позволяет также решить проблему запаса электроэнергии впрок с выдачей ее при пиковых нагрузках. Индуктивный накопитель энергии представляет собой тороидальный криостат диаметром несколько метров, по виткам обмотки которого практически без потерь циркулирует ток.

## **Тема 1.2. Керамические и композиционные материалы**

Керамика относится к основным материалам, оказывающим определяющее влияние на уровень и конкурентоспособность промышленной продукции. Это влияние сохранится и в ближайшем будущем. Войдя в технику и технологию в конце 60-х годов XX века, керамика произвела настоящую революцию в материаловедении, за короткое время став, по общему мнению, третьим промышленным материалом после металлов и полимеров.

*Керамическая технология* предусматривает следующие основные этапы: получение исходных порошков, консолидацию порошков, т.е. изготовление компактных материалов, их обработку и контроль изделий.

При производстве высококачественной керамики с высокой однородностью структуры используют порошки исходных материалов с размером частиц до 1 мкм. Процесс получения столь высокой степени дисперсности требует больших энергозатрат и является одним из основных этапов керамической технологии.

Измельчение производится механическим путем с помощью мелющих тел, а также путем распыления измельчаемого материала в жидком состоянии, осаждением на холодных поверхностях из парогазовой фазы, виброкавитационным воздействием на частицы, находящиеся в жидкости, с помощью самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и другими методами.

Для сверхтонкого помола (частицы менее 1 мкм) наиболее перспективны вибрационные мельницы, или аттриторы.

Применение керамики в автомобильных двигателях позволит поднять рабочую температуру в цилиндрах с 1200 до 1600 °С, при этом сокращаются потери тепла, снижается расход топлива, улучшаются эксплуатационные характеристики. При изготовлении изделий из керамики нельзя просто заменять металлические детали на керамические. Особо должны учитываться условия их работы и действующие нагрузки, поскольку все детали выполняются целиком, и это может снизить прочность всей конструкции. Кроме того, она не имеет пластической деформации и обладает низкой ударной вязкостью.

#### *Режущий керамический инструмент*

Режущая керамика характеризуется высокой твердостью, в том числе при нагреве, износостойкостью, химической инертностью к большинству металлов в процессе резания. По комплексу этих свойств керамика существенно превосходит традиционные режущие материалы – быстрорежущие стали и твердые сплавы (табл. 2.2).

Для изготовления режущего инструмента широко применяется керамика на основе оксида алюминия с добавками диоксида циркония, карбидов титана, а также на основе бескислородных соединений – нитрида бора с кубической решеткой ( $\beta$ -BN), обычно называемого кубическим нитридом бора, и нитрида кремния Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>. Режущие элементы на основе кубического нитрида бора в зависимости от технологии получения, выпускаемые под названиями эльбор, боразон, композит 09 и др., имеют твердость, близкую к твердости алмазного инструмента, и сохраняют устойчивость к нагреву на воздухе до 1300-1400 °С. В отличие от алмазного инструмента кубический нитрид бора химически инертен по отношению к сплавам на основе железа. Его можно использовать для черного и чистового точения закаленных сталей и чугунов практически любой твердости.

#### Керамические двигатели

Наиболее эффективно применение керамики для изготовления дизельных адиабатных поршневых двигателей, имеющих керамическую изоляцию, и высокотемпературных газотурбинных двигателей.

Конструкционные материалы адиабатных двигателей должны быть устойчивы в области рабочих температур 1300-1500 К, иметь прочность при изгибе не менее 800 МПа и коэффициент интенсивности напряжений

не менее 8 МПа · м<sup>1/2</sup>. Этим требованиям в наибольшей мере удовлетворяют

керамики на основе диоксида циркония ZrO<sub>2</sub> и нитрида кремния. Наиболее широко работы по керамическим двигателям проводятся в Японии и США. Японская фирма «Isuzu Motors Ltd» освоила изготовление форкамеры и клапанного механизма адиабатного двигателя, «Nissan Motors Ltd» – крыльчатки турбокомпрессора, фирма «Mazda Motors Ltd» – форкамеры и пальцы толка-теля.

#### Керамика специального назначения

К керамике специального назначения относятся сверхпроводящая керамика, керамика для изготовления контейнеров с радиоактивными отходами, броневой защиты военной техники и тепловой защиты головных частей ракет и космических кораблей.

*Контейнеры для хранения радиоактивных отходов.* Одним из сдерживающих факторов развития ядерной энергетики является сложность захоронения радиоактивных отходов. Для изготовления контейнеров применяют керамику на основе оксидов В<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и карбидов бора В<sub>4</sub>C в смеси с оксидами свинца PbO или соединениями типа 2PbO · PbSO<sub>4</sub>. После спекания такие смеси образуют плотную керамику с малой пористостью. Она характеризуется сильной поглощающей способностью по отношению к ядерным частицам – нейтронам и  $\gamma$ -квантам.

*Ударопрочная броневая керамика.* Впервые броневая керамика была использована в авиации армии США во время войны во Вьетнаме. С тех пор непрерывно растет применение армиями разных стран брони из керамики в комбинации с другими материалами для защиты сухопутных боевых машин, кораблей, самолетов и вертолетов. По разным оценкам, рост применения броневой керамической защиты составляет около 5-7% в год. Одновременно наблюдается рост производства композиционной брони для индивидуальной защиты сил охраны правопорядка, обусловленный ростом преступности и актов терроризма.

По своей природе керамические материалы являются хрупкими. Однако при высокой скорости нагружения, например в случае взрывного удара, когда эта скорость превышает скорость движения дислокаций в металле, пластические свойства металлов не будут играть никакой роли и металл будет таким же хрупким, как и керамика. В этом конкретном случае керамика существенно прочнее металла.

Важными свойствами керамических материалов, обусловивших их применение в качестве брони, являются высокие твердость, модуль упругости, температура плавления (разложения) при в 2-3 раза меньшей плотности. Сохранение прочности при нагреве позволяет использовать керамику для бронепрожигающих снарядов.

Для массового производства керамики наиболее перспективен сравнительно дешевый оксид алюминия. Керамику на его основе используют для защиты живой силы, сухопутной и морской военной техники.

#### Композиционные материалы

*Композиционным материалом* (КМ), или *композитом*, называют объемную гетерогенную систему, состоящую из сильно различающихся по свойствам, взаимно нерастворимых компонентов, строение которой позволяет использовать преимущества каждого из них.

#### Синтегран

В настоящее время синтегран используется для изготовления инструмента, специальной оснастки, ответственных деталей измерительных комплексов, высокоточных и специальных станков (точность обработки которых составляет 0,001 мкм), шпал для метрополитена, изделий бытового и мемориального назначения, а также многих других деталей. Слово «синтегран» означает синтетический гранит. Работы по синтеграну в нашей стране были начаты в 1983 году в ЭНИМСе при непосредственном участии специалистов Российского университета дружбы народов.

Поскольку состояние современного литейного производства не позволяет поставлять чугунные отливки конструктивных элементов металлорежущих станков требуемого качества, то станкостроительные заводы вынуждены использовать при изготовлении станин станков альтернативные материалы. В частности, даже для изготовления станин универсальных станков стали использовать модифицированные бетоны.

Для изготовления элементов станков, обладающих особо высокой точностью и работающих в области высокочастотных колебаний (расточные, шлифовальные станки, станки для физико-химических методов обработки и др.), целесообразно использовать синтегран, который на данном этапе развития станкостроения является безальтернативным материалом.

Синтегран состоит из полимерного связующего и высокопрочных минеральных наполнителей и заполнителей.

Полимерное связующее состоит из смолы и отвердителя. От вида связующего, его содержания в композиционном материале зависят его свойства и физико-механические характеристики.

Наполнители – это мелкодисперсные порошки с размером частиц менее 100 мкм и имеющие удельную поверхность порядка 1000 см<sup>2</sup>/г. Количество наполнителя в синтегране определяют опытным путем. При изготовлении синтеграны в качестве наполнителя используют кислотоустойчивый порошок марки ПК-1, который представляет собой помол переплава габбро-диабазы и пироксенового порфита с удельной поверхностью 2300-2500 см<sup>2</sup>/г.

Заполнители – это различные фракции минерального вещества (щебня) с размерами зерен 6,3-20 мм. От вида, количества и размера фракций наполнителя зависят прочностные свойства материала. При изготовлении синтеграны используют щебень габбро-диабазы.

### Тема 1.3. Наноструктурные материалы

Нанокристаллы и нанокластеры представляют собой частицы упорядоченного строения размером от 1 до 5 нм, содержащие до 1000 атомов. Обычно наночастицы имеют диаметр от 5 до 100 нм и состоят из 103-106 атомов. Нитевидные и пластинчатые частицы могут содержать гораздо больше атомов и иметь один или даже два линейных размера, превышающих пороговое значение, но их свойства остаются характерными для вещества в нанокристаллическом состоянии. Соотношение линейных размеров наночастиц позволяет рассматривать их как одно-, двух- или трехмерные. Если наночастица имеет сложную форму и строение, то в качестве основного рассматривают не линейный размер частицы в целом, а размер ее структурного элемента. Такие частицы, как правило, называют наноструктурами, причём их линейные размеры могут значительно превышать 100 нм. В зависимости от того, какую преимущественную анизотропию имеют структурные элементы наноструктур, последние также подразделяют на одно-, двух- и трехмерные (нульмерные).

Физико-механические характеристики наноматериалов зависят от их структуры, а также от включений других материалов.

Существуют четыре основных типа структур, которые имеют разный химический состав и распределение фаз: однофазные, статистические многофазные с идентичными и неидентичными поверхностями раздела и матричные многофазные. В зависимости от формы структуры они подразделяются на пластинчатую, столбчатую и содержащую равноосные включения. Классификация консолидированных наноматериалов по составу, распределению и форме структурных составляющих приведена в табл.3.1.

Основным элементом структуры консолидированных наноматериалов является зерно или кристаллит, которые являются областями когерентного рассеяния рентгеновских лучей или нейтронов при рентгеноструктурном анализе (РСА).

Свойства наноматериалов позволяют использовать их в широких областях:

1. Создание новых высокопрочных композиционных материалов на основе нанотрубок, физико-механические характеристики которых будут в десятки раз превышать аналогичные характеристики высокопрочных сталей при меньшей плотности.
2. Высокопрочные покрытия для пар трения, режущего инструмента, превышающие по твердости алмаз.
3. Смазывающе-охлаждающие технологические среды и присадки для пар трения, значительно повышающие эксплуатационные характеристики изделий.
4. Аккумуляторы и батареи нового поколения, обладающие большой емкостью при малых габаритах.
5. Нанодатчики для измерения физических величин со сверхвысокой чувствительностью.
6. Элементы электронных схем для приборов нового поколения.
7. Контрастирующие вещества для магнитно-резонансной томографии и других видов диагностики в биологии и медицине.
8. Создание защитных покрытий поверхностей, невидимых для радаров и других средств обнаружения.
9. Контейнеры для транспортировки лекарств и диагностических датчиков в медицине.
10. Создание сверхпрочных волокон, нитей, канатов, стержней для запуска и удержания на геостационарной орбите спутников и космических станций.
11. Матрицы и дисплеи сверхвысокой четкости и яркости и чувствительности.

*Конструкционные, инструментальные и триботехнические наноматериалы*

Конструкционные машиностроительные наноматериалы общего назначения применяются пока еще недостаточно широко. Применение порошковых консолидированных наноматериалов ограничено размерами и формой порошковых изделий, низкой текучестью и пресуемостью, легкой окисляемостью и загрязняемостью, а также трудностью сохранения наноструктуры при спекании. Многие порошковые наноматериалы имеют низкие пластические характеристики и остаточную пористость.

Перспективна технология равноканального углового прессования, позволяющая получить высокопрочные и пластичные металлы, сплавы, интерметаллиды, которые находят применение в машиностроении как конструкционные материалы.

Следует отметить, что характеристики прочности и твердости металлических наноматериалов выше, чем для обычных материалов, в 4-6 раз. Металлические наноматериалы должны эксплуатироваться преимущественно в условиях сжатия (а не растяжения), что будет затруднять распространение

хрупких трещин и позволит повысить допустимый уровень разрушающих напряжений в несколько раз. Для изготовления низко- и высокотемпературных узлов трения могут применяться *керметные нанокмозиты* на основе  $Al_2O_3$  с добавками Fe и FeCr (размер кристаллитов 40-60 нм) изготовленные механохимическим синтезом с последующим горячим изостатическим прессованием.

Как перспективные жаропрочные материалы рассматриваются много- фазные оксидные и безоксидные нанокмозиты, которые характеризуются высокой стабильностью механических свойств: при 20 °С –  $\sigma = 1,2$  ГПа, при 1200 °С –  $\sigma = 1$  ГПа. Высокая температурная прочность нанокмозитов на основе SiC позволяет использовать их для создания газотурбинной техники.

В инструментальной промышленности, а также в разнообразных областях общего и специального машиностроения следует применять изделия из наноматериалов, используя схему сжимающих напряжений (за исключением ударных и знакопеременных нагрузок), в этом случае допустимо снижение пластических характеристик.

Повышенная твердость компактов и пленок с нанокристаллической структурой влечет за собой увеличение износостойкости режущего инструмента и узлов трения в антифрикционных и фрикционных изделиях. Нанокристаллический материал, гексанит на основе нитрида бора ( $KIC = 15-18$  МПа·м<sup>0,5</sup>), получаемый методом высоких давлений при высоких температурах, используется для чистовой обработки резанием.

Имеются положительные результаты применения инструментальных наноматериалов (твердые сплавы, быстрорежущие стали, инструмент из нанокристаллов алмаза для чистовой обработки, новые сверхтвердые материалы и др.). Добавки нанопорошков карбида вольфрама (5-8 %) к стандартным твердым сплавам повышают однородность структуры и снижают разброс значений прочности.

Нанокристаллические твердые сплавы с высокими показателями твердости (HV = 22 – 24 ГПа) и трещиностойкости (~ 10 МПа·м<sup>1/2</sup>) считаются перспективными для изготовления бурового инструмента.

Для изготовления инденторов в устройствах для измерения твердости и триботехнических характеристик твердых материалов, включая наноструктурные пленки, применяют сверхтвердые фуллериты (консолидированные фуллерены C60), которые были получены компактированием при высоких давлениях (9-13 ГПа) в интервале температур 200-1600°С. Значения твердости этих образцов составляют 100 ГПа (в отдельных случаях до 300 ГПа), а модуль объемной упругости превышает таковой для алмаза и составляет более 500 ГПа.

В качестве износостойких покрытий на металлообрабатывающем инструменте применяются наноструктурные карбидные, нитридные и боридные пленки (TiC, TiN, TiB2, Ti(C, N), (Ti, Al)N и др.), что повышает рабочий ресурс инструмента в несколько раз. Положительное влияние однослойного покрытия из карбонитрида титана и многослойного нитридного покрытия (Ti,Al,Y)N/VN демонстрируют следующие данные: (обрабатываемый материал – легированная сталь твердостью 38 HRC; скорость резания 385 м/мин; подача 0,2 мм за 1 оборот): рабочий ресурс реза без покрытия – 7 мин; реза, с покрытием Ti(C, N), – 53 мин; реза, с покрытием (Ti, Al, Y)N/VN, – 141 мин.

Используются также и многослойные покрытия CrN/NbN, которые помимо высокой износостойкости обладают также коррозионной стойкостью, которая позволяет их применять в условиях агрессивных сред.

Для получения износостойких покрытий и восстановления изношенных изделий методом газотермического напыления применяют нанопорошки ( $Al_2O_3 - TiO_2$ , WC – Co, Cr3C2–Ni и др.), что повышает твердость и износостойкость в 1,3 – 2 раза. Для улучшения технических характеристик машин и различных механизмов применяют полировальные пасты и противозносные препараты на основе наночастиц (например, на основе бронзы). В зонах трения используют пасты на основе нанопорошков, которые увеличивают ресурс машины и улучшают технику-экономические показатели. Замена классических металлических материалов на полимеры, армированные наночастицами, позволяет снизить массу, потребление топлива и уменьшить вредные выбросы.

*Пористые наноматериалы и наноматериалы со специальными физико-химическими свойствами*

В химической и многих других отраслях промышленности нашли применение наноматериалы в катализаторах, красках, фильтрах, химических источниках энергии и т.д.

Поверхность многих пористых наноструктур сама по себе обладает каталитическими свойствами. Создание высокопористых носителей на основе ДНК является перспективным направлением для разработки новых фильтрационных, каталитических и композиционных систем.

Значительное внимание уделяется изучению каталитических, сорбирующих и фильтрующих свойств углеродных нанотрубок применительно к очистке газов от трудноразрушаемых канцерогенных диоксинов.

Приведенные в таблице данные свидетельствуют об эффективности фотокаталитического окисления, после которого очищенный воздух содержит небольшие количества вредных соединений (гораздо меньшие, чем до- пускается по нормам).

Для солнечных батарей и светодиодов считают перспективными нанопленки и высокопористые слои из  $TiO_2$  и CdSe.

Разработана широкая гамма пластинчатых и трубчатых фильтрующих элементов из пористой нержавеющей стали со слоем из ультрадисперсного порошка на основе TiN или  $TiO_2$  для изготовления многослойных фильтров тонкой очистки. Тонкость фильтрации для газовых сред таких фильтров может достигать до 10 нм (при перепаде давления 0,1 бар) и для жидких сред – до 10-100 нм (при перепаде давления 2-5 бар). Разделение водно-масляных эмульсий, очистка сточных вод и жидких радиоактивных отходов, фильтрация продуктов распада клеток, осветление фруктовых соков – далеко не полный перечень областей применения фильтров тонкой очистки.

Перспективно использование фуллеренов и углеродных нанотрубок для водородсорбирующих целей.

*Наноматериалы со специальными физическими свойствами*

Наноматериалы могут быть использованы для изготовления магнитомягких и магнитотвердых материалов; проводников, полупроводников и диэлектриков; деталей лазерной, измерительной, вычислительной и атомной техники.

Магнитные материалы. Магнитомягкие материалы с высоким уровнем статических и динамических магнитных свойств изготавливают на основе Fe –Si –В с добавками Nb, Cu, Zr и других переходных металлов. После закалки из расплава эти сплавы аморфны, а рабочие



параметры достигаются после частичной кристаллизации при температуре 530-550 °С, когда выделяется упорядоченная нанокристаллическая фаза Fe-Si (18-20) % с размером частиц около 10 нм. Объемная доля наночастиц в аморфной матрице составляет 60-80 %. Сплавы обладают низкой коэрцитивной силой (5-10 А/м) и высокой начальной магнитной проницаемостью при обычных и высоких частотах при малых потерях (200 кВт/м<sup>3</sup>) на перемагничивание, что обеспечивает их применение в электротехнике и электронике в качестве трансформаторных сердечников, магнитных усилителей и импульсных источников питания, а также в технике магнитной записи и воспроизведения и т.д., обеспечивая значительную миниатюризацию этих устройств и стабильную работу в широком диапазоне частот и температур. Мировой выпуск сплавов оценивается на уровне 1000 т в год.

При изготовлении покрытий головок магнитной записи используют нанокристаллические железные пленки с добавками тугоплавких соединений (ZrN, AlN и др.), полученные магнетронным распылением. Это позволяет повысить рабочие характеристики головок при высокой термической стабильности и износостойкости.

Для изготовления постоянных магнитов небольших размеров используются нанокристаллические магнитотвердые материалы на основе Fe-Nd-B и Fe-Sm-M, получаемые методами механохимического синтеза.

Магнитные наноматериалы, используемые для изготовления устройств хранения и записи информации (головки, носители, диски и т.д.), позволили значительно повысить плотность записи информации и увеличить скорость считывания. Плотность хранения информации ежегодно удваивается.

Магнитные частицы в полимерах и пленках могут быть использованы для создания эффективных нанокомпозитов для записи и хранения информации, что позволяет плотность записи повысить до 50 Гбит/см<sup>2</sup>.

Магнитные свойства ультрадисперсных порошков используются в ферромагнитных жидкостях, применяемых в качестве вакуумных уплотнений, глушителей колебаний и в других областях.

Проводящие материалы и изоляторы. Сочетание высокой электропроводности и прочности необходимо при создании материалов для крупных магнитных систем с большой напряженностью магнитного поля. Проволочные нанокомпозиты типа Cu-Nb изготавливают путем совместного холодного волочения медных и ниобиевых прутков. В структуре композита Cu-Nb (18 мас. %) поперечный размер ниобиевых волокон составляет около 100 нм; прочность на растяжение достигает 1,25 МПа, а электропроводность составляет около 70% от электропроводности чистой меди. По рабочим параметрам нанокомпозиционные провода признаны одними из лучших в мире. Электроконтактные порошковые материалы широко применяются в реле, выключателях, пускателях, контакторах и т.п.). Они обладают малым удельным и контактным сопротивлением, незначительной эрозией, механической прочностью и химической инертностью, высокой теплопроводностью и т.д. Материалы с металлическими наночастицами применяются для изготовления нагревателей, уплотнителей, в измерительной технике, при производстве кабелей, экранов, в медицинских приборах и инструментах. Существенное увеличение электропроводности полимерных материалов достигается при добавлении углеродных нанотрубок.

Углеродные нанотрубки обладают высокими эмиссионными свойствами, могут быть использованы для разработки электронных приборов с холодными катодами (электронные дисплеи, источники рентгеновского излучения, катодолуминесцентные источники света и др.), которые обладают низким напряжением питания и потребляемой мощности, а также миниатюрностью и малой массой.

Ядерные материалы. Пористый бериллий может быть использован в качестве отражателя и размножителя нейтронов в термоядерных реакторах.

Для повышения прочности таких изделий и формирования микроячейной структуры с полностью открытыми порами к обычному крупнокристаллическому порошку бериллия добавляется VeH<sub>2</sub>, разложение которого за счет образования наночастиц бериллия способствует укреплению контактов между частицами, а выделение водорода – образованию открытых пор.

Благодаря обилию поверхностей раздела как путей для выхода продуктов облучения нанокристаллическая структура может оказаться полезной и при создании малораспухаемых оболочечных и топливных материалов для тепловыделяющих элементов высокотемпературных быстрых и тепловых атомных реакторов.

#### *Новые защитные керамические наноматериалы*

Керамические материалы используются более чем в 150 областях и как конструкционные и в виде покрытий валов, подшипников, пропеллеров, телескопических перископов и т.д. Нанокерамика обладает большей жесткостью по сравнению с обычной и используется везде, где необходима водонепроницаемость и защита от коррозии. Наноструктуры на основе карбида кремния позволяют в несколько раз повысить жесткость материалов по сравнению с обычным SiC. Например, покрытие NanoTuf™ для прозрачных полимерных поверхностей позволяет в несколько раз увеличить прочность пластика. При нанесении покрытия на пластиковую поверхность образуется сверхтвердая пленка, которая не только защищает от биологических и химических агентов, но и от концентрированных ударов, например от попадания пуль.

Разработана специальная «электромеханическая краска», которая позволит менять цвет изделий наподобие хамелеона, а также одновременно предотвращает коррозию и сможет «затягивать» мелкие повреждения на их внешней поверхности. Такая краска состоит из большого количества наномеханизмов, которые позволяют выполнять все вышеперечисленные функции. Также с помощью системы оптических матриц, которые будут отдельными наномашинками в «краске», возможно добиться эффекта невидимости машины или самолета. Миниатюрные камеры считывают изображение с одной стороны изделия, передавая его на фотоэлементы на другой стороне, формируя, таким образом, изображение заднего фона спереди.

#### *Нанотрубки-металлурги*

В настоящее время установлено, что нанотрубки могут обрабатывать металлы и другие материалы весьма необычным способом. В частности, нанотрубки могут обрабатывать нанометровые порции металла технологией холодной обработки, выполняя роль объемного пресса. Например, если многослойную углеродную нанотрубку, содержащую внутри металл (железо, карбид железа или кобальт) подвергнуть воздействию электронного луча с высокой энергией, то можно вытягивать из металлов наноструны.

Высокоэнергетические электроны выбивают из нанотрубки отдельные атомы углерода, и она равномерно сужается, приводя к деформации любого вещества, находящегося внутри. Изменение кристаллической структуры нанотрубки имеет такую силу воздействия, что может обрабатывать такие твердые материалы, как кобальт или карбид железа.

#### *Медицинские и биологические наноматериалы*

В настоящее время широко используется биологически полностью совместимый с живыми тканями титан, который перспективен в травматологии и стоматологии для изготовления протезов тазобедренных, коленных, челюстных и других суставов, пластин и спиц для костного сращения, винтов для фиксации позвоночника и т.п. Нелегированный титан обладает невысокими механическими свойствами. Методы интенсивной пластической деформации позволяют существенно увеличить материал до зерен размером 100-200 нм, что в 2-3 раза повышает его механические свойства.

#### *Микро- и наноэлектромеханические системы*

Достоинством наноматериалов является то, что благодаря их особым физико-химическим и физико-механическим свойствам имеется возможность создания ультраминиатюрных систем.

Туннельные сканирующие микроскопы позволяют осуществлять манипуляции в наноструктурах, что позволяет создавать наноэлектромеханические (размером менее 100 нм) системы – суперминиатюрные сенсоры, электромоторы, преобразователи, датчики, вентили, клапаны, конденсаторы, резонаторы и т.д.

Так, например, опытные образцы микродвигателей с размером ротора около 1 мм развивают 40 тыс. об/мин. Наномашинки могут быть созданы на основе подражания природным аналогам. Существуют два подхода к конструированию наноустройств. С одной стороны, создание сверхмалых копий известных макрообъектов и, с другой – разработка принципиально новых образцов, не имеющих традиционных аналогов. При этом имеются большие трудности, например при размере микроавтомобиля в 1 мм точность обработки деталей должна соответствовать размерам порядка 10 атомов. Возникает проблема смазки в нанозазорах, необходимость создания нанопроводов и др. Изготовление самих конструктивных деталей микро- и наноразмера требует использования особых приемов порошковой и полимерной нанотехнологии, а также специальных методов сборки, контроля и т.д.

Нанозлектромеханические системы могут работать в широком диапазоне температур (от низких температур вплоть до нескольких сотен градусов) и в различных агрессивных средах и могут найти применение в оптических переключателях, компьютерах и сотовых телефонах.

Полимерные материалы. С помощью нанопечатной литографии изготавливают полимерные шаблоны (темплаты) с отверстиями диаметром 10 нм и глубиной 60 нм.

Отверстия образуют квадратную решетку с шагом 40 нм и предназначены для размещения нанообъектов типа углеродных нанотрубок, катализаторов и т.д. Такие шаблоны создают путем деформации специальными штампами с последующим реактивным ионным вытравливанием полимерных остатков из отверстий.

Материалы, полученные методом «самосборки»

Разработан метод литографически индуцированной самосборки наноструктур, при этом решетка формируется за счет образующейся матрицы столбов, растущих из полимерного расплава, находящегося на кремниевой подложке.

#### Тема 1.4. Полимерные материалы

*Полимерами* называются высокомолекулярные химические соединения, состоящие из многочисленных маломолекулярных звеньев (*мономеров*) одинакового строения. Макромолекулы представляют собой длинные цепи из мономеров, что определяет их большую гибкость. Отдельные атомы в мономере соединены между собой довольно прочными ковалентными химическими связями. Между макромолекулами полимеров действуют значительно более слабые физические связи.

Полимеры имеют высокую стойкость в таких средах, как щелочи и концентрированные кислоты. В отличие от металлов, они не подвержены электрохимической коррозии. С увеличением молекулярной массы снижается растворимость полимеров в растворителях органического происхождения. Полимеры с пространственной структурой практически не подвержены действию органических растворителей.

Большинство полимеров является диэлектриками. Полимеры в основном относятся к немагнитным веществам. Из всех применяемых конструкционных материалов полимеры имеют наименьшую теплопроводность и наибольшие теплоемкости и тепловую усадку. Тепловая усадка полимеров примерно в 10-20 раз больше, чем металлов. Причиной потери герметичности уплотнительными узлами при низких температурах является стеклование резины и резкое различие коэффициентов расширения металла и резины в застеклованном состоянии.

Пластические массы

Пластмассы – это синтетические материалы, получаемые на основе органических и элементоорганических полимеров. Свойства пластмасс определяются свойствами полимеров, составляющих их основу.

Пластмассы состоят из нескольких компонентов: связующего вещества, наполнителя, пластификатора и др. Обязательным компонентом является связующее вещество. Такие простые пластмассы, как полиэтилен, вообще состоят из одного связующего вещества.

*Наполнителями* служат твердые материалы органического и неорганического происхождения. Они придают пластмассам прочность, твердость, теплостойкость, а также некоторые специальные свойства, например антифрикционные или, наоборот, фрикционные. Кроме того, наполнители снимают усадку при прессовании.

*Пластификаторы* представляют собой нелетучие жидкости с низкой температурой замерзания. Растворяясь в полимере, пластификаторы повышают его способность к пластической деформации. Их вводят для расширения температурной области высокоэластического состояния, снижают жесткость пластмасс и температуру хрупкости.

В качестве пластификатора применяют сложные эфиры, низкомолекулярные полимеры и др. Пластификаторы должны оставаться стабильными в условиях эксплуатации. Их наличие улучшает морозостойкость и огнестойкость пластмасс.

В состав пластмасс могут также входить стабилизаторы, отвердители, красители и другие вещества. *Стабилизаторы* вводят в пластмассы для повышения долговечности. Светостабилизаторы предотвращают фотоокисление, а антиокислители – термоокислительные реакции.

*Отвердители* изменяют структуру полимеров, влияя на свойства пластмасс. Чаще используют отвердители, ускоряющие полимеризацию. К ним относятся оксиды некоторых металлов, уротропин и др.

*Специальные химические добавки* вводят с различными целями; например, сильные органические яды-фунгициды – для предохранения пластмасс от плесени и поедания насекомыми в условиях тропиков.

*Смазывающие вещества* (стеарин, олеиновая кислота) применяют для предотвращения прилипания пластмассы к оборудованию при производстве и эксплуатации изделий.

*Термопластичные пластмассы (термопласты)*

Широкое применение находят термопластичные пластмассы на основе полиэтилена, полипропилена, полистирола, поливинилхлорида, фторопластов, полиамидов и других полимеров.

*Полиэтилен* имеет линейную структуру макромолекул  $[-CH_2-CH_2-]$  и является продуктом полимеризации этилена.

Полиэтилен имеет высокие диэлектрические свойства, практически не поглощает влагу. Он химически стоек к действию кислот, щелочей и растворителей, нетоксичен, легко сваривается, технологичен (поддается экструзии, литью, напылению, заливке т. д.), стоит недорого и сочетает высокую прочность с пластичностью. Недостатком полиэтилена является склонность к старению под действием ультрафиолетовых лучей.

*Полипропилен* (ТУ 6-05-1105-78) является производным этилена. Макромолекула полипропилена имеет следующую химическую формулу:  $[-CH(CH_3)-CH_2-]$ .

По сравнению с полиэтиленом полипропилен имеет более высокую механическую прочность и жесткость, большую теплостойкость и меньшую склонность к старению. Разрушающее напряжение при растяжении полипропилена достигает 25-40 МПа. Недостатком полипропилена является его невысокая морозостойкость (-20 °С).

*Полистирол* (ГОСТ 20282-86Е) относится к числу наиболее известных и широко применяемых пластмасс. Его макромолекула имеет следующую формулу:  $[-CH_2-CH(C_6H_5)-]_n$ .

Полистирол – твердый, жесткий, бесцветный, прозрачный, аморфный полимер, легко окрашиваемый в различные цвета. Обладает высокой водостойкостью, хорошей химической стойкостью в растворах солей, кислот и щелочей. По сравнению с другими термопластами более стоек к радиации. Недостатками полистирола являются повышенная хрупкость при ударных нагрузках, склонность к старению, невысокая тепло- и морозостойкость. Интервал рабочих температур от -40 до +65 °С. Полистирол применяют для изготовления деталей радио- и электроаппаратуры, предметов домашнего обихода, детских игрушек, трубок для изоляции проводов, пленок для изоляции электрических кабелей и конденсаторов, открытых емкостей (лотки, тарелки и др.), прокладок, втулок, светофильтров, крупногабаритных изделий радио-техники (корпуса транзисторных приемников), деталей электропылесосов (колодки, шелевые сопла, прокладки, ручки), мебельной фурнитуры, конструкционных изделий с антистатическими свойствами. Ударопрочным полистиролом (механическая смесь полистирола с каучуком) облицовывают пассажирские вагоны, салоны автобусов и самолетов. Из него изготавливают крупногабаритные детали холодильников, корпуса радиоприемников, телефонных аппаратов и др.

*Пенополистирол* получают из эмульсионного полимера прессовым и беспрессовым методами. Пенополистирол применяют для теплоизоляции холодильников и торгового оборудования. Для производства изделий, контактирующих с пищевыми продуктами, используют обычно суспензионный полистирол.

*Фторопласты* (ГОСТ 21000-81, ГОСТ 10007-80Е, ГОСТ 14906-77,

ГОСТ 25428-82) – полимеры фторпроизводных этиленового ряда. Фторопласты имеют прочность при растяжении 15-35 МПа, при изгибе 10-15 МПа; относительное удлинение при разрыве 250-350%.

Фторопласты широко применяются в электро- и радиотехнической промышленности, а также для изготовления химически стойких труб, кранов, мембран, насосов, подшипников, деталей медицинской техники, коррозионностойких конструкций, тепло- и морозостойких деталей (втулок, пластин, дисков, прокладок, сальников, клапанов), для облицовки внутренних поверхностей различных криогенных емкостей.

*Полиуретаны* (ТУ 6-05-221-479-79) – наиболее ценные и широко производимые промышленностью термопластичные полимеры. Полиуретаны содержат уретановую группу [-NH-COO-]n. Они характеризуются высоким модулем упругости, износостойкостью, вязким коэффициентом трения, стойкостью к вибрациям, атмосферостойкостью, а также стойкостью к воздействию масла и бензина. Изделия из полиуретана можно эксплуатировать при понижении температуры до -60 ... -70 °С. Волокна из полиуретана малогигроскопичны и имеют высокую химическую стойкость. Их используют для изготовления изоляции, фильтровальных и парашютных тканей.

*Стекло органическое* (плексиглас) (ГОСТ 9784-75Е, ГОСТ 10667-90Е, ГОСТ 15809-70Е, ГОСТ 17622-73Е) получают на основе сложных эфиров и метакриловой кислоты. Обычно применяют полиметилакрилат, имеющий структурную формулу [-СН<sub>2</sub>-С(СН<sub>3</sub>)(СООСН<sub>3</sub>)]n. Этот термопласт оптически прозрачен (светопрозрачность до 92%), имеет низкую плотность, высокую атмосферостойкость, стоек к воздействию разбавленных кислот и щелочей, углеводородного топлива и смазок. Стекло органическое выпускается в виде листов толщиной до 25 мм. Его недостаток низкая поверхностная твердость.

*Поликарбонат* (ТУ 6-06-68-89, ТУ 6-06-95-90) – термопластичный полимер на основе дифенилпропана, выпускаемый под названием дифлон. Поликарбонат характеризуется низкой водопоглощаемостью и газопроницаемостью, хорошими диэлектрическими свойствами, высокой жесткостью, теплостойкостью и химической стойкостью, не имеет запаха и вкуса, физиологически безвреден, бесцветен, прозрачен, хорошо окрашивается. Стоек к световому старению и действию окислителей даже при нагреве до 120 °С. Это один из наиболее ударопрочных термопластов, что позволяет использовать его в качестве конструкционного материала, заменяющего металлы. Из поликарбоната изготавливают шестерни, подшипники, корпуса, крышки, клапаны и другие детали, сосуды для транспортировки фруктовых соков, молока, вин и т.д. Его можно использовать в криогенной технике для работы в среде жидких газов.

Физико-механические свойства поликарбонатов улучшаются при введении в них армирующих волокон. Хорошо зарекомендовали себя наполненные стекловолокном полипропилен, полистирол и некоторые другие термопласты. Термопласты, армированные стекловолокном, имеют более высокие механические свойства и обеспечивают неизменность формы изделий в условиях повышенных температур. Производство таких термопластичных материалов с каждым годом растет на 25-30%. Они применяются при изготовлении самых различных деталей в электронной и электротехнической промышленности, оптическом и точном приборостроении, автомобилестроении, текстильном машиностроении и т.д.

#### *Термореактивные пластмассы (реактопласты)*

Основу всякого реактопласта составляет химически затвердевающая термореактивная смола – связующее вещество. Кроме того, в состав реактопластов входят наполнители, пластификаторы, отвердители, ускорители или замедлители и растворители. Наполнителями могут быть порошковые, волокнистые и гибкие листовые материалы. В качестве порошковых наполнителей используют молотый кварц, тальк, графит, древесную муку, целлюлозу. К пластмассам с порошковыми наполнителями относятся: *фенопласты* (ГОСТ 5689-79) и *аминопласты* (ГОСТ 9359-80). Из него изготавливают несилосые конструкционные и электроизоляционные детали (рукоятки, детали приборов, кнопки и т. д.), различные вытяжные и формовочные штампы, корпуса сборочных и контрольных приспособлений, литейные модели и другую оснастку.

Фенопласты являются термоупрочняемыми пластмассами. Неупрочненные смолы получают при поликонденсации фенола с формальдегидом. Существует два основных типа феноло-формальдегидных смол: новолаки и резола.

*Аминопласты* являются термоупрочняемыми пластмассами. К ним относятся карбаминоформальдегидные смолы и меламиноформальдегидные смолы.

Упрочненные аминопласты твердые и жесткие. Их можно полировать и механически обрабатывать инструментами по металлу, они имеют хорошие электроизоляционные свойства, легко окрашиваются.

Реактопласты с волокнистыми наполнителями представляют собой композиции, состоящие из связующего (смолы) и волокнистого наполнителя в виде очесов хлопка (волокниты), асбеста (асбоволокниты), стекловолокна (стекловолокниты).

*Волокниты* применяют для изготовления деталей с повышенной устойчивостью к ударным нагрузкам, работающих на изгиб и кручение (втулок, шкивов, маховиков и др.).

*Асбоволокниты* обладают хорошими фрикционными (тормозными) свойствами и теплостойкостью, но по водостойкости и диэлектрической проницаемости уступают пластмассам с порошковым наполнителем.

*Стекловолокниты* негорючи, стойки к действию ультрафиолетовых лучей, химически стойки, имеют стабильные размеры. Некоторые марки стекловолокнитов применяются для изготовления силовых электротехнических деталей в машиностроении, а также крупногабаритных изделий простых форм (кузовов автомашин, лодок, корпусов приборов и т. п.). Стекловолокниты имеют высокие физико-механические характеристики и применяются для изготовления деталей высокого класса точности и сложной конфигурации. Стекловолокниты могут работать при температурах от -60 до +200°С, имеют прочность при разрыве 80-500 МПа.

Пластик на основе бумаги – *гетинакс* (ГОСТ 2718-74) – применяют в качестве электроизоляционного материала, работающего длительно при температурах от -65 до +105 °С, а также как конструкционный и декоративный материал. Гетинаксы широко применяют в электрических машинах, трансформаторах (в качестве высоковольтной изоляции) и других аппаратах, при производстве телефонной аппаратуры, в радиотехнике (для изготовления печатных схем). Из гетинакса изготавливают панели, щитки, прокладки, крышки, шайбы, малонагруженные изделия и т. д.

## **Тема 1.5. Функциональные порошковые материалы**

Конструкционные детали являются наиболее распространенным видом продукции порошковой металлургии. Учитывая почти полное отсутствие отходов, они имеют минимальную стоимость и трудоемкость. Различают конструкционные порошковые материалы общего назначения, заменяющие обычные углеродистые и легированные стали, чугуны и цветные металлы, и материалы, обладающие специальными свойствами – высокой износостойкостью, твердостью, жаропрочностью, коррозионной стойкостью, специфическими магнитными и электрическими характеристиками. В зависимости от условий нагружения различают мало-, средне- и тяжело нагруженные детали, которые, в свою очередь, делятся на тяжело нагруженные статическими и динамическими усилиями.

Перспективно использование порошков титана и его сплавов для изготовления тяжело нагруженных деталей. Высокие механические свойства порошковых изделий на основе титана ( $\sigma_v = 650 - 900$  МПа,  $\gamma = 8-16\%$ ) позволили применить их для изготовления шатунов автомобильных двигателей. Это дало возможность существенно уменьшить массу, снизить инерционные силы и повысить мощность двигателя. Из порошков титана организовано серийное производство таких деталей, как втулки, крышки, трубы для химического и пищевого машиностроения, приборостроения и др.

#### **Антифрикционные порошковые материалы**

Для изготовления подшипников скольжения, уплотнений, подпятников наряду с литыми сплавами (бронзы, баббиты и чугуны) используют антифрикционные материалы, изготовленные методом порошковой металлургии. Они создаются на основе меди или железа и содержат вещества типа твердых смазок (графит, сульфиды и др.), что обеспечивает им заданные механические и эксплуатационные свойства.

Антифрикционные порошковые материалы характеризуются низким коэффициентом трения, хорошей износостойкостью, способностью легко прирабатываться к валу и выдерживать значительные нагрузки. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с обычными антифрикционными материалами. Их износостойкость в несколько раз выше, чем у бронз и баббитов. Они работают при более высоких скоростях и давлениях. Наличие в структуре пористости, регулируемой в широких пределах (до 35 %), позволяет их предварительно пропитывать смазочными маслами. Во время работы по мере нагревания масла, удерживаемое в порах и мельчайших каналах материала капиллярными силами, постепенно вытесняется наружу и образует смазочную пленку на рабочей поверхности. При остановке и последующем охлаждении подшипника масло частично всасывается обратно в поры. Поэтому пористые подшипники могут работать длительное время без дополнительной смазки. Эффект самосмазываемости в пропитанных маслом пористых подшипниках без подвода смазки известен может сохраняться в течение 3000-5000 ч.

Композиционные антифрикционные порошковые материалы позволяют иметь равномерно распределенные включения из веществ, играющих роль твердой смазки. К таким веществам относятся графит, сульфиды, пластмассы и некоторые другие соединения. Такие материалы имеют сравнительно низкий коэффициент трения при работе без жидкой смазки (в режиме сухого трения). Сочетание повышенных антифрикционных свойств твердых смазок и пластмасс со свойствами металлов позволяет получать материалы, способные работать в воде, агрессивных жидкостях, бензине, различных газовых средах, в вакууме, а также в условиях высоких и низких температур.

Порошковые антифрикционные материалы могут представлять собой каркасные конструкции, в которых каркас выполнен из прочного материала, а промежуток заполнен более мягким материалом. Можно, наоборот, иметь мягкую матрицу с равномерно распределенными твердыми включениями разной степени дисперсности, повышающими работоспособность подшипников. Эти особенности позволяют осуществлять направленное регулирование свойств порошковых антифрикционных материалов применительно к конкретным условиям эксплуатации.

Фрикционные порошковые материалы

Порошковые фрикционные материалы предназначены для работы в различных тормозных и передаточных узлах автомобилей, гусеничных машин, дорожных и строительных механизмов, самолетов, станков, прессов и т.п. Фрикционные элементы из порошковых материалов изготавливают в виде дисков, секторных накладок и колодок различной конфигурации. Применяют порошковые фрикционные материалы на основе меди и на основе железа.

Все фрикционные материалы в зависимости от условий работы делятся на 2 группы:

1. материалы, работающие в условиях сухого трения;
2. материалы, работающие в масле.

Порошковые материалы на основе оловянистых и алюминиевых бронз, содержащие свинец, графит и железо, предназначены преимущественно для работы в условиях трения со среднеуглеродистыми сталями с твердостью HRC 40-45 при давлении до 35 МПа и скорости скольжения до 50 м/с. При меньших давлениях и скоростях до 5 м/с используют металлопластмассовые материалы.

Порошковые материалы на основе железа, содержащие добавки меди, графита, оксида кремния, асбеста, сульфата бария, предназначены для работы в условиях сухого трения при давлениях до 300 МПа и скоростях до 60 м/с в паре с чугуном либо легированной сталью в тормозных устройствах различной конструкции – дисковых, колодочных, ленточных тормозах.

Пористые фильтрующие элементы

Для изготовления фильтрующих элементов обычно применяют ткани, войлок, керамику, фарфор, а также сетчатые фильтры из различных материалов. Их недостатками являются низкая коррозионная стойкость, недостаточная механическая прочность, низкая термостойкость и жаропрочность. В большинстве случаев они не допускают высоких перепадов давлений и с трудом поддаются регенерации.

При создании современной техники необходимо стремиться к использованию легких материалов, обладающих высокими физико-механическими характеристиками. Материаловеды всего мира пытаются найти вторую, третью структуры вещества, позволяющие известным материалам придать новые свойства.

В настоящее время одним из перспективных направлений материаловедения является создание *пористых металлических и неметаллических материалов*.

Область их использования весьма широка: эти материалы при малом удельном весе обладают высокой жесткостью, прочностью и высокими демпфирующими способностями; обладая развитой внутренней поверхностью, они могут быть использованы для выполнения и интенсификации различных физико-химических и электрохимических процессов, создания фильтров и др.

Развитая внутренняя поверхность пористых материалов позволяет осуществлять с высокой интенсивностью процессы, обычная скорость протекания которых мала. Использование пористых материалов для жидкости и газа позволяет уменьшить ограничения, связанные с низкой диффузией реагентов. В системах с проточными пористыми электродами без применения специальных селективных мембран и диафрагм могут быть разделены электродные продукты, продукты абсорбции и десорбции путем отсасывания их через поры. Пористые материалы обеспечивают проведение физико-химических процессов в невесомости. Выполнение охлаждения стенок ракетных двигателей из пористых материалов, по которым в пограничный слой потока горячего газа подается охладитель, является одним из перспективных и наиболее эффективных способов гидродинамической защиты. Из пористых материалов выполняются автомобильные бамперы, которые при столкновении с препятствием способны разрушаясь гасить энергию удара. При заполнении топливных баков пористым материалом полезный объем бака снижается на 5...7%, но в случае аварии такая конструкция не позволяет произойти взрыву топлива, а способствует его постепенному выгоранию.

Металлические пористые материалы изготавливаются спеканием в во- дородной среде свободно насыпанного в форму металлического порошка (свободное спекание); спеканием в водородной среде нанесенного на сетчатую или перфорированную ленту водного шлама из металлического порошка (шламовое спекание); спеканием в водородной среде металлического порошка, уплотненного между валками, с порообразующим агентом или без него (валковое спекание); прессованием металлического порошка с порообразующим агентом с последующим их спеканием в водородной среде. Свободное спекание дает высокую пористость 50...90%, однако получаемые при этом пористые материалы недостаточно прочны и обладают значительным электрическим сопротивлением. Использование в качестве каркаса перфорированных пластинок или сеток увеличивает прочность, укрепляет связи частиц порошка и ослабляет внутреннее сопротивление. Шламовое спекание применяется для нанесения пористой массы на гладкие пластины, в этом случае порошок сохраняется в виде суспензии и может использоваться пороноситель. Валковое спекание служит для получения требуемых изделий в больших количествах, на пористость в значительной степени оказывает влияние диаметр и скорость валков; при равномерном распределении порошка между валками получаются изделия с однородным распределением пор при пористости 60%. Прессование из порошка с добавкой порообразующих агентов в специальных формах и последующее спекание в водородной или другой нейтральной среде используется при изготовлении топливных элементов, абсорберов, десорберов и др.

Высокопористые порошковые металлические материалы благодаря жесткому пространственному каркасу имеют более высокую прочность. Они выдерживают резкие колебания температур, легко обрабатываются, свариваются и паяются, обеспечивают необходимую коррозионную стойкость, жаростойкость, теплопроводность. Вследствие высокой пористости они имеют хорошую проницаемость для жидкостей и газов при достаточно тонкой фильтрации (до 30 мкм). Эти материалы легко регенерируются и при этом почти полностью восстанавливают свои первоначальные свойства. Они не засоряют фильтрующиеся жидкости или газы материалами фильтра.

Технология изготовления металлических пористых элементов зависит от их формы и размеров. Фильтры небольших размеров изготавливают спеканием свободно засыпанного порошка. Для более крупных фильтров применяют холодное прессование и последующее спекание. Для получения тонких пористых лент применяют прокатку.

Для изготовления пористых проницаемых элементов применяют порошки различных металлов и сплавов: углеродистых и коррозионностойких сталей различных марок, сплавов никеля с хромом и молибденом, сплавов меди, титана, алюминия, вольфрама, молибдена и др. В технике наибольшее распространение получили фильтры из коррозионностойкой стали, бронзы, сплавов никеля и титана.

Применение порошковых материалов позволяет увеличить срок службы насосов, двигателей и других агрегатов, работающих на очищенных жидкостях. С их помощью повышается эффективность химических процессов и улучшается качество вакуумной продукции, создаются предпосылки для получения материалов с новыми свойствами.

## Раздел 2. Новые технологии

### Тема 2.1. Синтетические сверхтвердые покрытия

Покрытия для инструментов из СТМ. *Металлические и композиционные покрытия*

Ранее в отечественной и зарубежной практике инструмент изготавливался преимущественно из порошков СТМ без металлических покрытий. В 1965 г. были разработаны технологический процесс и оборудование для химического метода металлизации порошков алмаза. Затем в 1969 г. был создан электролитический метод нанесения металлических покрытий с наложением ультразвуковых колебаний, приме-

няемый до настоящего времени. В результате износостойкость инструмента при обработке твердого сплава повысилась в 2 раза по сравнению с работой кругом из алмазов без покрытия, а при шлифовании твердого сплава совместно со сталью – в 5-7 раз.

Металлизированные порошки СТМ применяются при изготовлении инструмента всех видов и типоразмеров на металлических, металллокерамических и твердосплавных связках. Металлизации подвергаются блочные высокопрочные и термостойкие марки алмазов – АС15, АС20, АС32, АС40, АС65, АС80, АС50Т, АС65Т, АС82Т, АС105Т, АС132Т, а также КНБ марок

КР, ЛКВ и КТ (кибор). С 1983 г. при изготовлении инструмента используется новый технологический процесс для нанесения металлических покрытий методом ионно-плазменного напыления. Адгезия полученных с использованием магнетронов покрытий к поверхности СТМ значительно выше, чем у покрытий, полученных термовакuumным методом. Кроме того, в ионных покрытиях возникают напряжения сжатия, а в покрытиях, полученных испарением, – напряжения растяжения. Сжатие может достигать 109 Н/м<sup>2</sup> для молибдена и вольфрама, что способствует лучшему удержанию зерен в инструменте, создает предпосылки для широкого использования данного метода нанесения покрытий на высокопрочные и термостойкие порошки алмазов и КНБ, предназначенных для изготовления инструмента, работающего в особо тяжелых условиях: при бурении и камнеобработке. В 1971 г. были созданы композиционные покрытия, включающие кроме металлической составляющей мелкозернистые порошки графита, гексагонального нитрида бора, дисульфида молибдена и некоторых карбидов тугоплавких металлов. Такие покрытия рекомендуются для сухого шлифования хрупких материалов. Введение антифрикционных добавок и твердых смазок способствует улучшению условий шлифования благодаря снижению тепловыделения в зоне обработки.

В композиционных покрытиях сочетаются свойства материалов покрытия, абразивного порошка и твердой фазы включения, что повышает их физико-механические характеристики и улучшает шлифовальную способность инструмента. Порошки СТМ с композиционными покрытиями применяются для изготовления инструмента всех видов и типоразмеров на органических связках. Покрытия наносятся в инертной среде и вакууме из расплава на сравнительно хрупкие порошки алмазов марок АС2, АС4, АС6 зернистостью 28/20 и крупнее неправильной формы с шероховатой поверхностью, применяемых в инструменте на органических связках.

При торцевом шлифовании твердого сплава Т15К6 кругом 12А2 125х5х3 АС2 80/63 – Б1-100 % из алмазов с композиционным покрытием на основе сплава Cu–Sn–Ti при глубине 0,02 мм/дв. ход температура резания снижается по сравнению с металлическим покрытием только сплавом Cu–Sn–Ti на 150 °С; при 0,04 мм/дв. ход – на 200-250 °С, что весьма важно при шлифовании без охлаждения, так как температура резания в кругах из алмазов, металлизированных этим сплавом, при глубине 0,04 мм/дв. ход достигает 600 °С и более. При этом кроме механических видов износа может происходить частичное окисление алмазов и термическое разрушение (деструкция) органической связки, что приводит к преждевременному износу алмазного инструмента. Введение твердых смазок позволяет в 1,5 раза снизить усилия резания. Эффективная мощность шлифования также снижается.

Порошки СТМ с металлическим и композиционным покрытиями предназначены для изготовления инструмента на органических и металлических

связках всех видов и типоразмеров на традиционном оборудовании и по существующим технологическим процессам. Особенностью процесса изготовления является уменьшение объема рабочего слоя связки или наполнителя на величину объема металла, вводимого в круг и равномерно распределенного на зернах СТМ. В настоящее время практически весь инструмент изготавливается из порошков СТМ с покрытиями и широко используется при обработке твердых сплавов, твердых сплавов совместно со сталью, при бурении, камне- обработке, обработке стекла, кремния и корунда, фарфора, ферритов, износостойких покрытий и других материалов.

Таким образом, выбор метода и материала покрытий обусловлен физико-механическими свойствами существующих марок сверхтвердых и связующих материалов, а также условиями изготовления инструмента. Установлено, что нанесение покрытий существенно повышает свойства СТМ (разрушающую нагрузку и порог окисления зерен СТМ, смачивание и пропитку зерен связующими материалами, удержание зерен и теплоотвод). В результате существенно улучшаются физико-механические свойства связок, повышается работоспособность инструмента.

#### *Неметаллические покрытия*

Инструмент из металлизированных алмазов успешно применяется при обработке твердых и относительно хрупких материалов, например при обработке твердого сплава, стекла, керамики, гранита и др. При обработке данным инструментом вязких материалов, особенно без применения СОТС (на- пример, железоуглеродистых сплавов или твердого сплава совместно со сталью при наличии между ними вязкого припоя), по сравнению с непокрытыми зернами уменьшается производительность обработки, зачастую повышается температура в зоне резания и, как следствие, образуются прижоги и другие дефекты на обработанной поверхности.

КНБ, благодаря высокой термической устойчивости и химической инертности к железоуглеродистым сплавам, широко применяется при обработке различного вида сталей и, прежде всего, быстрорежущих. Инструмент из металлизированных порошков КНБ при обработке таких материалов имеет высокую износостойкость, однако при этом на обработанной поверхности могут образовываться прижоги, особенно при работе инструмента без применения СОТС. Поэтому покрытия, наносимые на зерна алмаза и КНБ, должны обеспечивать не только высокую износостойкость инструмента, изготовленного на их основе, но и высокое качество обработанной поверхности, а также повышать производительность шлифования при обработке вязких материалов. Для этого инструмент не должен засаливаться, должен работать в режиме самозатачивания, обеспечивать высокую мощность шлифования, определяемую фрикционными свойствами системы режущий инструмент – обрабатываемый материал. Этим требованиям удовлетворяет инструмент, изготовленный из порошков СТМ, с неметаллическими покрытиями на основе натриево-боросиликатных стекол.

При работе инструмента в зоне резания, как правило, развиваются достаточно высокие температуры, превышающие температуру трансформации стекла ( $T_g$ ). Благодаря этому слои стекла, находящиеся в контакте с обрабатываемым материалом, будут размягчаться. Размягченное стекло, являясь хорошей смазкой, способствует снижению температуры и мощности шлифования при обработке вязких материалов, а это, в свою очередь, повышает качество шлифуемой поверхности. Кроме того, стекла, в отличие от металлов, имеют невысокую адгезию к металлам, что препятствует схватыванию инструмента с обрабатываемым материалом.

На основании проведенных исследований по смачиваемости и взаимодействию расплавов стекол с алмазом и КНБ выбраны составы стекол для покрытия порошков СТМ. Разработан способ нанесения стеклопокрытий на порошки СТМ из жидкой фазы. Он прост в исполнении, не требует сложного оборудования, защитных газовых сред или вакуума. По этому способу получают агрегаты, состоящие из 5 - 20 зерен СТМ, покрытых и связанных между собой адгезионно-активным стеклом.

Использование порошков алмаза и КНБ со стеклопокрытиями позволяет придать инструменту новые положительные качества и, в первую очередь, снизить относительный расход абразива, а также температуру в зоне резания, мощность шлифования.

Промышленные испытания работоспособности кругов в промышленных условиях показали, что круги из алмазов и КНБ со стеклопокрытием на органических и металлических связках могут эффективно использоваться в технологических процессах абразивной обработки цельнотвердосплавного и напайного твердосплавного инструментов, а также многолезвийных инструментов из быстрорежущих сталей при работе с охлаждением и без него. Применение алмазов и КНБ со стеклопокрытием позволяет повысить работоспособность абразивного инструмента по сравнению с СТМ без покрытия и покрытых металлами за счет снижения относительного расхода СТМ, повышения производительности шлифования, уменьшения прижогов на обрабатываемой поверхности, снижения мощности шлифования.

## **Тема 2.2. Многофункциональные покрытия**

В зависимости от требований, предъявляемых к эксплуатационным характеристикам деталей, различают три вида покрытий:

- *защитные покрытия*, назначением которых является защита от коррозии деталей в различных агрессивных средах, в том числе при высоких температурах;
- *защитно-декоративные покрытия*, служащие для декоративной отделки деталей с одновременной защитой их от коррозии;
- *специальные покрытия*, применяемые с целью придания поверхности специальных свойств (износостойкости, твердости, электроизоляционных, магнитных свойств и др.), а также восстановления изношенных деталей.

При выборе покрытий следует учитывать назначение и материал покрываемой детали, условия ее эксплуатации, свойства покрытия и способ его нанесения, допустимость контактов сопрягаемого металла и покрытия, а также экономическую целесообразность его применения.

#### Способы покрытия

*Горячее погружение в расплав* – один из самых старых методов нанесения покрытий. Металлы ванны имеют низкую температуру плавления – это цинк, олово, алюминий. Они обеспечивают защиту основного металла от коррозии.

*Напыление* осуществляется мелкими частицами материала, образующимися при пропускании проволоки или порошка через кислородно-ацетиленовое пламя, с последующим осаждением на холодную основу. Для нагрева можно использовать электродугую или плазменную металлизацию. Это способствует улучшению адгезии и снижению пористости покрытия.

*Наплавка* осуществляется сплавлением осаждаемого материала с поверхностным слоем основы. Наплавка широко применяется для ремонта отдельных деталей, поврежденных или износившихся в процессе эксплуатации. Для нанесения покрытий методом наплавки могут использоваться все основные сварочные процессы: газопламенный, электродуговой, плазменный, электроннолучевой и др.

*Электрохимическое осаждение* металлов из растворов солей обычно применяется для получения гальванических покрытий из хрома и никеля толщиной 0,12-0,60 мм.

*Электролитическое нанесение покрытий* из сплавов Ni-P и Ni-B осуществляется вследствие химического взаимодействия. В этом случае покрытия формируются по всей поверхности деталей с одинаковой скоростью толщиной до 0,12 мм, тогда как гальванические покрытия, прежде всего формируются на выступающих местах – кромках, ребрах, гранях.

*Химико-паровое осаждение*, или процесс CVD (chemical vapour deposition), является процессом, в котором устойчивые продукты реакции зарождаются и растут на подложке в среде протекающими в ней химическими реакциями (диссоциация, восстановление и др.). Благодаря высокой температуре на поверхности образуются очень тонкие слои, например карбида или нитрида титана. CVD-процесс используется для нанесения покрытий на инструмент и штампы.

*Физическое осаждение из паровой фазы* (physical vapour deposition, PVD) протекает в несколько стадий:

- 1) нагрев материала в вакууме до испарения;
- 2) перенос паров от источника к подложке;
- 3) конденсация паров на основе – подложке.

Метод PVD обладает высокой гибкостью, и с его помощью можно наносить любые металлы, сплавы, оксиды, карбиды и нитриды. Например, его с успехом применяют для нанесения износостойкой пленки TiN на стальной инструмент. Достоинством метода PVD является высокая чистота поверхности и превосходная связь с основой.

*Механическое нанесение покрытий* используют для получения цинковых, кадмиевых и оловокадмиевых покрытий – детали перемещают в со- судах с соответствующими тонкими металлическими порошками, активаторами и стеклянными шариками.

*Ионная имплантация* предусматривает ионизацию атомов с последующим ускорением ионов в электрическом поле в вакууме. Ионы тормозятся при соударении с мишенью и распределяются по глубине мишени. Хотя глубина проникновения ионов обычно не превышает 0,1-0,2 мкм, свойства металла могут меняться существенно.

#### Металлические покрытия

##### Цинковые покрытия

Среди методов, улучшающих антикоррозионные свойства, цинкование занимает первое место. Ежегодно в мире оцинковывается около 25 млн. т стали. Основными методами для нанесения цинковых покрытий на сталь являются электролитический и погружение в расплав (огневое или горячее цинкование).

Хотя в качестве материала основы можно использовать любые марки, для цинкования обычно применяют углеродистые и низколегированные стали. Цинковые покрытия характеризуются коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, в пресной воде и в закрытых помещениях с умеренной влажностью.

Цинковые покрытия имеют удовлетворительную поверхностную твердость, износ- и водостойкость, прочность на изгиб. Долговечность оцинкованных труб зависит от толщины покрытия. Для серийно выпускаемых труб на 1 м<sup>2</sup> расходуется 400 г цинка, толщина покрытия составляет 43-46 мкм. Отечественная промышленность выпускает оцинкованные водогазопроводные трубы диаметром 10-159 мм, длиной до 8 м.

Скорость коррозии оцинкованных труб в 3-4 раза ниже, чем у стальных труб без покрытия в одних и тех же агрессивных средах. Для повышения коррозионной стойкости оцинкованных листов в состав цинкового покрытия вводят медь (0,08-0,82 %) и алюминий (до 1 %). Коррозионная стойкость листов с электролитическим покрытием ниже, чем горячеоцинкованных. Для повышения коррозионной стойкости оцинкованного листа его дополнительно покрывают лакокрасочным или цветным полимерным покрытием.

Цинковые покрытия применяют для защиты от коррозии запорной арматуры и подземных трубопроводов сточной воды и воды, используемой для технических целей.

Соединения цинка токсичны и при нагреве неустойчивы в кислотах. Цинковые покрытия не применяют для защиты от коррозии деталей, находящихся в непосредственном контакте с пищевыми продуктами.

##### Алюминиевые покрытия

Для стальных деталей с алюминиевым покрытием характерно сочетание высокой прочности и коррозионной стойкости. Нанесение покрытий производят путем горячего алюминирования в расплавах (алитирование), плакированием стальных листов и напылением в вакууме. Среди способов покрытия стальных листов алюминием наибольшее распространение имеет горячее алюминирование.

Коррозионная стойкость стальных деталей с алюминиевым покрытием обусловлена высокими защитными свойствами образующейся на поверхности пленки Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> толщиной менее 0,1 мкм. Этот оксидный слой отличается высокой плотностью и при повреждении быстро образуется заново.

Защитное действие пленки оксида алюминия на алюминиевом покрытии особенно сильно выражено при высокотемпературном нагреве (рис. 7.4).

В случае необходимости повышения прочностных свойств вместо углеродистых конструкционных сталей используют микролегированные стали с добавками Nb или Ti.

Микролегирующие элементы придают стали более высокую жаропрочность, поэтому такие стали можно использовать для нагружения при высоких температурах, тем более что алюминий в качестве покрытия имеет хорошую стойкость к окислению.

Алюминиевые покрытия устойчивы в водных растворах агрессивных пищевых сред и органических кислот. Нетоксичность, инертность ко многим средам, хорошие грунтовочные свойства для последующего нанесения полимерных и стеклоэмалевых покрытий обуславливают достаточно широкое применение алюминиевых покрытий в разных отраслях машиностроения.

##### Оловянные и хромсодержащие покрытия

Покрытие оловом производят методами погружения в расплав и электролитическим осаждением. При погружении стальных и чугуновых изделий в расплав на поверхности образуется тонкий слой соединения FeSn<sub>2</sub>, над которым после вытягивания из расплава затвердевает более толстый слой олова.

Более широко используют метод электролитического лужения. Листовой прокат, полученный этим методом, толщиной менее 0,5 мм, называют белой жстью. Толщина оловянных покрытий составляет 30-35 мкм.

В качестве заменителя белой жести применяется холоднокатаный тончайший лист, который покрыт электролитически нанесенным покрытием оксида хрома.

Оловянные покрытия широко применяются в различных отраслях техники, прежде всего в пищевой и мясомолочной промышленности, особенно для защиты от коррозии различных стальных емкостей типа баков, цистерн, фляг. Оловом защищают не только стальные, но и медные емкости.

Электролитически хромированную жести используют вместо белой жести при изготовлении упаковочной тары для консервов (овощных, молочных, мясных, рыбных), а также фруктовых соков, пива, безалкогольных напитков, при производстве крышек для стеклотары и колпачков для бутылок, тары для упаковки сухих пищевых продуктов.

#### *Покрyтия плакированием*

При плакировании происходит послойное соединение стали с одним или многими металлами с образованием многослойного материала. При плакировании к материалу основы не предъявляются особых требований, он используется с теми же свойствами, которые нужны для эксплуатации. Для получения бездефектного соединения требуется очистка поверхности и создание заданной шероховатости. Плакирование осуществляется разными методами. Используют процессы горячей и холодной прокатки, метод двухслойного литья заготовок, плакирование взрывом и наплавку плакирующего слоя.

В качестве материала для плакирования низколегированных сталей применяют коррозионностойкие ферритные или аустенитные стали, медь и никель или их сплавы, а также алюминий, титан, ниобий или молибден. При плакировании коррозионностойкую сталью предварительно создают гальваническое никелевое покрытие. Этим устраняется окисление горячей стали перед прокаткой и одновременно интенсифицируются процессы диффузионного сваривания, необходимые для сцепления материалов.

Биметаллы являются не только заменителями однородных дорогостоящих материалов. Во многих случаях благодаря сочетанию свойств своих компонентов они имеют более благоприятные показатели, чем однородные дорогостоящие материалы сами по себе.

Плакированные изделия отличаются более высокой прочностью. При использовании в качестве основного материала сталей с высоким пределом текучести может быть снижена масса изделия и получена дополнительная экономия металла по сравнению с требуемым количеством при изготовлении тех же изделий целиком из нержавеющей стали.

#### *Осаждение в вакууме или из газовой фазы*

Ранее отмечалось, что в основе технологии напыления металлических сплавов в вакууме лежит принцип испарения за счет нагрева и понижения давления и конденсация на материале основы с получением заданного слоя. Высокий вакуум благоприятствует процессу испарения. Для эффективного протекания процесса конденсации изделие, на которое наносится покрытие, должно интенсивно охлаждаться.

При осаждении металлов из газовой фазы на стальную поверхность используют свойство некоторых металлов легко образовывать летучие галогениды, которые вступают в реакцию с железом на стальной поверхности. При этом металл покрытия становится свободным и может диффундировать в глубь стальной детали. Наряду с алюминием для осаждения из газовой фазы используется также хром и кремний.

Высокое содержание хрома на поверхности (до 25%) придает материалу отличную стойкость против окисления и коррозии.

#### *Неметаллические покрытия*

##### *Неорганические покрытия и способы их нанесения*

К неорганическим неметаллическим материалам, применяемым для защиты от коррозии металлических поверхностей, относятся эмали, стекло и цемент.

*Эмалью* называют стекловидную застывшую массу, полученную в результате полного или частичного расплавления и состоящую в основном из кварца и других оксидов. На изделие эмаль наносят одним или несколькими слоями.

Различают два основных способа эмалирования. Наряду с эмалированием, при котором изделие покрывают грунтовкой и покровными эмалями и при этом дважды обжигаются, широко используется в последние годы однослойное прямое эмалирование, при котором слой эмали (0,2-0,3 мм) может быть уменьшен наполовину. При специальном эмалировании, применяемом в химическом и пищевом машиностроении, обычно наносится многослойная эмаль.

Стеклоэмалевое покрытие обладает не только высокой химической стойкостью, износостойкостью, но и обеспечивает незначительное налипание остатков продукта, благодаря чему аппаратура легко моется. Покрытие имеет высокую адгезию к металлу. Общая толщина эмалевого покрытия 0,8-1,0 мм.

При эксплуатации эмалированной аппаратуры не допускается превышать давление или резко повышать его даже в пределах рабочего давления, резко нагревать и заполнять переохлажденным продуктом или водой, производить местные термические и механические воздействия, оставлять аппараты открытыми, использовать в качестве моющих и дезинфицирующих средств щелочные растворы.

Недостатки стеклоэмалевых покрытий: чувствительность к ударам, резкой смене температуры, местным перегревам, воздействию щелочей.

##### *Органические полимерные покрытия и способы их нанесения*

Полимерные покрытия не только защищают металлы от воздействия агрессивных сред, но и повышают их износостойкость, снижая прилипаемость различных веществ к рабочим поверхностям, позволяют экономить цветные металлы и другие дефицитные материалы.

К полимерным покрытиям предъявляются высокие требования. Покрытия должны иметь хорошую адгезию к защищаемой поверхности, беспористость, эластичность, механическую прочность, теплостойкость, быть инертными к средам, с которыми они находятся в контакте.

Ни один из известных полимеров не сможет полностью удовлетворить всем перечисленным требованиям. Материалы, обладающие достаточной химической стойкостью, как правило, имеют недостаточную адгезию к защищаемому металлу. Полимерные покрытия с хорошей адгезией к защищаемой поверхности часто легко разрушаются от химического и механического воздействия агрессивных сред. Лишь эпоксидные и некоторые другие полимеры удачно сочетают высокую адгезию к металлу с удовлетворительной химической стойкостью.

Для нанесения на поверхность полимерных покрытий и их формирования применяются различные окрасочные агрегаты, краскораспылители, краснагнетательные баки. Пневматические окрасочные агрегаты обеспечивают механическое раздробление окрасочного состава (гидродинамическое распыление).

Полимерные покрытия могут наноситься газопламенным методом. Газопламенное напыление, называемое также пламенным или огневым напылением, заключается в том, что порошкообразная полимерная композиция наносится на металлическую или иную поверхность, предварительно подготовленную и нагретую с помощью специальной горелки автогенного типа. Частицы полимерного материала размягчаются в пламени и, попадая на нагретую поверхность, растекаются на ней, образуя при остывании слой покрытия. Покрытия необходимой толщины получают последовательным нанесением нескольких слоев полимера; выравнивание поверхности последнего слоя происходит в результате оплавления в пламени горелки без подачи порошка.

Для напыления могут применяться порошки различных термопластов, в том числе составы на основе поливинилбутирала, битумные и каучуковые композиции. Разработан также газопламенный метод нанесения термореактивных полимеров, при котором производится спекание полимерного покрытия, а не оплавление его. Этим методом наносят составы на основе фенолоформальдегидных и эпоксидных смол с наполнителями и отвердителями.

##### *Полиолефиновые покрытия.* К наиболее распространенным полиолефинам относятся полиэтилен, полипропилен и их сополимеры.

Покрытия из полиолефинов отличаются высокой химической стойкостью к действию многих агрессивных сред. Полиэтилен используют в качестве упаковочного материала для хранения продуктов и получения антикоррозионных покрытий. Свойства полиэтилена и полипропилена практически не меняются при воздействии концентрированными соляной и серной кислотами при 20°C, а также растворами щелочей. Однако органические растворители при комнатной температуре вызывают некоторое набухание, а при температурах выше 100-120°C растворяют полиолефины.

Полиолефины имеют низкую проникаемость по отношению к жидким и газообразным агрессивным средам.

Полиолефины используются для нанесения покрытий почти всеми известными методами, включая напыление порошкообразных полимеров, плакирование пленками и листами, футерование литьем под давлением, а также формирование покрытий из дисперсий в водноорганических средах.

*Полиамиды.* К полиамам относятся капрон и капролон. Покрытия из полиамидов обладают высокими антифрикционными характеристиками. По износостойкости при сухом и жидкостном трении полиамиды превосходят не только другие классы полимеров, но и многие металлы, применяющиеся в антифрикционных целях. Низкий коэффициент трения при высоких нагрузках позволяет использовать поли-

амиды в тяжело нагруженных узлах трения, о чем свидетельствуют значения коэффициентов трения покрытий из полиамидов при трении со смазкой по стали. Недостатком полиамидных покрытий является склонность к старению и значительное водопоглощение. С повышением температуры гигроскопичность возрастает.

Полиамидные покрытия наносят на поверхность изделий напылением порошков, литьем под давлением, а также из растворов.

Следует отметить низкую стойкость полиамидов к окислению, что препятствует длительной эксплуатации полиамидных покрытий на воздухе при температурах выше 60-100 °С. В целях повышения термостабильности полиамидов применяют различные стабилизирующие добавки органического и минерального происхождения.

Для улучшения адгезионных и когезионных свойств, повышения эксплуатационных характеристик в покрытия из полиамидов вводят различные наполнители. Введение небольших количеств оксидов титана, меди, железа, свинца и алюминия способствует росту прочности и твердости, несущей способности и износостойкости покрытий при незначительном изменении коэффициента трения. Повышение теплоустойчивости и несущей способности подшипников с полиамидными покрытиями достигается введением порошков металлов (алюминия, свинца, бронзы и др.). Снижению коэффициента трения также способствует добавка фтор-ропласта-4, дисульфида молибдена, графита.

Модифицированные покрытия на основе полиамидных слоев применяют для изготовления таких деталей как шестерни, подшипники и т.д.

Полиамидные смолы используют для получения защитных покрытий, а полиамидные порошки – для нанесения тонкого антифрикционного износостойкого покрытия.

Поливинилхлорид (ПВХ). Благодаря низкой стоимости сырья, высокой химической стойкости, хорошим физико-механическим и удовлетворительным электрическим свойствам ПВХ является самым распространенным материалом, применяющимся для создания защитно-декоративных, химически стойких и электроизоляционных покрытий.

В состав поливинилхлоридных композиций, предназначенных для покрытий, помимо пластификаторов, входят стабилизаторы, наполнители, смазки, пигменты и другие добавки, концентрация и природа которых оказывают существенное влияние на свойства покрытий.

Материалом для покрытий в основном служит пластифицированный поливинилхлорид, реже используется непластифицированный ПВХ, типичным представителем которого является винипласт. Листовой и пленочный винипласт применяется в химической промышленности для футеровки металлической аппаратуры и трубопроводов, эксплуатирующихся в агрессивных средах.

Пластифицированный поливинилхлорид обычно наносят на поверхность обрабатываемых деталей в виде порошка или пленки.

Высокая химическая стойкость поливинилхлорида позволяет успешно использовать покрытия на его основе в агрессивных средах.

Фторопласты. Для изготовления различных деталей и для защитных покрытий применяются фторопласт-4 и фторопласт-3.

Фторопластовые покрытия исключительно устойчивы к агрессивным средам и в этом отношении превосходят даже благородные металлы и сплавы. На покрытия из фторопласта-4 не действуют окислительные среды, включая и царскую водку, кипящие щелочи, растворы солей. Фторопластовые покрытия вполне устойчивы по отношению к жирам, маслам, влаге, кислотам и т.д.

Покрытия из фторопластов применяют для защиты различных технологических емкостей.

Кремнийорганические полимеры отличаются многими ценными свойствами, из которых наиболее характерны термостойкость, а также стойкость к воздействию целого ряда химических агентов и растворителей. По термостойкости они значительно превосходят органические полимеры.

Кремнийорганические полимеры сравнительно инертны по отношению к большинству реагентов за исключением сильных оснований и концентрированных кислот. Разбавленные сильные кислоты и щелочи, а также слабые кислоты и основания оказывают на них незначительное действие.

К недостаткам кремнийорганических полимеров следует отнести их невысокую химическую стойкость к действию органических растворителей и окислительных сред.

Эпоксидные смолы в своем составе имеют реакционноспособные эпоксидные и гидроксильные группы, способные вступать в химические реакции с различными веществами с образованием более сложных соединений. При введении в них отвердителей холодного или горячего отверждения такие смолы способны переходить в неплавкое и нерастворимое состояние. В качестве отвердителей могут применяться органические и неорганические кислоты, ангидриды кислот, амины и амиды, а также синтетические смолы.

Свои ценные физико-механические свойства эпоксидные смолы приобретают при взаимодействии с отвердителями. Реакционноспособные группы отвердителей взаимодействуют с эпоксидными или гидроксильными группами смолы. Скорость процесса отверждения зависит от температуры. Некоторые отвердители реагируют со смолой при комнатной температуре, другие – лишь при нагревании. Наиболее полное отверждение полиаминами достигается при температуре выше 100 °С. Долговечность материалов, полученных отверждением при комнатной температуре, ограничена.

*Резиновые покрытия.* В качестве материалов для покрытий применяются резины на основе натурального и синтетических каучуков. В состав композиций входят стабилизаторы, вулканизирующие агенты и другие добавки. В процессе вулканизации образуется трехмерная структура, обеспечивающая покрытиям хорошие механические свойства.

#### *Защитные технологические покрытия*

Для защиты от окисления при высоком нагреве различных сортов сталей, жаропрочных, титановых, никелевых и других сплавов созданы защитные технологические покрытия, которые работают в интервале температур 950-1700°С. Эти покрытия экологически чистые, экономичны и просты в использовании, обладают хорошими смазочными характеристиками и могут быть использованы при обработке методами пластической деформации сталей и сплавов.

При штамповке заготовок из титановых сплавов применяют покрытия ЭВТ-24, ЭВТ-25, которые защищают металл от окисления, улучшают процесс заполнения формы, уменьшают глубину газонасыщенного слоя, повышают стойкость штампов в полтора-три раза.

Покрытия ЭВТ-35, ЭВТ-57, ЭВТ-88М используют в изотермической штамповке титановых и никелевых жаропрочных сплавов при изготовлении точных заготовок сложного профиля, при этом коэффициент использования материала повышается на 20-30% и увеличивает стойкость штампов. При этом сокращаются припуски на механическую обработку и снижается трудоемкость изготовления деталей.

Покрытия ЭВТ-67, ЭВТ-78М, ЭВТ-100 позволяют защищать поверхностей заготовок из тугоплавких сплавов от окисления.

Применение защитных технологических покрытий позволяет экономить металл и снижать себестоимость изготовления деталей.

#### *Теплозащитные покрытия*

При изготовлении космических ракет и кораблей, самолетов и ракет военного назначения используются специальные материалы для тепловой защиты жилых отсеков и аппаратуры управления. Трагический запуск корабля многоразового использования Columbia, показал, что нарушение герметичности клевого шва в защитной облицовке приводит к разрушению всего корабля. Тепловая защита изолирует обшивку летательного аппарата от плотных слоев атмосферы, которые при торможении нагреваются до 1200- 1300° С. Она состоит из плиток, выполненных из волокнистого керамического материала. Материал плиток может выдерживать многократное тепловое воздействие в интервале температур от -150 до +1300° С, обладает низкой плотностью и теплопроводностью, выдерживает значительные нагрузки от тепловых деформаций и вибраций. После каждого полета заменяется около сотни поврежденных плиток системы тепловой защиты, которые имеют трещины, выкрашивания, прижоги.

Волокнистые материалы на основе SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> эффективно используются в качестве высокотемпературных жидкостных и газовых фильтров, катализаторов, а также армирующих наполнителей деталей двигателей внутреннего сгорания.

Основными недостатками таких волокнистых материалов являются низкие удельная прочность, возможность эрозии и истирания. Поэтому для повышения эффективности их применения необходимы поверхностные покрытия.

#### *Терморегулирующие покрытия*

Разработан эффективный способ получения высокотемпературных терморегулирующих покрытий, называемый «золь-гель»-технология, в основе которой лежат химические процессы синтеза алкоксипроизводных металлов и неметаллов (Si, Al, B, Zr, Hf, Y и др.) с последующим гидролизом, конденсацией и гелеобразованием. Такая технология осуществляется при комнатной температуре, позволяет получать однородные покрытия, которые наносятся на рабочие поверхности кистью, пульверизатором, шпателем, методом окунания, и



управлять их свойствами. На основе «золь-гель»- технологии разработаны высокотемпературные терморегулирующие покрытия с рабочей температурой до 1500°C для защиты поверхности огнеупорных футеровок и волокнистых теплоизоляционных материалов от агрессивных горячих газовых потоков и термударов. Толщина покрытия составляет 0,05– 2 мм, излучаемая способность 0,5–0,95, расход покрытия 0,15–0,4 кг/м<sup>2</sup>.

При использовании покрытий поверхность волокнистых теплоизоляционных материалов упрочняется в два раза, значительно снижается эрозионное разрушение из-за воздействия газовых потоков и агрессивных сред, на 30–50% увеличивается срок службы, на 20–30% снижается энергоемкость за счет снижения тепловых потерь, повышается температура эксплуатации изделий. Терморегулирующие покрытия используются в изделиях аэрокосмической техники, энергетическом и химическом машиностроении.

#### *Лакокрасочные покрытия*

Лакокрасочные материалы – это составы, наносимые на защищаемую поверхность тонкими слоями и образующие после высыхания и отверждения твердую, плотную и прочно сцепленную с поверхностью пленку. Они состоят из основных материалов (связующие – пленкообразующие вещества, пигменты, наполнители) и вспомогательных (пластификаторы, отвердители, растворители и др.).

Пленкообразование при формировании лакокрасочного покрытия происходит следующими способами: испарением растворителей (например, для поливинилхлоридных покрытий); взаимодействием с отверждающими агентами (для эпоксидных покрытий); поликонденсацией (для фенольных покрытий); окислением (для маслосодержащих покрытий); расплавлением и напылением (для полиэтилена и др.).

Системой лакокрасочного покрытия называют сочетание слоев лакокрасочных материалов, последовательно нанесенных на защищаемую поверхность.

Толщина покрытия зависит от типа и свойства наносимого лакокрасочного материала, его вязкости, процесса нанесения, степени агрессивности среды и других условий эксплуатации, свойств металла и степени сложности его поверхности, возможности нанесения определенным способом и назначения.

Обычно толщина однослойной пленки правильно нанесенной эмали при 18–22°C составляет 25–30 мкм, нагретой – до 40–60°C – 15–20 мкм.

Лакокрасочным материалам присущи определенные физические (плотность, теплопроводность, атмосферостойкость и др.), механические (прочность, твердость, эластичность, истираемость и др.), химические (кислото-щелочестойкость, токсичность и др.) свойства.

*Грунтовки* – это пигментированные растворы пленкообразователей в органических растворителях. Они служат для создания на защищаемой поверхности антикоррозионного слоя и обеспечения высокой прочности сцепления как с поверхностью, так и с последующими покрывными слоями. В системе поверхность – грунтовка – покрывной состав (эмаль) грунтовка выполняет роль «химического мостика».

*Эмали* (покрывные слои) – это пигментированные и наполненные лаки, предназначены для обеспечения защиты металла от коррозии совместно с грунтовками и придания объекту требуемого декоративного вида. Как правило, их наносят на предварительно загрунтованные поверхности.

В различных отраслях пищевой промышленности лакокрасочные композиции часто изготавливают на месте на основе таких связующих, как эпоксидные, кремнийорганические, полиуретановые, сополимервинилхлоридные и других смол. В них добавляют пигменты и наполнители, а также вспомогательные материалы (пластификаторы, растворители, разбавители, отвердители). Все компоненты перемешивают, перетирают и фильтруют до получения готовых к употреблению составов.

*Пигменты* – это тонкоизмельченные цветные природные и синтетические неорганические оксиды, соли металлов, органические или металлические вещества (порошки), не растворимые в дисперсных средах, воде и способные создавать с пленкообразующим покрытием защитное покрытие. Многие пигменты обладают высокими противокоррозионными свойствами. Они предназначены для получения окрашенных покрытий и обеспечивают твердость, снижают набухание пленки в воде.

*Наполнители* – это дисперсные неорганические природные или синтетические вещества, не растворимые в растворителях, воде и дисперсионных средах. Они предназначены для повышения адгезии, модуля упругости, твердости, прочности, тепло-, огне-, кислото-, щелоче- и атмосферостойкости покрытий, снижения стоимости покрытия, придания композиции требуемой теплопроводности, снижения температурного коэффициента расширения покрытий до значений, характерных для металлов. Их добавляют до 25% от количества вводимых пигментов.

*Пластификаторы* – это низколетучие растворители, изменяющие вязкость системы и повышающие эластичность, предназначены для облегчения условий пленкообразования, повышения стойкости к растрескиванию при цикле нагрев – охлаждение, регулирования таких физико-механических свойств, как хрупкость, повышение удлинения, сопротивление удару, эластичность.

*Растворители (разбавители)* – это органические жидкости, однокомпонентные растворители или их смеси. Они предназначены для разведения лакокрасочных материалов до рабочей вязкости и улучшения их технологических свойств.

Растворители должны иметь хорошую растворяющую способность, оптимальную температуру кипения и минимальную токсичность.

*Отвердители* – это химические соединения, добавляемые в состав только определенных лакокрасочных материалов (эпоксидных, уретановых и др.) для их отверждения.

*Износостойкие покрытия.* Одним из необходимых условий при выборе материалов для покрытий является высокая износостойкость защитных покрытий.

Полимерные покрытия являются эффективным средством для повышения износостойкости. Долговечность покрытий зависит от плотности материалов, из которых они изготовлены, их адгезионной способности к подложке, трибометрических свойств, равномерности распределения в них модификаторов и наполнителей.

Большинство полимерных материалов характеризуется высокой износостойкостью. Использование тонких полимерных слоев в сочетании с теплоустойкостью металлического основания позволяет создавать надежно работающие износостойкие покрытия.

С повышением молекулярной массы и регулярности макромолекул в ряду одного типа полимера износостойкость покрытий увеличивается. Свойства износостойких покрытий во многом определяются составом композиции, изменяя который, можно регулировать износостойкие характеристики в широких пределах и получать покрытия различного назначения как с низким, так и с высоким коэффициентом трения.

Чаще других полимеров для износостойких покрытий используются полиуретаны, пентапласт, политетрафторэтилены, полиамиды, эпоксидные композиции.

Хорошо противостоят абразивному износу, например, трубы, покрытые изнутри полиуретаном.

Покрытия на основе ненаполненных полиуретановых эластомеров по стойкости к абразивной эрозии превосходят ряд марок нержавеющих сталей.

Одним из перспективных износостойких материалов является поливинилденфторид (ПВДФ). Он применяется как в качестве покрытий и футеровок элементов насосных агрегатов, так и для изготовления насосов для перекачивания агрессивных сред.

Одним из рациональных способов повышения износостойкости покрытий является модифицирование полимерных композиций неорганическими и минеральными наполнителями, например, дисульфидом молибдена, тальком, аморфным бором, корундом, оксидом цинка, карбидом кремния и др.

Сжижению износа покрытий способствует наполнение полимерных композиций стекловолокном, графитом, цементом, асбестом, маршаллитом, повышающими прочность, теплоустойкость и другие характеристики полимеров.

### 4.3. Лабораторные работы

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование лабораторной работы</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)</i>
1	1.	Дисперсно-упрочненные материалы	10	-
2	2.	Анодно-механическая резка металлов и сплавов	10	-
3	2.	Комбинированное электроалмазное шлифование сталей и сплавов	10	-
4	2.	Инструментальные стали с многослойным покрытием	4	-
<b>ИТОГО</b>			<b>34</b>	-

### 4.4. Семинары / практические занятия

Учебным планом не предусмотрено.

### 4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат

Учебным планом не предусмотрено.

**5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

<i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Компетенции</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Компетенции</i>	$\Sigma$ <i>комп.</i>	<i>t<sub>ср</sub>, час</i>	<i>Вид учебных за- нятий</i>	<i>Оценка результатов</i>
			<i>ПК</i>				
			<i>19</i>				
<b>1.</b> Новые материалы		46	+	1	46	Лк, ЛР, СР	Зачет
<b>2.</b> Новые технологии		62	+	1	62	Лк, ЛР, СР	Зачет
	<b><i>всего часов</i></b>	<b>108</b>	<b>108</b>	<b>1</b>	<b>108</b>		

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Железнов Г. С. Процессы механической и физико-химической обработки материалов: учебник / Г.С. Железнов, А.Г. Схиртладзе. - Старый Оскол: ТНТ, 2011. - 456 с.

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Наименование издания	Вид занятия	Кол-во экз. в библ., шт.	Обеспеченность, (экз./ чел.)
<b>Основная литература</b>				
1.	Иванов Н. Б. Основы технологии новых материалов: учебное пособие. - Издательство КНИТУ, 2014. – 155 с. <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&amp;book_id=428026">http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&amp;book_id=428026</a>	Лк, СР	ЭР	1,0
2.	Куликов И. С. Электролитно-плазменная обработка материалов / И. С. Куликов, С. В. Ващенко, А. Я. Каменев. – Минск: Белорусская наука, 2010. – 232 с. <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&amp;book_id=142286">http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&amp;book_id=142286</a>	ЛР, СР	ЭР	1,0
<b>Дополнительная литература</b>				
3.	Железнов Г. С. Процессы механической и физико-химической обработки материалов: учебник / Г.С. Железнов, А.Г. Схиртладзе. - Старый Оскол: ТНТ, 2011. - 456 с.	ЛР, СР	10	0,5

## 8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ  
[http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r\\_15/cgiirbis\\_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=](http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=).
2. Электронная библиотека БрГУ <http://ecat.brstu.ru/catalog> .
3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»  
<http://biblioclub.ru> .
4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань» <http://e.lanbook.com> .
5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"  
<http://window.edu.ru> .
6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru> .
7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ)  
<https://uisrussia.msu.ru/> .
8. Национальная электронная библиотека НЭБ <http://xn--90ax2c.xn--p1ai/how-to-search/> .

## 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

№ п/п	Номер раздела Основные положения раздела, рекомендуемые для СР	Рекомендуемая литература	Форма отчета	Всего часов
1.	<b>1. Новые материалы</b> Металлические сплавы с особыми свойствами Керамические и композиционные материалы Наноструктурные материалы Полимерные материалы Функциональные порошковые материалы	[1] [1] [1], [2], [3] [1] [1]	Зачет, ЛР №1	26
2.	<b>2. Новые технологии</b> Синтетические сверхтвердые покрытия Многофункциональные покрытия	[1], [2], [3] [1], [2], [3]	Зачет, ЛР 2...4	31
<b>ИТОГО</b>				<b>57</b>

## 9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ

### Лабораторная работа № 1 Дисперсно-упрочненные материалы

#### *Цель работы:*

Освоить технологию изготовления и методику исследования свойств дисперсно-упрочненных материалов.

#### *Порядок выполнения работы:*

1. Определить основные геометрические характеристики наполнителей;
2. Изучить гранулометрический состав дисперсных наполнителей;
3. Определить содержание влаги в волокнистых наполнителях;
4. Определить таблетуемость дисперсных наполнителей;
5. Получить образец дисперсно-упрочненного материала.

#### *Оборудование и инструмент:*

микроскоп, штангенциркуль, микрометр, набор сит, весы, наполнители различного состава и типа, весы аналитические

#### *Структура и содержание отчета:*

1. Название лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Порядок выполнения работы.
4. Оборудование и инструмент.
5. Таблица с результатами расчета.
6. Выводы по работе.

#### *Задания для самостоятельной работы:*

1. Проработать рекомендуемые источники, основную и дополнительную литературу по изучаемому вопросу с целью углубления, систематизации и расширения полученных знаний;
2. Ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

#### *Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе:*

проработка лекционного материала, основной и дополнительной литературы. Конспектирование прочитанных литературных источников.

#### *Основная литература*

1. Куликов И. С. Электролитно-плазменная обработка материалов / И. С. Куликов, С. В. Ващенко, А. Я. Каменев. – Минск: Белорусская наука, 2010. – 232 с. [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=142286](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=142286)

#### *Дополнительная литература*

1. Железнов Г. С. Процессы механической и физико-химической обработки материалов: учебник / Г.С. Железнов, А.Г. Схиртладзе. - Старый Оскол: ТНТ, 2011. - 456 с.

#### *Контрольные вопросы для самопроверки:*

1. Какова методика определения основных геометрических характеристик наполнителей?
2. Какова методика изучения гранулометрического состава дисперсных наполнителей?
3. Какова методика определения содержания влаги в волокнистых наполнителях?

### Лабораторная работа № 2 Анодно-механическая резка металлов и сплавов

#### *Цель работы:*

Освоить технологию анодно-механической резки металлов и сплавов.

#### *Порядок выполнения работы:*

1. Произвести установку дополнительного оборудования для анодной обработки;
2. Произвести наладку станка для анодно-механического резания;
3. Отрезать заготовку с механическим резанием и с анодно-механическим резанием. В процессе обработки фиксировать мощность резания;
4. Измерить шероховатость полученных поверхностей.

#### *Оборудование и инструмент:*

- универсально-заточной станок 3Д642Е;
- комплекс измерительный КИ-502;
- профилограф АБРИС ПМ-7;
- отрезной круг;
- источник постоянного тока.

#### *Структура и содержание отчета:*

1. Название лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Порядок выполнения работы.
4. Оборудование, инструмент и документация.
5. Таблица мощностей резания и результатов измерения параметров шероховатости.
6. Выводы по работе.

#### *Задания для самостоятельной работы:*

1. Проработать рекомендуемые источники, основную и дополнительную литературу по изучаемому вопросу с целью углубления, систематизации и расширения полученных знаний;
2. Ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

#### *Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе:*

проработка лекционного материала, основной и дополнительной литературы. Конспектирование прочитанных литературных источников.

#### *Основная литература*

1. Куликов И. С. Электролитно-плазменная обработка материалов / И. С. Куликов, С. В. Ващенко, А. Я. Каменев. – Минск: Белорусская наука, 2010. – 232 с. [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=142286](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=142286)

#### *Дополнительная литература*

1. Железнов Г. С. Процессы механической и физико-химической обработки материалов: учебник / Г.С. Железнов, А.Г. Схиртладзе. - Старый Оскол: ТНТ, 2011. - 456 с.

#### *Контрольные вопросы для самопроверки:*

1. В чем заключается технология анодно-механической обработки?
2. В чем преимущество АМО?

### Лабораторная работа № 3

#### Комбинированное электроалмазное шлифование сталей и сплавов

##### Цель работы:

Освоить технологию комбинированного электроалмазного шлифования сталей и сплавов.

##### Порядок выполнения работы:

1. Произвести установку дополнительного оборудования для комбинированной электроалмазной обработки;
2. Произвести наладку станка для комбинированного электроалмазного резания;
3. Произвести шлифование поверхностей заготовок двумя способами: традиционным и комбинированным электроалмазным. В процессе обработки фиксировать мощность резания;
4. Измерить шероховатость полученных поверхностей.

##### Оборудование, инструмент и документация:

- универсально-заточной станок 3Д642Е;
- комплекс измерительный КИ-502;
- профилограф АБРИС ПМ-7;
- шлифовальный алмазный круг;
- источник постоянного тока.

##### Структура и содержание отчета:

1. Название лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Порядок выполнения работы.
4. Оборудование, инструмент и документация.
5. Схема обработки.
6. Таблица режимов резания и результатов измерения параметров шероховатости.
7. Выводы по работе.

##### Задания для самостоятельной работы:

1. Проработать рекомендуемые источники, основную и дополнительную литературу по изучаемому вопросу с целью углубления, систематизации и расширения полученных знаний;
2. Ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

##### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе:

проработка лекционного материала, основной и дополнительной литературы. Конспектирование прочитанных литературных источников.

##### Основная литература

1. Куликов И. С. Электролитно-плазменная обработка материалов / И. С. Куликов, С. В. Ващенко, А. Я. Каменев. – Минск: Белорусская наука, 2010. – 232 с. [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=142286](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=142286)

##### Дополнительная литература

1. Железнов Г. С. Процессы механической и физико-химической обработки материалов: учебник / Г.С. Железнов, А.Г. Схиртладзе. - Старый Оскол: ТНТ, 2011. - 456 с.

##### Контрольные вопросы для самопроверки:

1. В чем заключается технология комбинированной электроалмазной обработки?

### Лабораторная работа № 4

#### Инструментальные стали с многослойным покрытием

##### Цель работы:

Освоить способы изготовления инструментальных сталей с многослойным покрытием.

##### Порядок выполнения работы:

1. Изучить методику нанесения покрытий на режущие элементы;
2. Произвести нанесение покрытия на режущую пластину из твердого сплава;
3. Изучить полученный образец на износостойкость при точении;
4. Измерить шероховатость поверхностей до и после нанесения покрытия.

##### Оборудование, инструмент и документация:

- токарный станок 1К62;
- профилограф АБРИС ПМ-7;
- шлифовальный алмазный круг;
- источник постоянного тока.

##### Структура и содержание отчета:

1. Название лабораторной работы.
2. Цель работы.
3. Порядок выполнения работы.
4. Оборудование, инструмент и документация.
5. Схема нанесения покрытия.
6. Таблица режимов резания и результатов измерения параметров шероховатости.
7. Выводы по работе.

##### Задания для самостоятельной работы:

1. Проработать рекомендуемые источники, основную и дополнительную литературу по изучаемому вопросу с целью углубления, систематизации и расширения полученных знаний;
2. Ответить на контрольные вопросы для самопроверки.

##### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе:

проработка лекционного материала, основной и дополнительной литературы. Конспектирование прочитанных литературных источников.

##### Основная литература

1. Куликов И. С. Электролитно-плазменная обработка материалов / И. С. Куликов, С. В. Ващенко, А. Я. Каменев. – Минск: Белорусская наука, 2010. – 232 с. [http://biblioclub.ru/index.php?page=book\\_view\\_red&book\\_id=142286](http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=142286)

##### Дополнительная литература

1. Железнов Г. С. Процессы механической и физико-химической обработки материалов: учебник / Г.С. Железнов, А.Г. Схиртладзе. - Старый Оскол: ТНТ, 2011. - 456 с.

##### Контрольные вопросы для самопроверки:

1. Какие покрытия выполняются для инструментальных сталей?
2. Каким образом производится нанесение покрытий?

## 9.2. Методические указания по выполнению курсового проекта (курсовой работы), контрольной работы, РГР, реферата

Учебным планом не предусмотрено.

## 10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Информационно-коммуникативные технологии (ИКТ) используются для:

- получения информации при подготовке к занятиям;
- создания презентационного сопровождения занятий;
- работы в электронной информационной среде.

Стандартное лицензионное программное обеспечение:

1. Microsoft Imagine Premium: Microsoft Windows Professional 7.
2. Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level.
3. Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security.
4. Adobe Reader.

## 11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

<i>Вид занятия</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ Лк, ЛР, ПЗ</i>
Лк	Лекционная / семинарская аудитория	Учебная мебель	-
ЛР	Лаборатория инструментального обеспечения машиностроительных производств	Учебная мебель; Заточной станок ЗД642Е.	ЛР №1...4
	Лаборатория Технологии машиностроения	Учебная мебель; Токарно-винторезный станок 1К62.	
	Лаборатория технических средств измерения	Учебная мебель; Профилограф-профилометр "Абрис-ПМ7"; Комплекс измерительный КИ-502.	
СР	Читальный зал №1	Учебная мебель; 10-ПК i5-2500/Н67/4Gb (мониторTFT19 Samsung); принтер HP LaserJet P2055D	-

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)**

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ПК-19	способность осваивать и применять современные методы организации и управления машиностроительными производствами, выполнять работы по доводке и освоению технологических процессов, средств и систем технологического оснащения, автоматизации, управления, контроля, диагностики в ходе подготовки производства новой продукции, оценке их инновационного потенциала, по определению соответствия выпускаемой продукции требованиям регламентирующей документации; по стандартизации, унификации технологических процессов, средств и систем технологического оснащения, диагностики, автоматизации и управления выпускаемой продукции	1. Новые материалы	1.1. Металлические сплавы с особыми свойствами	Вопрос к зачету № 1.1
			1.2. Керамические и композиционные материалы	Вопрос к зачету № 1.2
			1.3. Наноструктурные материалы	Вопрос к зачету № 1.3
			1.4. Полимерные материалы	Вопрос к зачету № 1.4
			1.5. Функциональные порошковые материалы	Вопрос к зачету № 1.5
		2. Новые технологии	2.1. Синтетические сверхтвердые покрытия	Вопрос к зачету № 2.1
			2.2. Многофункциональные покрытия.	Вопрос к зачету № 2.2

**2. Вопросы к зачету**

№ п/п	Компетенции		ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ	№ и наименование раздела
	Код	Определение		
1.	ПК-19	способность осваивать и применять современные методы организации и управления машиностроительными производствами, выполнять работы по доводке и освоению технологических процессов, средств и систем технологического оснащения, автоматизации, управления, контроля, диагностики в ходе подготовки производства новой продукции, оценке их инновационного потенциала, по определению соответствия выпускаемой продукции требованиям регламентирующей документации; по стандартизации, унификации технологических процессов, средств и систем технологического оснащения, диагностики, автоматизации и управления выпускаемой продукции	1.1. Металлические сплавы с особыми свойствами	1. Новые материалы
			1.2. Керамические и композиционные материалы	
			1.3. Наноструктурные материалы	
			1.4. Полимерные материалы	
			1.5. Функциональные порошковые материалы	
			2.1. Синтетические сверхтвердые покрытия	2. Новые технологии
			2.2. Многофункциональные покрытия.	



### 3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<b>знать:</b> <i>ПК-19</i> – новые материалы и технологии; <b>уметь:</b> <i>ПК-19</i> – выполнять работы по освоению новых технологических процессов; <b>владеть:</b> <i>ПК-19</i> – навыками реализации новых технологий.	<b>отлично</b>	«Отлично» заслуживает обучающийся, который освоил все разделы дисциплины «Новые материалы и технологии».
	<b>хорошо</b>	«Хорошо» заслуживает обучающийся, который освоил все разделы дисциплины «Новые материалы и технологии». Но обучающийся допустил не более двух-трех недочетов и может исправить их самостоятельно или с помощью преподавателя.
	<b>удовлетворительно</b>	«Удовлетворительно» ставится обучающемуся, у которого в ответе имеются отдельные пробелы в освоении вопросов курса «Новые материалы и технологии», не препятствующие усвоению программного материала.
	<b>не удовлетворительно</b>	«Неудовлетворительно» ставится обучающемуся, который не знает основные разделы дисциплины.

### 4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности

Дисциплина «Новые материалы и технологии» направлена на ознакомление с методами формообразования поверхностей деталей машин, анализа методов формообразования поверхностей и областей их применения, на получение теоретических знаний и практических навыков определения качественных и количественных характеристик поверхностей деталей.

Изучение дисциплины «Новые материалы и технологии» предусматривает:

- лекции;
- лабораторные работы;
- самостоятельную работу;
- зачет.

В ходе освоения раздела 1 Новые материалы обучающиеся должны уяснить металлические сплавы с особыми свойствами, керамические и композиционные материалы, наноструктурные материалы, полимерные материалы и функциональные порошковые материалы.

В ходе освоения раздела 2 Новые технологии обучающиеся должны уяснить синтетические сверхтвердые покрытия и многофункциональные покрытия.

В процессе проведения лабораторных работ происходит закрепление знаний, формирование умений и навыков определения качественных и количественных характеристик поверхностей деталей.

При подготовке к зачету рекомендуется особое внимание уделить вопросам применения программных средств для решения практических вопросов в проектировании новых материалов и технологий.

Удобнее готовиться к лабораторным работам и зачету в читальном зале библиотеки или в специализированном учебном кабинете.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературой. Дополнительные сведения по изучаемым темам можно найти в периодической печати и Интернете.

**АННОТАЦИЯ**  
**рабочей программы дисциплины**  
**Новые материалы и технологии**

**1. Цель и задачи дисциплины**

Целью изучения дисциплины является – формирование у обучающихся теоретических и прикладных знаний о современных информационных технологиях при проектировании машиностроительных изделий и производств, выборе материалов, оборудования и других средств технологического оснащения и автоматизации для реализации производственных и технологических процессов.

Задачами изучения дисциплины является:

- изучение новых и прогрессивных материалов и технологий, применяемых на современных машиностроительных производствах.

**2. Структура дисциплины**

2.1 Распределение трудоемкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: лекции – 17 часов, лабораторные работы – 34 часа, самостоятельная работа – 57 часов.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 108 часов, 3 зачетные единицы.

2.2. Основные разделы дисциплины:

1. Новые материалы.
2. Новые технологии.

**3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-19 – способность осваивать и применять современные методы организации и управления машиностроительными производствами, выполнять работы по доводке и освоению технологических процессов, средств и систем технологического оснащения, автоматизации, управления, контроля, диагностики в ходе подготовки производства новой продукции, оценке их инновационного потенциала, по определению соответствия выпускаемой продукции требованиям регламентирующей документации; по стандартизации, унификации технологических процессов, средств и систем технологического оснащения, диагностики, автоматизации и управления выпускаемой продукции.

**4. Вид промежуточной аттестации:** Зачет.

*Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе  
на 20\_\_-20\_\_ учебный год*

1. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие дополнения:

---

---

2. В рабочую программу по дисциплине вносятся следующие изменения:

---

---

---

Протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.,  
(разработчик)

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО  
КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)**

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ПК-19	способность осваивать и применять современные методы организации и управления машиностроительными производствами, выполнять работы по доводке и освоению технологических процессов, средств и систем технологического оснащения, автоматизации, управления, контроля, диагностики в ходе подготовки производства новой продукции, оценке их инновационного потенциала, по определению соответствия выпускаемой продукции требованиям регламентирующей документации; по стандартизации, унификации технологических процессов, средств и систем технологического оснащения, диагностики, автоматизации и управления выпускаемой продукции	1. Новые материалы	1.1. Металлические сплавы с особыми свойствами	Конспект лекций
			1.2. Керамические и композиционные материалы	Конспект лекций
			1.3. Наноструктурные материалы	Конспект лекций; Отчет по ЛР №1
			1.4. Полимерные материалы	Конспект лекций
			1.5. Функциональные порошковые материалы	Конспект лекций
		2. Новые технологии	2.1. Синтетические сверхтвердые покрытия	Конспект лекций; Отчет по ЛР №2...3
			2.2. Многофункциональные покрытия.	Конспект лекций; Отчет по ЛР №4

**2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций**

Показатели	Оценка	Критерии
<b>знать:</b> ПК-19 – новые материалы и технологии; <b>уметь:</b> ПК-19 – выполнять работы по освоению новых технологических процессов; <b>владеть:</b> ПК-19 – навыками реализации новых технологий.	<b>зачтено</b>	- даны исчерпывающие и обоснованные ответы на все поставленные вопросы; - ответы изложены грамотно, уверенно, логично, последовательно; - опираясь на усвоенные знания, четко увязывает научные положения с практической деятельностью; - свободно владеет основными понятиями дисциплины.
	<b>не зачтено</b>	- допускает существенные ошибки и неточности при ответе на поставленные вопросы; - испытывает трудности в практическом применении полученных знаний; - не может аргументировать научные положения; - не владеет системой основных понятий дисциплины.