

Министерство образования и науки Республики Казахстан
Костанайский государственный университет имени А. Байтурсынова
Кафедра машиностроения

Т.И. Исинтаев, Н.А.Камышева

**СОВРЕМЕННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО
ПРОИЗВОДСТВА**

Учебное пособие

Костанай, 2018

УДК 621 (075)

ББК 34.4 я 73

И 85

Автор:

Исинтаев Такабай Исинтаевич, ктн, доцент кафедры машиностроения,
Камышева Наталья Алексеевна, ст. преподаватель кафедры машиностроения

Рецензенты:

Баймухамедов Малик Файзулович – доктор технических наук,
проректор проректор по науке и международным связям Костанайского
социально-экономического университета им. З.Алдамжара

Кушнир Валентина Геннадьевна – доктор технических наук, профессор
кафедры машин, тракторов и автомобилей КГУ имени А. Байтурсынова

Нурушев Серик Закирович – кандидат технических наук, доцент кафедры
машиностроения КГУ имени А. Байтурсынова

Исинтаев Т.И., Камышева Н.А

И 85 Современные материалы для машиностроительного производства:
Учебное пособие.– Костанай: КГУ имени А. Байтурсынова, 2018. – 92 с.

ISBN 978-601-7955-70-0

В учебном пособии представлены современные конструкционные материалы которые будут использоваться в машиностроении в ближайшие десятилетия. Предназначено для магистрантов, обучающимся по направлению ГПИИР-2 «Машиностроение», образовательная программа «Инновационное производство и автоматизация индустриальной техники», траектория обучения «Автомобильная инженерия», специальности 6М072400 -Технологические машины и оборудования.

Данная работа позволит будущим магистрам ориентироваться в широкой номенклатуре материалов, осуществлять подбор по физико-механическим характеристикам с целью обеспечения наивысшего качества и точности изготавливаемых конструкций.

Также для контроля знаний включены контрольные вопросы по каждой теме дисциплины и рекомендуемые темы докладов.

УДК 621 (075)

ББК 34.1

Утверждено и рекомендовано к изданию Учебно-методическим советом Костанайского государственного университета имени А. Байтурсынова,

ISBN 978-601-7955-70-0

Содержание

	стр
Введение.....	5
Тема 1 Металлические сплавы.....	6
1.1 Краткая классификация конструкционных материалов.....	6
1.2 Традиционные металлические сплавы.....	7
1.3 Металлы и сплавы с особыми свойствами.....	22
1.4 Сплавы с постоянным модулем упругости.....	23
1.5 Жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы.....	24
1.6 Металлы с памятью формы.....	26
Тема 2 Неметаллические материалы	31
2.1 Классификация неметаллических материалов.....	31
2.2 Материалы на основе древесины.....	31
2.3 Резина и резиновые изделия.....	33
2.4 Пластмассы.....	34
Тема 3 Антифрикционные и фрикционные материалы.....	43
3.1 Область применения антифрикционных материалов.....	43
3.2 Металлические антифрикционные материалы	44
3.3 Свинцовые антифрикционные сплавы	46
3.4 Бронзовые антифрикционные сплавы.....	46
3.5 Антифрикционные полимерные материалы	47
3.6 Порошковые фрикционные материалы.....	49
Тема 4 Адгезивные материалы.....	50
4.1 Классификация адгезивных материалов.....	50
4.2 Клеящие материалы.....	52
4.3 Герметики.....	56
Тема 5 Композиционные материалы.....	58
5.1 Классификация композиционных материалов.....	58
5.2 Нанокompозиты.....	61
5.3 Углепластики.....	62
5.4 Методы модификации композиционных материалов.....	63
Тема 6 Керамические материалы.....	68
6.1 Классификация керамических материалов.....	68
6.2 Свойства и применение керамических материалов.....	69
6.3 Техническая керамика.....	71
6.3.1 Керамика на основе силикатов и алюмосиликатов.....	72
6.3.2 Оксидная техническая керамика.....	73
6.4 Керамические двигатели.....	74
Тема 7 Наноматериалы.....	75
7.1 Классификация наноматериалов.....	75
7.2 Наноматериалы конструкционного и функционального класса...	76
7.3 Фуллерены.....	77
7.4 Углеродные нанотрубки.....	78

Тема 8 Многофункциональные покрытия.....	80
8.1 Классификация многофункциональных покрытий.....	80
8.2 Наноструктурные покрытия.....	84
8.3 Дуговая металлизация	85
8.4 Износостойкие покрытия	86
8.5 Плакирование.....	87
Рекомендуемые темы докладов.....	90
Список использованной литературы.....	91

Введение

Значение отрасли машиностроения в экономике любого государства трудно переоценить. Для Республики Казахстан особенно актуально развитие машиностроения, учитывая расширение транспортной инфраструктуры, наличие богатых природных ресурсов и огромный потенциал производства продуктов питания.

Для развития машиностроительного производства огромную роль играет применение новых современных материалов.

В жёстких условиях конкурентной борьбы машиностроительные предприятия ищут замену для дорогостоящих материалов. В соответствии с требованиями рынка металлургам приходится либо искать пути снижения издержек при производстве сплавов с повышенной износостойкостью, либо предлагать на замену традиционным материалам новые более дешёвые в изготовлении сплавы, но с таким же уровнем потребительских свойств.

Особенности технологических методов и процессов обработки влияют на конструкцию, кинематические и прочностные данные отдельных механизмов и поэтому вариантность технологического процесса определяется многими факторами (назначением детали, размерами, массой, количеством деталей, материалом и их строением.)

Дисциплина «Современные материалы для машиностроительного производства» относится к числу дисциплин компонента по выбору. Данная дисциплина дает магистрантам необходимую общинженерную, технологическую подготовку, закладывают основы знаний, необходимых как при работе на производстве, так и в научно-исследовательских и проектных учреждениях. Имеет своей целью научить выбирать и правильно применять современную технику испытания материалов с целью выявления специальных и стандартных физико-химических и механических свойств разнообразных сталей и сплавов современного машиностроения.

При этом важным можно считать дальнейшее развитие навыков самостоятельного пользования современной технической и справочной литературой для подбора наиболее перспективного и экономически целесообразного материала применительно к конкретным условиям эксплуатации.

Тема 1 Металлические сплавы

1.1. Краткая классификация конструкционных материалов

Детали машины чрезвычайно разнообразны. Для их изготовления необходимы материалы с различными свойствами. В последние годы значительно расширилась номенклатура материалов, применяемых в машиностроении. Для современного автомобиля детали изготавливают примерно из 70 различных материалов.

Для изготовления деталей машин применяются различные материалы, называемые конструкционными. От правильного выбора конструкционного материала зависят качество, надежность, экономичность и долговечность деталей и машины в целом. Все конструкционные материалы можно условно разделить на однородные и композиционные, металлические и неметаллические (рисунок 1).



Рисунок 1 – Укрупненная схема типов конструкционных материалов

Металлы – химические элементы, образующие в свободном состоянии простые вещества с металлической связью между атомами.

Сплавы – твердые вещества, образованные сплавлением двух или более компонентов.

Неметаллические материалы – неорганические и органические материалы, композиционные материалы на неметаллической основе, клеи, герметики, лакокрасочные покрытия, графит, стекло, керамика и т.д.

Полимеры – вещества, макромолекулы которых состоят из многочисленных элементарных звеньев (мономеров) одинаковой структуры.

Композиционные материалы – гетерофазные (состоящие из различных по физическим и химическим свойствам фаз) системы, полученные из двух и более компонентов с сохранением индивидуальности каждого отдельного компонента.

1.2 Традиционные металлические сплавы

Чугуны — это железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода в пределах 4,3...2,11 %

Белый чугун в основном перерабатывают на сталь, поскольку он обладает высокими твердостью и хрупкостью и плохо поддается механической обработке. В таких чугунах углерод находится в связанном состоянии в виде цементита Fe_3C . Помимо углерода в состав чугуна входят марганец (0,5... 1,75 %), кремний (0,2... 1,75 %), фосфор (0,15... 2,0 %), сера (до 0,08%) и другие химические элементы.

Белый чугун используют также в качестве износостойкого конструкционного материала. При введении в небольших количествах марганца, бора, ванадия, молибдена, титана, хрома образуются сложные и твердые карбиды, например $(Cr, Fe)_{23}C_6$.

Ковкие чугуны маркируют буквами КЧ с указанием предела прочности при растяжении ав (кгс/мм²) и относительного удлинения δ (%). В соответствии с ГОСТ 1215—79 существуют марки ковких чугунов КЧ 30-6 — КЧ 80-15. По своим механическим и литейным свойствам ковкие чугуны занимают промежуточное положение между чугунами и литыми сталями. Ковкие чугуны нашли широкое применение при изготовлении деталей автомобилей, тракторов, текстильных и сельскохозяйственных машин, металлорежущих станков (шестерни, ступицы, тормозные колодки, картеры дифференциалов, рычаги, звездочки, катки, втулки, детали рулевого управления и др.), а также в вагоно- и судостроении.

Серые чугуны маркируют буквами СЧ с указанием предела прочности при растяжении ов (кгс/мм²). Например, чугун марки СЧ15 имеет ав = 15 кгс/мм². По ГОСТ 1412—85 предусмотрены марки серых чугунов СЧ10 — СЧ45: СЧ10, СЧ15 (твердость по Бринеллю до 229 НВ) — чугуны малой прочности; СЧ20—СЧ45 (твердость до 241 НВ) — чугуны повышенной прочности. В чугунах повышенной прочности большая часть углерода находится в виде пластинчатого графита. Благодаря хорошим литейным и демпфирующим свойствам серые чугуны нашли широкое применение в станкостроении (станины, стойки, траверсы, корпуса коробок скоростей и подач, суппорты металлорежущих станков), в авто- и тракторостроении (картеры коробок передач, блоки цилиндров, поршневые кольца, диски сцепления, тормозные барабаны), в химическом и электромашиностроении, при производстве деталей насосов, компрессоров и других изделий.

Высокопрочные чугуны (ГОСТ 7993—85) имеют следующие марки: ВЧ 35, ВЧ 40, ВЧ 45, ВЧ 50, ВЧ 60, ВЧ 70, ВЧ 80 и ВЧ 100. Цифры обозначают предел прочности при растяжении в кгс/мм². В высокопрочных чугунах свободный графит находится в виде шаровидных включений. Высокопрочные чугуны используют в тяжелом машиностроении (детали турбин, валки прокатных станов, шаботы молотов), в автомобильной

промышленности (блоки цилиндров, шестерни главных передач, коленчатые и распределительные валы, ступицы, поршневые кольца), в сельскохозяйственном и транспортном машиностроении (сцепки вагонов, ступицы колес, диски муфт, опорные катки, корпуса плугов, зубья борон), а также при изготовлении других ответственных деталей.

При маркировке легированных чугунов используют следующие обозначения: А — азот, Б — ниобий, В — вольфрам, Г — марганец, Д — медь, Е — селен, К — кобальт, М — молибден, Н — никель, П — фосфор, Р — бор, С — кремний, Т — титан, Ф — ванадий, Х — хром, Ц — цирконий. Маркировка состоит из сочетания букв и цифр, указывающих содержание легирующего элемента в процентах. Если цифры отсутствуют, то содержание легирующего элемента составляет 1,0... 1,5 %.

Легированные чугуны подразделяют на износостойкие, коррозионно-стойкие, жаростойкие, жаропрочные и антифрикционные.

Износостойкие чугуны, например ИЧХ4Г7Д, ИЧХ28Н2, ИЧХ28Н2М2, ИЧХ3ТД, ИЧХ15М3, используют для изготовления рабочих элементов дробеметных и пескоструйных машин, броневых плит мельниц, лопастей шнеков, абразивных насосов и др.

Коррозионно-стойкие чугуны легируют медью, молибденом, хромом, никелем и кремнием, что позволяет им работать в химически агрессивных средах. Чугуны ЧНХТ, ЧН1МШ, ЧН1ХМД широко используют в двигателестроении для изготовления выпускных патрубков, поршней и гильз паровых машин, газовых компрессоров, судовых дизелей и других изделий.

Жаростойкие чугуны (ГОСТ 7769—82) обладают стойкостью к образованию окалины. Их выпускают с добавками алюминия, хрома и кремния. Алюминиевые чугуны обладают большой стойкостью к окислению в среде печных газов при температуре 1 100... 1 150 °С, паров серы при температуре 1 000 °С. Их используют при изготовлении тиглей, футеровки печных камер, в доменных печах. Хромистые чугуны ЖЧХ-0,8, ЖЧХ-1,5, ЖЧХ-2,5 используют при строительстве мартеновских, доменных и термических печей. Они выдерживают температуру до 650 °С. Высокохромистые чугуны (ЖЧХ-30) применяют при изготовлении колосниковых решеток, горелок, коробок для отжига, работающих при температуре до 900 °С. Кремнистые чугуны работают при температуре до 900 °С; из них изготавливают детали газовых турбин, котлов, мартеновских печей и др.

Жаропрочные чугуны легируют никелем и хромом. Чугуны ЧН11Г7Х2Ш, ЧН19Х3Ш используют при изготовлении деталей печной арматуры, роликов листопркатных станков, выпускных патрубков дизелей, а также в нефтяной и химической промышленности.

Антифрикционные чугуны (ГОСТ 1585—85), например АСЧ-4, АКЧ-1, АВЧ-2 (обозначение: А — антифрикционный, Ч — чугун, С — серый, В — высокопрочный, К — ковкий), применяют в узлах трения в паре с другими материалами для изготовления подшипников скольжения.

Сталь - это железоуглеродистый сплав, в котором содержание углерода не должно превышать 2 процентов, при этом в данный сплав помимо углеродов добавляют и другие химические элементы, в случае если эти элементы нежелательны, их называют примесями, это марганец и кремний, а химические элементы, служащие для улучшения химических и физических свойств стали, называют легирующими элементами, это марганец, хром, кремний, никель, молибден, кобальт, вольфрам, ванадий, титан. сталь, благодаря своему разнообразию широко используется в различных отраслях, таких как машиностроение, станкостроение, для изготовления конструкционных материалов

Конструкционные стали применяют для изготовления различных по назначению деталей машин. Низкоуглеродистые стали обычно подвергают цементации, среднеуглеродистые — улучшению.

Конструкционные стали обыкновенного качества имеют три группы: группа А поставляется по механическим свойствам (применяется для малоответственных деталей, армирования железобетонных конструкций); группа Б — по химическому составу (применяется для изготовления горячекатаной проволоки, листа, холоднокатаной ленты); группа В — по химическому составу и механическим свойствам (для изготовления судового листа, гнутого профиля при строительстве вагонов и др.).

Конструкционные качественные стали маркируют по среднему содержанию углерода в сотых долях процента: 05; 08; 10; 20 — 45; 50. Их используют для изготовления средненагруженных деталей машин различного назначения.

Среднелегированные конструкционные стали в качестве легирующих элементов содержат хром, марганец, никель, молибден. Предел прочности при растяжении этих сталей $\sigma_{\text{р}} = 1400 \dots 2000$ МПа. Наиболее широко применяют стали марок 30ХГСН2А, 30ХГСН2МА, 25Х2ГНТРА, 30Х2ГСН2ВМ и 40ХН2СМА.

Высокопрочные стали имеют повышенную чувствительность к концентраторам напряжений, водородной хрупкости, коррозии под напряжением, действию поверхностно-активных веществ и к ряду других факторов.

Разработаны и применяются новые конструкционные стали повышенной надежности и прочности (например, ВКС-8 и ВКС-9), обладающие высокими физико-механическими характеристиками.

Эти стали обладают высокими значениями вязкости разрушения, сопротивления малоциклового усталости и коррозии, что позволяет использовать их для изготовления высоконагруженных сварных деталей с высокой гарантией эксплуатационной надежности и длительного ресурса.

Стали с особыми эксплуатационными свойствами подразделяют на следующие группы. *Подшипниковые стали* применяют при производстве деталей подшипников качения (кольца, ролики, шарики, иголки). Для обычных подшипников используют стали марок ШХ6, ШХ9, ШХ10, ШХ15, ШХ15СГ, для прецизионных - 20Х2Н4А-Ш, ШХ15-ШД, получаемые вакуумно-дуговым переплавом.

Стали для холодной листовой штамповки и высадки подразделяют на следующие группы: для нормальной, глубокой, весьма глубокой, сложной и особо сложной вытяжки.

При холодной штамповке используют листовую сталь марок 10кп, 20кп, Юпс, 20пс, легированную — 10Г2, 12Х2НМФА, 23Х2НВФА, 25ХГСА, 25ХГФ, 30ХГС и др. Для высадки используют стали, обладающие в холодном состоянии хорошей пластичностью: 08кп, 20кп, 15Х, 30Х, 12ХН, 18Х2Н4МА, 19ХГН, 20ХГСА, 30Х, 30ХНМА.

Автоматные стали хорошо обрабатываются резанием, их делят на следующие группы:

- углеродистые сернистые — А11, А20, А30, А35, А40Г;
- углеродистые свинецсодержащие — АС 14, АС35Г2, АС45Г2, АС40;
- сернисто-селенистые и хромистые сернисто-селенистые — А35Е, А45Е, А40ХЕ;
- сернисто-марганцовистые свинецсодержащие и легированные свинецсодержащие — АС12ХН, АС14ХГН, АС20ХГНМ и др.

Из этих сталей изготавливают втулки, болты, гайки, оси, тяги, валики и другие малонагруженные детали автомобильного, текстильного и сельскохозяйственного машиностроения.

Рессорно-пружинные стали обладают высокими пределом упругости, выносливостью, пластичностью и вязкостью. Для изготовления пружин, рессор, пружинных шайб, работающих в обычных условиях, используют стали 65, 70, 75, 85, 60Г, 70Г, У7—У13, У7А—У13А. Для изготовления тяжело нагруженных пружин и рессор автомобилей и железнодорожных вагонов используют стали 55С2, 55С2А, 60С2, 60С2А, 70С3А. Стали 50ХГ, 50ХГА, 55ХГР, 50ХФА, 50ХГФА используют для изготовления пружин, имеющих длительный цикл работы при высоких температурах. Стали 10Х11Н23Т3МР, 12Х18Н9Т, 30Х13, 36НХТЮ5М, 40Х13, 40КХНМ, 40КНХМВТЮ, 42НХТЮА, 68НХВКТЮ используют для изготовления пружинных деталей, которые работают в агрессивных средах при высоких температурах.

Для изготовления деталей, предназначенных для работы в условиях тяжелого нагружения, — зубчатых колес, валов, крестовин, карданных валов, штоков и других используют стали 18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГТ, 25ХГМ, 25Х2ГНТА, 15ХГН2ТА, 20ХГНТР, 15Х2ГН2ТРА. При работе с ударными нагрузками применяются стали марок 20ХГР, 20ХНР, 20ХГНР, 27ХГР, 40ХН, 45ХН, 50ХН, 30ХН3А, 30ХГСН2А, 38ХГН.

Высоколегированные стали и сплавы являются труднообрабатываемыми и по назначению подразделяются на следующие группы:

хладостойкие стали, предназначенные для работы при температуре 40...-80 °С, - 12ХН3А, 15ХМ, 18Х2Н4ВА, 20ХГНР, 30ХГСА, 30ХГСН2А, 38Х2МЮА, 40ХН2МА и др.;

- теплоустойчивые стали, предназначенные для работы в течение длительного времени при температуре до 600 °С. Стали 12МХ, 12Х1МФ, 20Х1М1Ф1ТР, 20Х1М1Ф1БР, 25Х1МФ, 25Х2М1Ф используют при изготовлении паровых котлов, деталей трубопроводов, труб паронагревателей, деталей газовых турбин; стали 12Х8ВФ, 15Х5, 15Х5М, 15Х5ВФ используют для изготовления печей, труб, насосов, задвижек и других подобных деталей;

- жаропрочные стали, способные работать при температуре 400...850°С. Стали 9Х16Н15МЗБ, 12Х8ВФ, 13Х14Н3В2ФР, 14Х17Н2, 15Х11МФ применяют для изготовления лопаток паровых турбин, трубопроводов высокого давления, труб, печей, работающих при температуре до 580 °С; стали 08Х16Н13М2Б, 11Х11Н2В2МФ, 12Х18Н12Т, 15Х5М, 16Х11Н2В2МФ, 18Х12ВМБФ — для изготовления литейных форм, лопаток турбин, деталей насосов, задвижек, работающих при температуре до 600°С; стали 09Х16Н4Б, 37Х12Н8Г8МБФ, 40Х9С2, 40Х10С2М, 45Х14Н14В2М — для изготовления труб парогенераторов, клапанов двигателей, трубопроводов, работающих при температуре до 850 °С;

- жаростойкие стали, способные работать без окисления и образования окалины при температуре до 1 250 °С. Стали 12Х13, 12Х18Н9Т, 09Х14Н16Б, 15Х5, 08Х18Н10, 40Х10С2М применяют для изготовления теплообменников, электродов зажигательных систем, муфелей, реторт, деталей котельных установок, работающих при температуре до 850 °С; стали 08Х18Т1, 08Х20Н14С2, 12Х17, 10Х13СЮ, 20Х20Н14С2, 30Х13Н7С2, 45Х22Н4МЗ, 55Х20Г9АН4 — для изготовления печных рольгангов, теплообменников, деталей термических печей, труб, работающих при температуре до 1 000°С; стали 10Х23Н18, 15Х18СЮ, 15Х25Т, 15Х28, 12Х25Н16Г7АР, 20Х23Н18, 20Х25Н20С2, 36Х18Н25С2 — для изготовления труб пиролизных установок, деталей газовых турбин, подвесок и опор в котлах, работающих в агрессивных средах при температуре до 1 150°С;

- коррозионно-стойкие стали используемые для изготовления деталей, работающих в агрессивных средах. Для слабоагрессивных сред (открытый воздух, пресная вода, пар) используют стали 08Х13, 12Х13, 20Х13, 25Х13Н2; для изготовления медицинских инструментов — стали 30Х13 и 40Х13; для изготовления лопаток турбин, авиационных двигателей — стали 14Х17Н2, 20Х17Н2; для изготовления деталей дизелей, элементов судов, работающих в морской воде, — стали 07Х16Н6, 08Х17Н5МЗ, 09Х15Н8Ю, 09Х16Н4Б; для работы в средах с повышенной агрессивностью - стали ХН65МФ, Н70МФ, 03Х18Н12, 04Х18Н10, 08Х18Н10Т, 08Х18Н12Т.

Коррозионно-стойкие стали переходного класса обладают высокой надежностью, сопротивлением коррозии под напряжением, хорошей

свариваемостью всеми видами сварки (причем сварные соединения не требуют термической обработки).

Сталь 07X16H6 — одна из наиболее распространенных, выпускается в виде листов, лент, прутков, поковок, сварочной проволоки. После закалки, обработки холодом и отпуска в интервале температур 250...400 °С сталь при параметре прочности $\sigma_{0.2} = 1100 \dots 1300$ МПа имеет высокие значения вязкости разрушения и пластичности; ее применяют для изготовления силовых деталей и сварных узлов, работающих при низких температурах (до -253 °С), в том числе деталей, подвергаемых действию большой концентрации напряжений, а также сварных газовых емкостей, работающих под давлением.

Сталь 08X17H5M3 с параметром прочности $\sigma_{0.2} = 1200 \dots 1400$ МПа применяют в качестве листового материала. Ее упрочняют холодной деформацией и поставляют в виде листов и лент в мягком или полунатянутом состоянии. Наиболее целесообразно использование данной стали для изготовления тонкостенных объемных деталей методом глубокой штамповки с умеренными степенями деформации, с последующим упрочнением отпуском при температуре 450 °С. Сталь хорошо поддается пайке. Детали, изготовленные из этой стали, могут длительно эксплуатироваться при температуре 500 °С.

Сталь 13X15H4AM3 с параметром прочности $\sigma_{0.2} = 1400 \dots 1600$ МПа применяют для изготовления высоконагруженных деталей и сварных узлов. Высокие параметры прочности этой стали обеспечиваются повышенным содержанием углерода и азота, а пластичности и вязкости — наличием в структуре 15... 20 % равномерно распределенного остаточного аустенита. Данную сталь поставляют в виде поковок, штамповок, прутков и горячекатаных листов. Ее термическая обработка состоит из закалки при температуре 1070 °С, обработки холодом и отпуска при 200 или 350 °С. При параметре прочности $\sigma_{0.2} = 1600$ МПа после отпуска при температуре 200 °С сталь 13X15H4AM3 имеет высокие значения вязкости разрушения, пластичности, сопротивления к концентраторам напряжений, в том числе к трещинам при длительно действующих нагрузках в контакте с водой.

Сталь 13X15H4AM3 используют для изготовления накаткой высоконагруженных болтов, работающих как на срез, так и на растяжение.

Наиболее высокопрочной из сталей переходного класса является сталь 18X14H4AM3 с параметром прочности $\sigma_{0.2} = 1600 \dots 1800$ МПа. Такую прочность обеспечивают повышенное содержание углерода и изменение фазового состава в сторону большего количества мартенсита. При этом сталь 18X14H4AM3 имеет достаточно высокие значения вязкости разрушения и сопротивления коррозионному растрескиванию.

Сталь 18X14H4AM3 предназначена для изготовления силовых деталей и сварных узлов, работающих при температуре от -70 до +200 °С в любых климатических условиях.

Коррозионно-стойкие стали мартенситного класса применяют для изготовления силовых деталей, имеющих сварную конструкцию без

последующей термической обработки с обеспечением $\sigma^{\text{TM}} = 0,9$ ов. Эти стали имеют высокую коррозионную стойкость и малую чувствительность к концентраторам напряжений.

Широкое распространение получили стали марок 08X15H5Д2Т и 06X14H6Д2МБТ с параметром прочности $\sigma_{\text{в}} = 1\ 150.. 1\ 400$ МПа, обладающие высокой технологичностью. Закалку деталей из этих сталей можно совмещать с процессом формообразования, при сварке самых сложных конструкций не требуется подогрева или последующего отжига, внутренние напряжения минимальны. Сталь 06X14H6Д2МБТ в отличие от стали 08X15H5Д2Т обладает большей стойкостью сварных соединений к коррозионному растрескиванию под напряжением, а также более высоким пределом текучести при низких (до -70 °С) температурах. Сварное изделие по прочности практически не уступает прочности основного металла.

Для изготовления литых деталей из сталей мартенситного класса применяют коррозионно-стойкую сталь 08X14H5ДМ2, обладающую сочетанием высоких прочностных и пластических свойств.

Сталь 08X14H5ДМ2 обеспечивает высокую прочность изделий благодаря хорошему сопротивлению знакопеременным нагрузкам. Она хорошо сваривается любыми видами сварки, в том числе и в термоупрочненном состоянии.

Высокопрочные стали применяют в машиностроении для изготовления наиболее ответственных силовых элементов конструкций, которые работают в широком диапазоне температур. Изделия из высокопрочных сталей характеризуются высокой прочностью и надежностью, технологичны и имеют умеренную стоимость.

Алюминиевые сплавы подразделяют на сплавы, деформируемые обработкой (ГОСТ 4784—74) и прессованием (ГОСТ 21488—76), и литейные сплавы (ГОСТ 1583—89Е).

Деформируемые обработкой алюминиевые сплавы отличаются хорошей пластичностью (относительное удлинение 8 до 40 %), но невысокой прочностью. К ним относят сплавы алюминия с магнием и марганцем. Это сплавы АМц, содержащие 1,0... 1,6 % Мп, АМц2, АМц5, содержащие до 1,6% Мп и до 5,8% Mg. Данные сплавы используют для изготовления сварных или штампованных малонагруженных конструкций, они устойчивы к коррозии и могут быть упрочнены методами холодной деформации.

К **прессованным сплавам** относят сплавы системы А1—Си—Mg с добавками других компонентов (например, марганца) — *дур-алюмины*. Наибольшее применение имеют сплавы Д18 (2,2... 3,0 % Си; 0,2...0,5% Mg) и Д16 (3,8...4,6% Си; 1,2...1,8% Mg и 0,3...0,9% Мп).

Дуралюмины в любом состоянии хорошо деформируются, могут быть подвергнуты закалке в воде и старению. Сплавы типа В95 являются наиболее прочными и содержат в своем составе 6 % Zn, 2,3 % Mg, 1,7 % Си, 0,4 % Мп, 0,2 % Сг. Недостатки этих сплавов: возможность применения при температуре ниже 150°C и подверженность коррозии. Для работы при

повышенных температурах используются сплавы АК4, АК6, АК8, АК.4-1, хорошо поддающиеся ковке и штамповке.

Алюминиевые деформируемые сплавы обладают высокими физико-механическими характеристиками, технологичны при изготовлении, используются в судо- и авиастроении, в строительстве, сельском хозяйстве, производстве электро- и бытовой техники и электронном машиностроении. В авиастроении эти сплавы являются основным конструкционным материалом (составляют 80... 85 % массы планера современного самолета).

С целью повышения надежности самолетов разработаны новые высокопрочные алюминиевые деформируемые сплавы системы Al—Zn—Mg—Cu и среднепрочные сплавы системы Al—Cu—Mg. Эти сплавы имеют повышенные значения предела текучести и трещиностойкости, сопротивления усталости и коррозионной стойкости и обладают повышенными прочностными свойствами. Наиболее перспективными для авиации являются следующие марки: В95пчТ2, В95очТ2, 1973, 1933 системы Al-Zn-Mg-Cu и 1161, 1163 системы Al—Cu—Mg. Сплавы 1973, 1933 и 1161 содержат цирконий Zr.

Сплавы, легированные литием, характеризуются пониженной плотностью.

Сплав 1420 системы Al—Mg—Li—Zr отличается самой низкой плотностью ($\rho = 2\,470 \text{ кг/м}^3$) и обеспечивает высокую удельную прочность ($\sigma_B/(\rho g) = 17 \text{ км}$, где g — ускорение свободного падения), а также снижение массы конструкций на 20...25 %.

Предел прочности ов сварных соединений составляет примерно 0,8с, основного материала.

Для изготовления тонких листов на базе системы Al—Cu—Li—Zr разработаны сплавы 1450 и 1451, которые по основным техническим характеристикам не уступают сплаву В95, но позволяют на 10% снизить массу конструкции и на 10% повысить ее жесткость.

Сплавы 1430 и 1440, разработанные на базе системы Al—Mg—Li—Cu—Zr, имеют более низкую (на 7...8%) плотность и более высокий (на 10 %) модуль упругости и достаточно высокие значения сопротивления усталости и предела текучести по сравнению со сплавами системы Al—Cu—Mg типа Д16.

Алюминиево-литиевые сплавы по сравнению с традиционными алюминиевыми довольно дорогостоящи и поэтому их применяют только в тех конструкциях, где необходимо снижение массы.

Для изготовления корпусных деталей приборов используют сплавы типа 1420, обладающие эффектом сверхпластичности, что позволяет в 1,5 — 2 раза снизить трудоемкость без применения механической обработки.

В автомобиле- и тракторостроении для деталей двигателей и механизмов газораспределения, работающих при температуре до 500 °С, используют легированный алюминиевый жаропрочный сплав (до 3 % С), обладающий высокими параметрами прочности ($\sigma_{\text{тв}} = 470 \text{ МПа}$, $\sigma_{\text{в50}} = 190$

МПа, $\sigma_{0.2} = 1$ Ю МПа) и коррозионной стойкостью. Благодаря высоким антифрикционным свойствам его используют для изготовления деталей узлов трения, что позволяет при замене деталей из стали и титана обеспечить снижение массы на 30 %.

Алюминиевые литейные сплавы обозначают буквами АЛ1 и подразделяют на 5 групп.

Группа 1 — силумины — сплавы системы Al—Si (АЛ2, АЛ4, АЛ9). Эти сплавы устойчивы к коррозии, обладают хорошей текучестью и малой усадкой. При модификации в них вводят металлический натрий, в результате чего структура сплава становится мелкозернистой, а сплав приобретает пластичность.

Группа 2 — сплавы системы Al—Si—Сu (АЛ3, АЛ5, АЛ6, а также сплав АЛ32, содержащий дополнительно марганец и титан).

Группа 3 — сплавы системы Al—Сu (АЛ7 и АЛ119), имеющие повышенное содержание меди.

Группа 4 — сплавы системы Al—Mg (АЛ8, АЛ13, АЛ22), обладающие низкой плотностью, хорошей коррозионной стойкостью и высокими механическими характеристиками. Используют данные сплавы при изготовлении отливок в автомобильном производстве.

Группа 5 — сплавы на основе алюминия и других компонентов. Например, сплав АЛ124 содержит марганец, магний, цинк, титан и другие компоненты.

Среди последних разработок можно выделить сплавы ВАЛ 12, ВАЛ 14, ВАЛ 16.

Высокопрочный сплав ВАЛ 12 на основе системы Al—Zn—Mg—Сu предназначен для изготовления деталей, к которым предъявляются повышенные требования по прочности и усталости. Он может успешно конкурировать как с алюминиевыми деформируемыми сплавами, так и с малоуглеродистыми сталями, некоторыми латунями и бронзами. Детали из сплава ВАЛ 12 могут длительно работать при 200 °С и *кратковременно при 250 °С*.

Детали, получаемые литьем по методу жидкой штамповки, при которой кристаллизация происходит в металлической форме под давлением, обладают особо высокими механическими свойствами: $\sigma_{0.2} = 550\text{...}600$ МПа, $\sigma_{0.2} = 500\text{...}550$ МПа, $\delta = 3\text{...}6\%$, $\sigma_{0.2} = 140\text{...}160$ МПа.

Высокопрочный и жаропрочный сплав ВАЛ 14 на основе системы Al—Сu—Mg—Сd имеет высокие физико-механические характеристики ($\sigma_{0.2} = 400\text{...}500$ МПа, $\sigma_{0.2} = 104\text{...}120$ МПа, $\delta = 7\text{...}15\%$), предназначен для деталей, испытывающих большие динамические и вибрационные нагрузки. Детали из этого сплава могут длительно работать при 300 °С и *кратковременно при 350 °С*.

Сплав ВАЛ 16 обладает высокой коррозионной стойкостью и хорошей свариваемостью. Детали из этого сплава могут успешно работать в любых климатических условиях при температуре до 150 °С. Сплав характеризуется

высокими механическими свойствами ($\sigma_{\text{в}} = 300 \dots 350$ МПа, $\delta = 10 \dots 15$ %), что позволяет его применять для изготовления сварных конструкций совместно с деформируемыми сплавами типа АМгб.

В изделиях современного машиностроения алюминиевые литейные сплавы, обладающие высокой удельной прочностью, заменяют чугун и малоуглеродистые литейные стали.

Области применения алюминиевых литейных сплавов:

- в авиастроении — силовые детали фюзеляжа, агрегатов, приборов;
- судостроении — кронштейны палубных надстроек, корпуса механизмов управления и компасов;
- машиностроении — корпуса электродвигателей, роторов компрессоров, насосов, редукторов, вентиляторов; крыльчатки, шкивы ременных передач, муфты сцепления, корпуса и крышки картеров, коробки передач, редукторы, головки и блоки цилиндров, поршневые группы (см рис 2);
- текстильной промышленности — станины ткацких станков, бобины, корпуса и кожухи швейных машин;
- пищевой промышленности — детали смесителей, просеивающих агрегатов, разливочных машин;
- электротехнической промышленности — детали контактных соединений, панели, радиаторы охлаждения, платы и корпуса приборов.
- Алюминиевые литейные сплавы по сравнению с чугунами и сталями обладают рядом важных преимуществ: возможностью получения более точных литых заготовок с малой шероховатостью поверхности при использовании высокопроизводительных методов литья в металлические формы (в кокиль, под давлением, жидкой штамповкой), а также более высокой коррозионной стойкостью.
- Замена чугуна и стали литейными алюминиевыми сплавами позволяет получать значительный технико-экономический эффект за счет следующих факторов: снижения массы (металлоемкости) конструкций; повышения эксплуатационной надежности и долговечности; уменьшения трудоемкости благодаря применению более точных литых заготовок, а также более легкой обрабатываемости резанием.
- **В медных сплавах** используют буквенные обозначения: С — свинец, О — олово, Б — бериллий, Т — титан, Ф — фосфор, Ж — железо, Мц — марганец, К — кремний, Ц — цинк, А — алюминий, Н — никель.
- Сплавы меди с цинком (до 50%) и добавками алюминия, никеля, кремния и марганца называются **латунями**. Различают латуни, *обрабатываемые давлением* (ГОСТ 15527—70), и *литейные* (ГОСТ 177111-80).
- Наиболее распространены латуни с содержанием цинка до 38 %. Они коррозионно-стойкие, пластичные и в горячем состоянии хорошо обрабатываются давлением. Латуни выпускают восьми марок.
- Максимальное содержание меди (96 %) в латуни марки Л96, минимальное — в Л60. Добавки легирующих элементов улучшают механические свойства и повышают коррозионную стойкость латуни. Наприм.ер,

марганцово-алюминиевая латунь ЛМцА-57-3-1 содержит 55,0... 58,5 % меди, 2,5... 3,5 % марганца, 0,5... 1,5 % алюминия, остальное — цинк.

- Сплавы меди с оловом называются **бронзами** (ГОСТ 5017—74 — оловянные и ГОСТ 18175—78 — безоловянные). Эти сплавы более прочные и коррозионно-стойкие по сравнению с медью, обладают хорошими литейными свойствами, имеют малый коэффициент трения, что позволяет использовать их при изготовлении вкладышей подшипников, червячных колес, различных элементов точных измерительных приборов (см рис 3).
- Бронза БрОЦС5-5-5 содержит 4...6% олова, цинка и свинца, остальное — медь. Поскольку олово дороже и дефицитнее меди, то широкое распространение получили алюминиевые бронзы, например БрА5, БрАЖМц 10-3-1,5. Алюминиевые бронзы с добавками алюминия до 10 % обладают хорошей жидкотекучестью, в горячем и холодном состоянии хорошо обрабатываются давлением, а добавки никеля, марганца, железа и свинца улучшают их механические свойства.
- Бериллиевые бронзы БрБ2, в состав которых входят 1,8...2,1 % бериллия, 0,2...0,5% никеля, остальное — медь, обладают высокой прочностью и упругостью, что позволяет использовать их для изготовления пружин и пружинных контактов измерительных приборов.
- Бронзы БрОЦС4-4-4, содержащие 3...5% олова и цинка, 3,5...4,5 % свинца, обладают высокими антифрикционными свойствами.
- Кремниевые бронзы, например БрКН-1-3, содержат 0,6..1,1 % кремния, 2,4...3,4% никеля и 0,1 ...0,4% марганца, обладают высокой пластичностью и коррозионной стойкостью.
- Технически чистая медь (ГОСТ 859—78) также применяется в машино- и приборостроении: М00 (медь 99,9 %), М0 (99,95 %), М1 (99,8%), М2 (99,7%), М3 (99,5%).



Рисунок 2- Поршневая группа (поршень и шатун),



Рисунок 3 – Детали, изготовленные из медных сплавов

выполненная из
алюминиевого сплава

Титановые сплавы. В промышленности применяют в основном титан двух марок: ВТ1-00 и ВТ 1-0. Для легирования титана используют алюминий, который увеличивает прочность, жаропрочность и стойкость к окислению при высоких температурах, но снижает пластичность. Алюминий является а-стабилизатором. Для получения сплавов смешанной структуры ($\alpha + \beta$) титан легируют марганцем, хромом и молибденом, что позволяет примерно вдвое увеличить прочность по сравнению с чистым титаном, но при температуре не выше 430 С. Такие сплавы хорошо куется, штампуются и прокатываются, но плохо свариваются.

Широкое распространение имеет сплав ВТ3-1 (5,5...7,0% Al, 0,8...2,3% Cr, 2...3 % Mo, 0,2...0,4% Si), который обладает термической стабильностью при температуре до 400 °С.

Сплав ВТ9 (6...7% Al, 3...4% Mo, 0,3% Si, 0,8...2,0% Zr) может длительно работать при температуре до 450 °С.

Однофазный сплав ВТ5 (4,3...6,2% Al) устойчив к коррозии, хорошо сваривается, сохраняет высокую прочность при температуре до 650 °С.

Титановые сплавы используют в тех областях, где к коррозионной стойкости и прочности изделий предъявляются высокие требования, например в химической и молочной промышленности. Длительный срок службы титановых изделий позволяет окупать их повышенную по сравнению со сталями стоимость.

Области использования титановых сплавов:

- химическое, нефтехимическое, молочное производство — емкости, баки, трубопроводы, теплообменники, реакторные сосуды, очистительные сооружения;
- машиностроение — корпусные детали, клапаны, золотники, пружины, коленчатые валы (см рис 4);
- добыча топлива, производство ядерных силовых установок — конденсаторы, лопатки турбин, изделия, работающие в соленой морской воде, детали бурильного и нефтяного оборудования;
- строительство — крыши, панели, элементы отделки, трубопроводы, оболочки;
- судостроение — опреснители морской воды, глубоководные спускаемые аппараты, подводные лодки, шельфовые нефтяные платформы;
- захоронение радиоактивных отходов — контейнеры, транспортные цистерны;
- медицинская промышленность — имплантаты, сердечные клапаны, микрохирургический инструмент, протезы;
- производство спортивного инвентаря — ракетки, клюшки, детали велосипедов и др.

Поскольку титановые сплавы достаточно дороги и дефицитны, то это сильно сдерживает их использование. Наиболее широко применяют



титановый лист толщиной 1... 5 мм, хотя титан поставляют и в виде плит, труб, прутков и поковок.

Рисунок 4 – Детали, изготовленные из титановых сплавов

Для снижения себестоимости разработаны вторичные титановые сплавы — ВТВ1, ВТВ2, ВТВ3, ВТВ4. В качестве шихтовых материалов при выплавке слитков используют отходы производства титановых сплавов. Из вторичных титановых сплавов освоено производство листов толщиной 1 ...5 мм и плит толщиной 6... 50 мм (табл. 1.5).

Изделия из вторичных титановых сплавов могут быть сварены всеми видами сварки: аргонодуговой, электронно-лучевой, точечной и др. Операции листовой штамповки и гибки заготовок из сплава марки ВТВ1

осуществляют без нагрева, а из сплавов ВТВ2, ВТВ3, ВТВ4 — при нагреве до 700 °С. Механическую обработку (точение, фрезерование, строгание и др.) вторичных титановых сплавов проводят инструментом с твердосплавными пластинами типа ВК6 и ВК8. Режимы резания аналогичны режимам для резания обычных титановых сплавов.

Магниеые сплавы. Первичный магний имеет три марки: МГ90, МГ95 и МГ96, с содержанием от 99,96 до 99,90 % магния. В магниевых сплавах содержится железо, кремний, алюминий, медь, никель, марганец и хлор в незначительных количествах. По ГОСТ 2856—79 определен состав магниевых сплавов, предназначенных для фасонного литья, по ГОСТ 14957—76 — состав сплавов для получения изделий методами горячей деформации. Различают *литейные магниевые сплавы* (МЛ) и *сплавы, обрабатываемые давлением* (МА).

Сплав МЛ2 (1 ...2 % Мп) имеет невысокие механические свойства, но обладает хорошей антикоррозионной стойкостью.

Сплавы МЛ4 и МЛ5 содержат добавки алюминия и цинка, имеют более высокие физико-механические характеристики, благодаря чему их широко используют в промышленности, хотя стойкость к коррозии у них несколько ниже.

Сплав МЛ 10 содержит добавки неодима, цинка и циркония, обладает хорошими литейными свойствами, жаропрочен и может выдерживать рабочую температуру до 250 °С.

Магниевые литейные сплавы хорошо обрабатываются резанием, обладают малой плотностью, высокой удельной прочностью, способностью к демпфированию колебаний. Изделия, изготовленные из этих сплавов, используют в различных отраслях народного хозяйства:

- авиастроении — детали пассажирских кресел, шасси, двигателей и силовых агрегатов;
- транспортном машиностроении — детали двигателей автомобилей, диски колес (см рис 5), элементы подвески, корпуса лодок и лодочных моторов, кузовные детали (см рис 6);
- текстильной промышленности — детали ткацких станков и бобины;
- радиотехнической и электронной промышленности — детали оптических приборов, радио- и киноаппаратуры.



Рисунок 5 – Диск из магниевого сплава

Рисунок 6- Кузовные детали на основе магниевых сплавов

Наиболее широко используют магниевые литейные сплавы МЛ5, МЛ5пч, МЛ 10 и МЛ 12.

Из магниевых деформируемых сплавов изготавливают следующие изделия:

- в авиастроении — детали бортовой аппаратуры, диски колес, корпуса кресел;

- при производстве товаров народного потребления — детали велосипедов;

- в медицине — детали инвалидных колясок, медицинской техники.

Благодаря малой плотности и значительной прочности таких сплавов существенно снижается масса конструкции: для корпусных деталей экономия по массе составляет 21, 57 и 111 % по сравнению с алюминиевыми, титановыми и стальными деталями соответственно.

Сплавы МА1 и МА8 обладают высокой пластичностью, хорошей коррозионной стойкостью и свариваемостью, сплав МА2 обладает хорошей пластичностью, но меньшей коррозионной стойкостью.

Для снижения стоимости готовых изделий используют технологию их получения из гранул. Процесс состоит из отливки гранул и их прессования в готовое изделие, например трубу. Возможно также промежуточное изготовление заготовок с последующей механической обработкой, прошивкой или прессованием готового изделия.

Никелевые литейные жаропрочные сплавы широко используют для повышения ресурса и эксплуатационных характеристик авиационных и ракетных двигателей. Сплавы ЖС6К, ВЖЛ12 У и

ЖС6У применяют для изготовления литьем по выплавляемым моделям с последующей термической обработкой рабочих лопаток турбин и цельнолитых роторов. Они имеют равноосную кристаллизацию (Ni—Co—Cr—Al—Ti—W—Mo) и представляют собой γ -твердый раствор, упрочненный фазой на основе алюмината никеля Ni₃Al. Сплавы предназначены для работы при температуре до 1100 С.

Для рабочих лопаток самолетов гражданской авиации используют сплавы с направленной и монокристалльной структурой ЖС30, ЖС26У, имеющие высокие пределы длительной прочности во всем интервале рабочих температур, выносливости, термостойкости и более высокую термостабильность, что позволяет увеличивать ресурс двигателя в 4—5 раз без промежуточного ремонта.

Литье лопаток методом направленной кристаллизации осуществляют в тонкостенные керамические формы толщиной 6... 7 мм, выдерживающие температуру 1750... 1780°С.

Применение тонкостенных форм обеспечивает достижение за- i

данного температурного градиента при литье лопаток с монокристаллической структурой. Высокотермические плавильные тигли изготавливают с применением высокоогнеупорных материалов — электрокорунда, муллита, диоксида магния и специальных спекающих добавок. Использование таких тиглей позволяет устранить взаимодействие расплава с рабочей поверхностью, обеспечивая сохранение исходной чистоты металла.

Никелевые деформируемые жаропрочные сплавы используют для изготовления дисков турбин и последних ступеней компрессоров газотурбинных двигателей. Для этих целей также успешно используют сплав ЭИ698 (Ni—Cr—Mo—Ti—Al—Nb) без содержания кобальта и вольфрама, который выдерживает рабочую температуру 550... 700 °С при ресурсе 12 000 ч.

Для изготовления дисков турбины и последних ступеней компрессора используют также сплавы ЭП742, ЭП648 с кобальтом, дисков турбины и валов компрессора — порошковый сплав ЭП741нп, обладающий более однородной структурой, а также сплавы ЭК79 и ЗК79У.

Для деталей горячего тракта и жаровых труб современных газотурбинных двигателей с повышенным ресурсом создан объемно-стабильный высокотехнологичный гомогенный свариваемый сплав ВЖ145. Детали из этого сплава могут быть в процессе ремонта восстановлены любыми методами сварки.

1.3 Металлы и 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 α (ТКЛТР) и модуля нормальной упругости ρ (ТКМУ). Эти коэффициенты определяют характер изменения размеров детали и модуля упругости сплава при нагреве.

Сплавы с регламентируемым температурным коэффициентом линейного расширения. Основным представителем сплавов с минимальным ТКЛР является *инвар* — сплав 36Н.

Инвар имеет самые низкие значения α в интервале температур от -100...+100 °С. Высокий уровень механических свойств и технологичности инвара позволяет использовать его в качестве конструкционного материала для деталей (см рисунок 8), 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 магнитоstriction парапроцесса. Для спаев со стеклом повышенное содержание углерода приводит к выделению диоксида углерода CO_2 в процессе впаивания и образованию газовых пузырей в стекле. Значение ТКЛР сплавов а зависит от предварительной обработки. Минимальное значение коэффициента а 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 а становится почти равным нулю.

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

В электровакуумных газоразрядных и полупроводниковых приборах широко используют спаи 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 появлений 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, имеющих в спае.



Рисунок 7- Инваровые винты с системой самоблокировки

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 термобиметаллов, 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 пластины приводит к ее искривлению, позволяющему замкнуть электрическую цепь.

Основным свойством термобиметаллов является термочувствительность, т. е. способность изгибаться при изменении температуры.

1.4 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.

Для чистого железоникелевого сплава даже при небольших колебаниях концентрации никеля, неизбежных в сталеплавильном производстве, уровень ТКМУ 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°C, что ограничивает температурный интервал его применения.

Для повышения температуры Кюри в элинварах увеличивают концентрацию никеля, а для улучшения механических свойств элинвары дополнительно легируют титаном, алюминием или бериллием и подвергают двойной закалке от 900 – 950oC в воду и старению при 600 – 700oC в течение 4 ч.

После первой закалки элинварные сплавы высокопластичны. Относительное удлинение сплава 42НХТЮ составляет не менее 30 %, сплава 44НХТЮ – не менее 20 %. В этом состоянии они могут подвергаться штамповке и механической обработке. При повторной закалке избыточные фазы растворяются в аустените, а при старении из твердого раствора происходит выделение упрочняющих дисперсных фаз (FeNi)₃(TiAl), Ni₃Ti. К наибольшему упрочнению приводит сочетание низкотемпературной термомеханической обработки с последующим старением.

Элинварные дисперсионно-твердеющие сплавы типа 42НХТЮ, 44НХТЮ применяют для изготовления упругих чувствительных элементов

прецизионных приборов: расходомеров, регуляторов скорости и датчиков линейных ускорений, динамометров электронных весов, волосковых спиралей часовых механизмов. Сплав 30Н25КТЮ относится к элинварам с наиболее высокой точкой Кюри (470°С). Благодаря этому он сохраняет температурную стабильность упругих свойств и релаксационной стойкости вплоть до 400°С. Сплав рекомендуется применять после низкотемпературной термомеханической обработки с последующей закалкой и старением. Учитывая большое влияние предшествующей обработки на свойства стали, конкретный режим деформации и термической обработки подбирается для каждой партии сплава в зависимости от заданных механических свойств. Высокий запас пластичности в горячем и холодном состоянии позволяет изготавливать изделия сложной формы.

1.5 Жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы

Согласно второму закону термодинамики коэффициент полезного действия любого теплового преобразователя энергии определяется выражением:

$\text{КПД} = 1 - T_2/T_1$ - 5.1, где T_1 и T_2 – температуры выходе в преобразователь и на входе из него, К.

Чем выше температура на входе в преобразователь, тем выше КПД. Возможность повышения температуры на входе в преобразователь зависит от теплостойкости используемых материалов.

Основными характеристиками материалов, работающих при высоких температурах, являются жаростойкость и жаропрочность.

Жаропрочные и жаростойкие материалы применяют для изготовления деталей установок, которые подвергаются механическим нагрузкам при высоких температурах. Например, тепловые электростанции, установки нефтехимических предприятий и нефтеперерабатывающей промышленности, промышленные нагревательные печи, газовые турбины и авиационные двигатели.

Технический прогресс вызывает необходимость создания высокоэффективных конструкционных полимерных материалов, с заданными физико-механическими свойствами, используемых в машиностроении.

Новые материалы, появляющиеся вследствие стремления к совершенствованию существующих изделий машиностроения, открывают широкие возможности для реализации перспективных конструктивных решений, технологических процессов и разработки эффективных методов прогнозирования. От степени точности прогнозирования параметров композиционных материалов (КМ), используемых в различных условиях нагружения, зависят надёжность, долговечность и другие эксплуатационные свойства получаемых из них изделий. В этой связи, разработка новых моделей прогнозирования, основанных на современных теориях

кластерообразования, перколяции, бифуркации, структурно-фазовых переходов является своевременной и перспективной.

В настоящее время прогресс в машиностроении неразрывно связан с разработкой и широким внедрением конструкционных полимерных композиционных материалов (ГЖМ) в производство.

ПКМ обладают комплексом физико-механических свойств, выгодно отличающихся от традиционных конструкционных материалов (металлов, сплавов, бетона, дерева) и в совокупности открывают широкие возможности для совершенствования существующих материалов и изделий машиностроения.

Полимерные композиты широко используются для изготовления конструкционных материалов и изделий, обладающих высокими деформационно-прочностными свойствами.

В связи с этим, возникла необходимость в разработке новых точных методов прогнозирования их свойств, что позволит в дальнейшем создавать качественно новые материалы для изделий машиностроения. Поэтому реальной представляется возможность проектирования эффективных материалов на основе адекватных прогностических моделей, позволяющих с высокой степенью-точности прогнозировать свойства вновь создаваемых КМ.

1.6 Металлы с памятью формы

В последние двадцать лет широкое распространение получают конструкционные материалы нового поколения, так называемые интеллектуальные материалы (ИМ). Общим признаком ИМ является наличие в них своих собственных датчиков, исполнительных, вычислительных или управляющих устройств, способных регистрировать внешние воздействия, обрабатывать их и осуществлять контроль над ними в режиме реального времени.

К числу интеллектуальных материалов относятся материалы с эффектом памяти формы (ЭПФ). Эффект памяти формы представляет собой восстановление формы конструктивного элемента, которую ему придали при температуре фазового превращения, если этот элемент будет нагрет. При этом восстанавливается пластическая деформация в пределах 6,8 % (никелид титана, торговая марка нитинол). Если формоизменение деформированного материала при восстановлении формы ограничить, возникают напряжения величиной порядка 600,700 МПа при пределе текучести этих сплавов 80 МПа. Именно эти деформации и усилия и используются при создании силовых электромеханических исполнительных механизмов из современных ИМ. Основными характеристиками ИМ на основе материалов с ЭПФ являются:

- чувствительность – способность реагировать на изменения в температурном поле;
- переключаемость – при достижении температуры фазового превращения осуществлять переключающие операции;
- активация – способны создавать большие смещения (обратимая пластичность или псевдоупругость) и значительные активные/реактивные напряжения;
- адаптивность – основана на фазовых превращениях (мартенситного типа), проявляется в различного рода уникальных свойствах (самоорганизация, самозалечивание, самоконтроль и т.п.);
- память и восстановление – форма и внутренняя структура могут запоминаться и многократно восстанавливаться;
- энергоемкость и преобразование энергии – может запасаться значительное количество энергии и затем преобразовываться в механическую энергию деформации;
- демпфирование – большинство сплавов с ЭПФ имеют высокие демпфирующие свойства, обусловленные особенностями микроструктуры и фазовыми превращениями.

Ужесточение режимов работы машиностроительных материалов приводит к тому, что наиболее слабым элементом в системе "материал – рабочая среда", определяющим допустимые условия эксплуатации и ресурс всей системы, является поверхность материала.

Известно, что практически все процессы, приводящие к отказам изделий - износ, коррозия, рост трещин при статических; динамических и знакопеременных нагрузках начинаются с поверхности, а значит, определяется свойствами относительно тонкого поверхностного слоя. Необходимость упрочнения и защиты поверхности путем ее модифицирования, либо нанесения моно- или многослойного покрытия зачастую вытекает из невозможности соответствующего улучшения эксплуатационных узлов и деталей даже в случае использования новых конструкционных материалов с улучшенным комплексом физических, механических и металлургических свойств. Несмотря на повышенные показатели функционально-механических свойств, применение соединений из сплавов на основе Ti-Ni в связи с высокой стоимостью сплава ограничивалось, главным образом, наиболее ответственными деталями с минимизацией расхода материала либо использованием лишь в дорогостоящем оборудовании.

Одним из возможных решений была разработка более дешевых СПФ, которые могли бы составить замену сплавам на основе TiNi. Для этих целей использовали добавки третьих элементов (Ti-Ni-Fe, -Cu и др.), но, как известно, для сохранения всех свойств они не должны были превышать 3,4 (ат.)%, что существенно не снижало стоимость. Применяли более дешевые СПФ системы Cu-Zn-(Al, Ni, Al-Mn-Ni) и сплавы с ЭПФ на основе Fe [15], нержавеющие стали с памятью формы типа Fe-Mn-Si-Cr-Ni [96], но

недостаток этих сплавов заключался в гораздо меньших величинах проявляемых эффектов (восстанавливаемая деформация ее достигает 2-3%,). Тем не менее, в последние годы разработаны новые методы, в частности, соединения труб на основе сплава Fe-Mn-Si [97], ($\epsilon_r=1-2\%$).

Но существует ряд недостатков, связанных с особенностями специальной подготовки труб, деформирования материала труб, их размерами и т.д. С этой точки зрения уникальность никелида титана неоспорима. Поэтому в качестве другого, альтернативного разрешения проблемы экономичности и ресурсосбережения TiNi возможно перспективное направление, связанное с использованием технологий инженерии поверхности.

Конечной целью в этом случае является замена объемного сплава с памятью эффективным покрытием либо слоем, выполняющим те же функции, что и массивный материал. Мировой опыт показывает, что использования сплавов с ЭПФ, наряду с нанотехнологиями, является интенсивно развивающейся и самостоятельной областью современного космического, стратегического и гражданского материаловедения. Такой повышенный интерес обусловлен возможностями создания техники нового поколения в аэрокосмическом и автомобильном комплексе, в приборо- и машиностроении, электронике, биомедицине и т.д.

В настоящее время появились первые сведения об использовании никелида титана в виде композитов, хотя уже более 10 лет назад были сделаны прогнозы, что его соединения с другими материалами значительно более перспективны. Тонкие пленки TiNi.

С того времени, как было установлено, что тонкие пленки из сплавов с ЭПФ могут восстанавливать большие деформации и генерировать значительные восстанавливающие усилия, они привлекли интерес, особенно в области применений в виде активных элементов микроприводных и микроэлектромеханических систем (МЭМС).

Применительно к МЭМС-технологиям TiNi имеет уникальные характеристики, в том числе, обладает свойством выдерживать большие ударные и силовые воздействия. Объемный сплав отличается низким уровнем отклика и реагирования, в то время как тонкие пленки СПФ обеспечивают большую плотность энергии. Тонкие пленки из сплавов с ЭПФ (TiNi) в настоящее время встраиваются в структуры микроуровня, профилируются стандартными литографическими технологиями и изготавливаются партиями.

Наиболее популярными способами нанесения тонких пленок из сплавов с ЭПФ являются физическое и химическое осаждение из паровой фазы (PVD и CVD), а также напыление, процессы ионного облучения и имплантации.

Процессы осуществляются в условиях вакуума в среде технологического газа.

В последнее время СПФ-композиты или «интеллектуальные композиты» (smart composites) привлекают огромное внимание. Во-первых, это связано с экономией дорогостоящего сырья. Во-вторых, получаемый материал является активным и адаптивным и позволяет эффективно управлять формой разнообразных тонкостенных конструкций – от панелей и использующих их адаптивных неразрезных крыльев летательных аппаратов до сейсмочувствительных датчиков.

Разработанные методы построения композитов с памятью формы базируются на формировании одно- и многослойных конструкций с использованием тонких фольг и пленок из СПФ, либо армировании холоднокатанной тонкой проволокой, волокнами, лентами из СПФ.

В результате МП (А«М-переходов) происходит значительное изменение линейных размеров материала при создании реактивных усилий (до 200 МПа), возможно залечивание повреждений и трещин композитов.

Для создания адаптивных композиционных материалов с памятью формы чаще всего используют сплавы никелида титана (см рис 8). Наличие высоких демпфирующих характеристик и свойство сверхупругости СПФ используется для повышения сопротивления ударному разрушению композитов, поскольку псевдоупругий материал способен поглощать большую энергию деформации, чем, например, графитовые волокна. Это создает определенные предпосылки использования СПФ в композиции «сталь-TiNi».

Однако, существующие микротехнологии тонких пленок и композитов не могут быть использованы для создания массивных поверхностных слоев из сплавов с ЭПФ, представляющих интерес в машиностроении. Для этих целей применяются методы наплавки, плакирования и диффузионного соединения. Покрываются и слои. В настоящее время проблема получения прочных и надежных композиций из разнородных материалов методом наплавки решается за счет создания косвенных связей с помощью нанесения промежуточных подслоев из чистых металлов.

Ряд экспериментальных исследований указал на возможность получения надежных TiNi-соединений с использованием КПЭ - ТИГ, лазерного и электронного лучей, плазменных технологий. Защитная атмосфера инертных газов является необходимым условием при проведении подобных процессов.

Новый реактивный процесс пайки никелида титана через чистый ниобий обеспечивает прочную металлургическую связь между свариваемым сплавом (квази-бинарная эвтектика Ni₃₈Ti₃₆Nb₂₄) и открывает возможности создания прототипов сверхупругих ячеистых сотообразных топологических форм из обычного никелида титана.

Метод позволяет реализовать сложные пространственные ферменные конструкции, сотообразные сэндвичевые панели и другие встраиваемые термоактивизируемые многофункциональные структуры на базе сплава TiNi.

Положительные результаты были получены при формировании массивных слоев TiNi на поверхности нержавеющей стали через подслоя тантала Ta ударной дуговой сваркой, вакуумным плазменным напылением TiNi на стальные и кремниевые подложки, аргонодуговой и лазерной наплавкой, совместным процессом СВС и ГИП.

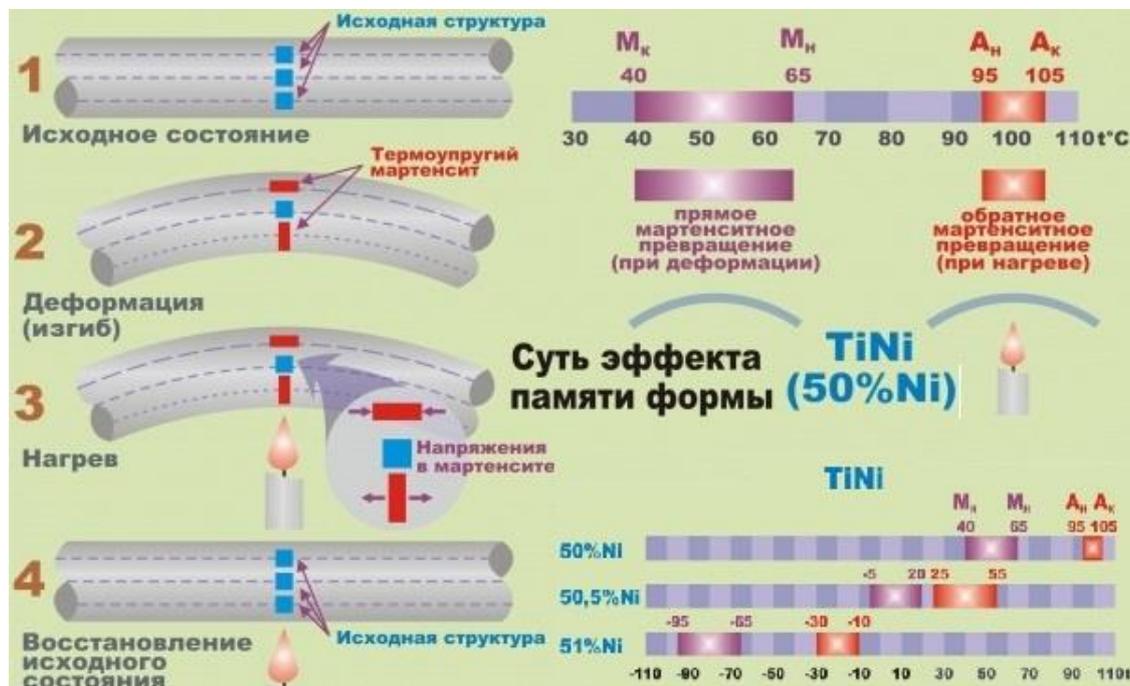


Рисунок 8 – Суть эффекта памяти формы

Покрyтия из сплава с ЭПФ в узлах трения могут обеспечить уменьшение вибраций и шумов, оптимизировать зазоры в парах трения. Однако существующие на сегодняшний день исследования в основном касаются отдельных свойств объемных TiNi-покрyтий, при этом их функциональные возможности никаким образом не учитываются.

Кроме того, необходимы приемлемые универсальные методы поверхностного модифицирования сплавом TiNi. В настоящее время разрабатывается новое направление в инженерной механике материалов, связанное с поверхностным модифицированием сплавами с ЭПФ. Поверхностное модифицирование СПФ позволяет не только экономно использовать дорогостоящий сплав с памятью в области машиностроения, но и при обеспечении заданного уровня надежности обеспечить новые функциональные свойства традиционных соединений деталей машин.

Функциональные возможности модифицированного слоя сплава с ЭПФ используются для получения гарантированной посадки с натягом между соединяемыми деталями. Первые разработки в этой области касались разъемных соединений типа вал-втулка. На примере технологии изготовления составных коленчатых валов, болтовых соединений показана

возможность соединения с помощью слоя сплава с ЭПФ щек кривошипов с коренными и шатунными шейками.

С использованием сплава с ЭПФ разработана принципиально новая конструкция компенсатора трубопроводов, герметичность соединения патрубков и втулок которого с возможностью последующей разборки-сборки обеспечивается за счет соединения сплавом с ЭПФ.

Материалы с ЭПФ использовались в соединениях цилиндрических деталей одного диаметра, в частности, при изготовлении разборного тонкостенного сосуда давления, а также его упрочнении с помощью установки на цилиндрическую часть оболочки колец из сплава с ЭПФ.

Таким образом, разработка методов поверхностного модифицирования сплавами с ЭПФ является перспективным направлением для создания разъемных соединений деталей.

Системность поверхностного модифицирования сплавами с ЭПФ предполагает определение взаимосвязи структуры и свойств получаемых покрытий. Элементы схемы отражают способы управления структурой и свойствами поверхностных слоев, их оптимизацией, и обуславливают достижение особой структурной организации, которая и обеспечивает новый уровень функционально-механических свойств поверхностно-модифицированных материалов.

Контрольные вопросы:

1. Классификация и маркировка конструкционных сталей общего и специального назначения.
2. Классификация и маркировка инструментальных сталей.
3. Как классифицируются конструкционные стали по технологии термической обработки?
 1. Что такое чугун?
 2. Как подразделяют чугуны по эвтектичности?
 3. Чем белые чугуны отличаются от графитизированных?
 4. В чем заключаются особенности титановых сплавов и области их применения? Приведите примеры сплавов на основе титана, их состав.
2. Как классифицируются титановые сплавы по структуре?
3. Как маркируют титановые сплавы?
4. Как классифицируются алюминиевые сплавы? Области их применения.
5. Как маркируют литейные алюминиевые сплавы?
6. Как маркируют деформируемые алюминиевые сплав?
7. Каковы общие признаки интеллектуальных материалов?
8. Основными характеристиками ИМ на основе материалов с ЭПФ являются?

Тема 2 Неметаллические материалы

2.1 Классификация неметаллических материалов

Данные материалы широко используются в машино- и приборостроении; они разделяются на две основные группы: материалы неорганического происхождения (керамические материалы, минеральное стекло и силикаты, материалы на основе асбеста, слюды, каолина) и материалы органического происхождения. Последние имеют наиболее широкое распространение как конструкционные материалы.

К ним относятся древесные материалы, уголь, кокс, графит (непластические материалы); пластические материалы — пластмассы, волокна, лаки на основе полимеризационных и конденсационных смол, а также асфальто-битумные материалы; материалы на основе каучука (резина и эбонит); лаки и краски; смазочные масла. Некоторые неметаллические материалы представляют композиции из веществ неорганического и органического происхождения (например, стеклотекстолит, асбовинил и др.), поэтому не все материалы можно всегда строго разделить по этому признаку.

Различные неметаллические материалы используются как конструкционные для изготовления из них полностью деталей и изделий (причем в ряде случаев с успехом могут заменять как черные, так и цветные металлы), в сочетании с металлическими деталями (например, в автомобильных покрышках), или как средство защиты от коррозии.

Ниже рассмотрены наиболее распространенные в машиностроении неметаллические материалы.

2.2 Материалы на основе древесины

Натуральная древесина. Древесина различных пород (сосна, ель, кедр, пихта, береза, ольха, липа, дуб, бук, клен, самшит и др.) в машиностроении применяется в натуральном виде (после сушки) для изготовления модельных комплектов в литейном производстве, кузовов автомобилей, многих деталей вагонов и судов, различных сельскохозяйственных, текстильных, химических и других машин, аппаратов и приборов.

Широкое использование древесины находит в связи с ее дешевизной, достаточными для ряда деталей механическими, физическими и химическими свойствами. Древесина имеет сравнительно высокую твердость, прочность, упругость, малый объемный вес (0,35—0,75, реже 1,0—1,25), она устойчива к органическим кислотам, их солям, спиртам, многим растительным и минеральным маслам. Кроме того, некоторые технологические свойства древесины обеспечивают получение из нее нужных изделий: она легко обрабатывается всеми видами режущих инструментов, хорошо изгибается (особенно в нагретом состоянии), поддается отделке и достаточно прочно удерживает покрытия (лаки, краски).

К недостаткам древесины относится ее анизотропность от волокнистого строения, гигроскопичность (вызывающая изменение ее свойств и формы изделия), резкое ухудшение свойств при температурах выше 120—130°.

Материалы на основе древесины. Свойства древесины могут быть значительно улучшены при специальной обработке ее. В результате такой обработки, состоящей из механического, химического или термического воздействия на древесину получают новые древесные материалы, обладающие лучшими свойствами.

Лигностон — цельная пластифицированная древесина. Отличается значительным улучшением физико-механических свойств и стабильностью формы по сравнению с исходной древесиной. Лигностон изготавливают горячим прессованием чистой древесины или предварительно пропитанной (например, 20% раствором глюкозы) под давлением 150—300 кг/см² и температуре 130—140°. Под влиянием этого воздействия древесина пластифицируется (приобретает пластичность). Лигностон используют для изготовления челноков в текстильной промышленности, некоторых видов подшипников (для замены более дорогостоящих бронзы и текстолита) и пр.

Шпон — тонкие деревянные листы, получаемые путем строгания (толщина 0,6—1,5 мм), пиления (толщина 1—2 мм) или лущения (снятие непрерывной ленты толщиной 0,5—2 мм с вращающегося кряжа). Путем склеивания нескольких слоев лущеного шпона получают клееную фанеру; при склеивании листы шпона (в количестве обычно от 3 до 9) накладывают друг на друга, располагая их волокна перпендикулярно. Клееная фанера изготавливается главным образом из березового, ольхового, букового или соснового шпона. Для получения водостойкой и прочной фанеры применяют фенолформальдегидный клей, менее прочная и водостойкая фанера получается при склеивании альбумино-казеиновыми клеями. Для изготовления многослойной плиточной фанеры склеивают 11 и более слоев шпона; толщина таких фанерных плит 25—30 мм.

Лигнофоль и дельта-древесину — слоистые пластики — изготавливают прессованием (при давлении 110—250 кг/см² и температуре 110—160°) березового шпона, пропитанного раствором феноло- или крезолоформальдегидной смолы. Эти материалы выпускаются в виде листов, плит, круглых болванок, подвергаемых обработке резанием, а также в виде цельнопрессованных изделий. Лигнофоль и дельта-древесина применяются в электромашиностроении, как силовой и электроизоляционный материал, для вкладышей подшипников взамен цветных металлов, в самолетостроении и пр.

2.3 Резина и резиновые изделия

Развитие современного автомобилестроения требует создания и постоянного совершенствования уплотнительных устройств, обеспечивающих герметичность подвижных соединений деталей машин.

Также научно-технический прогресс в современном автомобилестроении невозможен без применения высококачественных рукавных изделий (шлангов). Производство шлангов для транспортировки бензина требует разработки надежных материалов и конструкций.

Крупными зарубежными компаниями (Тагава, ЗМ, Дюпон, Фройденберг) разработаны и продвигаются на западном, а в последние годы и на отечественном рынке, высокоэффективные РТИ (топливные шланги, сальники, колпачки, кольца) на основе фторкаучуков.

Российская промышленность в течение многих лет поставляет отечественному автопрому топливные шланги и шланги наливной горловины стандартов Euro 2 и Euro 3.

Повышение экологических требований до стандарта Euro 4 по топливо-проницаемости рукавных изделий, а также рост скоростей, давлений и температур при эксплуатации узлов и агрегатов, ужесточение требований к показателям качества, долговечности и экологичности резинотехнических изделий требует постоянного совершенствования инженерных методов конструирования, технологии изготовления, рецептур резин, обеспечивающих их повышенное качество и работоспособность.

Фторированные синтетические каучуки получают благодаря способу радикальной полимеризации простых мономеров в эмульсии с добавлением фтора. Основным сырьем для химической реакции служит винилдефторит, который соединяют с перфторметилвинилом, трихлорэтиленом или гексахлорпропиленом. В зависимости от компонентов, итоговое вещество может обладать различными свойствами. Вне зависимости от состава, фторкаучуки обладают следующими особенностями: высокая механическая прочность. Один из наиболее важных показателей среди всех эластомеров, благодаря которому значительно уменьшается физический износ изделий даже под действием абразивов; широкий диапазон рабочих температур. Материал невосприимчив к резким перепадам и стабильно сохраняет свои свойства при граничных положительных и отрицательных значениях температуры; устойчивость к воздействию агрессивных химических веществ. Дополнительно материал не подвержен разрушению при контакте со смазками, маслами и бензином, что является редкой характеристикой для большинства эластомеров; полимер не поддерживает горение.

Благодаря своим химическим и физическим характеристикам этот каучук является единственным среди широкой группы эластомеров, который используется в особо неблагоприятных условиях, там, где аналоги (натуральный или углеводородный каучук) нельзя применить из-за быстрого разрушения.

Во всем мире фторкаучуки известны под двумя маркировками – FPM (обобщающая аббревиатура для всех материалов данной группы) и Viton (резиновый полуфабрикат на основе фторкаучука, запатентованный компанией DuPont). Для американского рынка существует свое название – FKM, а на рынке постсоветского пространства эти эластомеры обозначаются как СКФ (синтетический каучук фторированный).

Фторкаучук, свойства которого незначительно меняются в зависимости от молекулярного состава, используется в таких отраслях промышленности: автомобилестроение; нефтеперерабатывающие комплексы; транспорт и

химическая промышленность; фармацевтика и пищевая промышленность. Кроме того, синтетические резины, полученные на основе этого полимера, широко применяют в условиях пониженных температур и тяжелого климата. Наиболее наглядный пример – геологическая разведка и освоение новых месторождений в Полярных широтах. Из резины различной толщины и плотности изготавливают прокладки, уплотнители, сальники и соединительные элементы, которые обладают высокой износостойкостью и обеспечивают бесперебойную работу механизмов и узлов в экстремальных условиях.

Эбонит применяется для изготовления банок аккумуляторов, изоляционных трубок, деталей аппаратуры связи и пр.

Исходные материалы для резиновых изделий. Резиновые изделия получают путем вулканизации каучука (эластичная основа) с серой и другими веществами-наполнителями (сажа, мел, каолин), мягчителями (смолы, углеводороды) и пр.

Широко применяемые в настоящее время для беговой части протектора легковых шин традиционные типы каучуков, такие как эмульсионный бутадиен-стирольный каучук БСК и полибутадиен СКД, не могут удовлетворить % все возрастающие требования со стороны шинной промышленности. Актуальной является задача улучшения таких свойств, как сопротивление качению в сочетании с высокими эксплуатационными свойствами шин без потерь с точки зрения износостойкости. Одним из путей решения данной проблемы является применение каучуков нового поколения - каучуков эмульсионной и растворной полимеризации с функциональными группами, с использованием кремнекислотных наполнителей (КН) в резиновых смесях.

2.4 Пластмассы

В современном строительстве пластмассы заняли свое специфическое место: (классификация полимерных материалов по назначению):

-отделочные материалы (декоративные пленки, линолеум, бумажно-слоистый пластик)

-эффективные теплоизоляционные материалы (пенно-, поро- и сотопласты)

-гидроизоляционные и герметизирующие материалы (пленки, прокладки, мастики)

-погонажные изделия (поручни, плинтусы)

-Санитарно-технические изделия (трубы)

- в технологии бетона (полимербетоны и бетонополимеры)

- для модификации строительных материалов.

Такое деление достаточно условно, так как один и тот же материал в несколько измененном виде может использоваться для различных целей: ПВХ пленка может быть как отделочным, так и гидроизоляционным материалом, а некоторые отделочные пластмассы могут выполнять не только

декоративные функции, но и роль ограждающих конструкций, воспринимающих определенные механические нагрузки (например, стеклопластик: для декоративной облицовки, устройства кровель, а так же сильно нагруженные детали конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах).

Основные свойства строительных пластмасс можно разделить на 2 группы:

- физические и механические
- химические и физико-химические.

Физические и механические:

Положительные:

- малая плотность - от 20 до 2200 кг/м³, т.е. в 1,5-2 раза меньше, чем у каменных материалов;

- высокие прочностные характеристики - до 200-300 МПа (у древопластиков - 200 МПа, пластмассы с наполнителями - прочность при сжатии от 120 до 160 МПа), Особенность пластмасс - прочность при сжатии и растяжении почти такая же, как при сжатии (у каменных материалов $\sigma_{\text{пр}} = 0,2 \sigma_{\text{прсж}}$)

- низкая теплопроводность (0,23-0,7 Вт/мС), у газонаполненных пластмасс - до 0,03, т.е. близка к теплопроводности воздуха

- малая истираемость некоторых пластмасс, В связи с этим в первую очередь эти пластмассы целесообразно внедрять как материалы для покрытия полов;

- прозрачность пластмасс. Обычные стекла пропускают менее 1% ультрафиолетовых лучей, тогда как органические наоборот - более 70%; они легко окрашиваются в различные цвета. Следует отметить их значительно меньшую плотность. Так, стекло из полистирола имеет плотность 1060 кг/м³, тогда как обычное оконное стекло - 2500 кг/м³;

- технологическая легкость обработки (пиление, сверление, фрезерование, строгание, обточка и др.), позволяющая придавать изделиям из пластмасс разнообразные формы. Пластмассовые изделия поддаются склеиванию как между собой, так и с другими материалами (например, с металлом, деревом и др.). Поэтому из пластмасс можно изготавливать различные комбинированные клееные строительные изделия и конструкции;

- относительная легкость сварки материалов из пластмасс (например, труб в струе горячего воздуха) позволяет механизировать работы по монтажу пластмассовых трубопроводов;

- водопоглощение - очень мало и для плотных пластмасс не превышает 1% (положительно для материалов для полов)

- пористость пластмасс можно регулировать в процессе их производства. Так, полимерные пленки, линолеум, стеклопластики практически не имеют пор, а пористость пенопластов может достигать 95-98%.

Отрицательные:

- низкая теплостойкость (от 70 до 200), но отдельные виды пластмасс (фторопласт, кремнийорганические полимеры) выдерживают нагрев до 300-500.

- малая поверхностная твердость

- высокий коэффициент термического расширения. Он колеблется в пределах 25-120*10⁶, т.е. в 2,5-19 раз более высокий, чем у стали. Это необходимо учитывать при проектировании строительных конструкций, особенно крупногабаритных (например, трубопроводов);

- повышенная ползучесть, особенно заметная при повышении температуры

Химические и физико-химические

Положительные

- *высокая химическая стойкость* - стойкость к действию растворов кислот, щелочей и солей. Однако многие пластмассы легко растворяются или набухают в органических растворителях. Для каждой пластмассы характерна своя группа растворителей, имеющих родственную к полимеру природу

- *способность окрашиваться в разные цвета*

- *способность некоторых пластмасс образовывать тонкие пленки в сочетании с их высокой адгезией к ряду материалов*, вследствие чего такие пластмассы незаменимы как сырье для производства строительных лаков и красок;

Отрицательные

- *горючесть* - является следствием горючести полимеров. Для пластмасс разработаны добавки - антипирены, однако, пластмассы остаются сгораемыми материалами.

- *старение* - изменение структуры и состава полимерного компонента пластмасс под действием эксплуатационных факторов (солнечный свет, нагрев, кислород), вызывающих ухудшение свойств самой пластмассы. При старении возможно протекание в полимере двух процессов: структурирование (т.е. сшивка молекул), приводящее к потере эластичности, появлению хрупкости и последующем растрескиванию, и деструкция - разложение полимера на низкомолекулярные продукты. В пластифицированных пластмассах возможно также «выпотевание» и улетучивание пластификатора, что также приводит к потере эластичности.

- *возможность выделения из пластмасс токсичных веществ не исключена.*

Чистые полимеры биологически безвредны, однако в полимерах возможно присутствие остатков мономеров или низкомолекулярных продуктов деструкции полимеров, появившихся в результате нарушения технологических режимов синтеза и переработки. Кроме того, в пластмассу вводят низкомолекулярные продукты (пластификаторы, стабилизаторы), которые тоже могут быть источниками вредностей.

Полная безвредность пластмасс может быть обеспечена при условии соблюдения технологических режимов и тщательном подборе компонентов и

соблюдения режимов эксплуатации. При их применении необходима строгая проверка на соответствие санитарным нормам.

К недостаточно изученным свойствам относятся сроки службы полимерных материалов, а ведь именно долговечность материалов, изменяемость их свойств во времени определяют возможность применения материалов в конструкциях.

Существует опыт производства саморазрушающихся пластмасс, чтобы не скапливать отходы.

Пластическими массами называют композиционные материалы на основе полимеров, содержащие дисперсные или коротковолнистые наполнители, пигменты и другие сыпучие компоненты и обладающие пластичностью на определенном этапе производства, которая полностью или частично теряется после отверждения полимера. Некоторые строительные пластмассы целиком состоят из полимера (например, органическое стекло: полиметилметакрилат, полиэтилен).

Роль связующего в пластмассах выполняет полимер.

Полимерами называют вещества, молекулы которых представляют собой цепь или пространственную решетку последовательно соединенных одинаковых групп атомов, повторяющихся большое количество раз.

Молекулярная масса полимера очень велика – от 1000 до 1000000. Молекулярная масса низкомолекулярных соединений обычно не превышает 500. Вещества, имеющие промежуточные значения молекулярной массы, называют олигомерами.

Общую формулу полимера можно записать в виде $(-X-)_n$, где X - элементарное звено, n - степень полимеризации.

Исходные вещества, из которых синтезируют полимеры, называются мономерами. Степенью полимеризации называют число структурных единиц, содержащихся в одной молекуле.

Кроме чистых полимеров находят широкое применение сополимеры-высокомолекулярные вещества, получаемые совместной полимеризацией нескольких мономеров, при этом образуются вещества с видоизмененными свойствами (ударопрочный полистирол получают сополимеризацией стирола с мономерами синтетических каучуков)

От вида полимера, его количества и свойств зависят важнейшие свойства этих многокомпонентных материалов: их теплостойкость, способность сопротивляться действию кислот, щелочей и других агрессивных веществ, а также характеристики прочности и деформативности. Обычно, связующее вещество - самый дорогой компонент пластмасс и, в связи с этим, основным технико-экономическим требованием к строительным пластмассам является *минимальная полимероемкость* - минимальный расход полимера на единицу готовой продукции, обеспечивающий требуемые характеристики.

Сырьем для производства полимеров являются:

-природный газ

-газообразные продукты переработки нефти (содержат этилен, пропилен, др. газы)

- каменноугольный деготь, получаемый при коксовании угля (содержит фенол и др. комп.)

-азот, кислород, получаемые из воздуха и др. вещества.

Структура макромолекул в зависимости от их формы может быть линейной, разветвленной, сетчатой и пространственной. При этом свойства полимеров, в первую очередь, зависят от строения макромолекулы и звеньев, из которых она построена.

Макромолекулы линейной структуры представляют собой цепи, длина которых в сотни и тысячи раз превышает размеры поперечного сечения. Чем длиннее цепь, тем выше прочностные характеристики полимера. Макромолекулы разветвленных полимеров имеют боковые ответвления. Число боковых ответвлений и отношение длины основной цепи к длине боковых цепей различны. Наличие ответвлений приводит к ослаблению межмолекулярных связей и, как следствие, к понижению температуры размягчения. Линейные и разветвленные полимеры обычно растворимы в тех или иных растворителях, плавятся или размягчаются при нагревании без изменения основных связей, а при охлаждении повторно переходят в твердое состояние. Такие полимеры являются основой термопластичных пластмасс.

Сетчатые и пространственные полимеры, называемые также сшитыми, образуются в результате соединения друг с другом линейных цепей макромолекул поперечными химическими связями. Это делает сшитые полимеры при частом расположении поперечных связей неплавкими при нагревании и совершенно нерастворимыми в растворителях. Такие полимеры являются основой термореактивных пластмасс.

Полимеры могут находиться как в аморфном, так и в кристаллическом состоянии. Под кристалличностью высокомолекулярных соединений понимают упорядоченное (параллельное) расположение цепей и звеньев. В кристаллических полимерах упорядоченное строение наблюдается на расстояниях, превышающих во много раз

Размеры звеньев цепи, а в аморфных высокомолекулярных соединениях эти расстояния соизмеримы с размерами цепи.

Кристаллическая фаза повышает прочность и теплостойкость полимера, наличие аморфной фазы делает полимер эластичным. Нередко кристаллическая и аморфная фазы находятся одновременно в одном материале, и их соотношение зависит от строения молекул. Например, степень кристалличности линейного полиэтилена составляет 80 %, а разветвленного -60%. Можно искусственно изменять степень кристалличности у одного и того же полимера, например, путем растягивания в нагретом состоянии или других воздействий, тем самым влияя на свойства полимера.

По происхождению все полимеры делятся на 3 группы:

- *природные* (натуральный каучук, целлюлоза, шелк, шерсть, янтарь, белок)

В природных условиях эти и другие полимеры существуют не в той форме, которая нужна потребителю: полимер приходится выделять, очищать, формовать.

Долгое время считалось, что природные полимеры - продукт деятельности живых организмов, что в царстве минеральном полимеров быть не может. Однако полимеры были найдены и в составе метеоритов, и в продуктах извержений вулканов, и в межзвездной пыли (полиацетилен, формальдегид). Сам человек состоит из полимеров органических (белки, нуклеиновые кислоты). Можно сказать, что полимерное состояние - одна из основных форм существования материи во Вселенной.

- *искусственные* - полимеры, получаемые из природных путем незначительной химической модификации. Примеры: Вискозная нить (получается путем растворения природной целлюлозы в сероуглероде со щелочью с последующим ее выделением. Вискозная нить и целлюлоза природная имеют различную кристаллическую структуру), пластмасса целлулоид (получена путем обработки нитроцеллюлозы камфарой в присутствии спирта);

- *синтетические* - полученные искусственным путем из мономеров по реакции синтеза, т. е. объединением множества мелких молекул в несколько макромолекул. Примеры: полиэтилен $(-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-)_n$ (молекулярная масса от 200тыс до 3млн), полистирол $(-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{C}_6\text{H}_5)-)_n$ (50тыс-300тыс), поливинилхлорид $(-\text{CH}_2-\text{CHCl}-)_n$ (до 400тыс), ФФС.

Многие синтетические полимеры не имеют аналогов среди природных. Особенно видно это на трех китах-3-х полимерах, объем производства которых составляет больше половины объема производства всех синтетических полимерных материалов: полиэтилене, полистироле, ПВХ. Возникновение их в природе невозможно, т. к. реакции их синтеза требуют большого количества чистых мономеров, применения особых катализаторов.

Синтетические полимеры делят в зависимости от метода получения на полимеризационные и поликонденсационные.

Реакция полимеризации заключается в химическом взаимодействии молекул мономеров, в результате чего они присоединяются друг к другу, образуя крупные молекулы.

Полимеризация может быть записана в виде общей схемы:

nA - полимеризация- $(A)_n$.

Из n молекул низкомолекулярного вещества образуется одна молекула полимера $(A)_n$. Коэффициент n показывает, сколько раз повторяется основное звено мономера в цепной молекуле полимера.

Классическим примером схемы реакции полимеризации является образование полиэтилена из простейшего непредельного углеводорода – этилена. В результате реакции полимеризации двойная связь между атомами

углерода в молекуле этилена ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$) раскрывается и освобождаются связи для соединения с другими молекулами этилена. В свою очередь, вновь образовавшаяся молекула может соединиться со следующими молекулами мономера и т. Д. Таким образом, структурная формула образовавшегося высокомолекулярного вещества - полиэтилена-имеет вид $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$.

Размеры молекулы полимера влияют на его физические свойства. Например, полученный в результате полимеризации полиэтилен, состоящий из 20 звеньев CH_2 , представляет собой жидкость, увеличение молекулы до 2000 звеньев дает твердый и гибкий пластик, а полиэтилен с молекулой, состоящей из 6000 звеньев- пластик высокой твердости.

При полимеризации могут быть использованы различные исходные мономеры, получаемое при этом новое вещество называют сополимером, а процесс- сополимеризацией (совместной полимеризацией). Общая схема сополимеризации может быть представлена в виде:



В этом случае молекулы мономера А и мономера В химически взаимодействуют, и образуется молекула сополимера $(\text{AB})_n$.

Полимеризации могут подвергаться только такие мономеры, в молекулах которых содержатся кратные связи (или циклические группировки). За счет этих связей (или за счет раскрытия цикла) у молекул исходного вещества образуются свободные валентности, которыми они соединяются между собой в макромолекулы.

Поскольку в процессе полимеризации не отщепляются атомы и атомные группы, химический состав полимера и мономера одинаков. Полученный в результате реакции полимер чаще всего является термопластичным.

Полимеризационные полимеры-полиэтилен, полиизобутилен, полистирол, полиметилметакрилат и т.п.

Поликонденсационные полимеры (фенолоальдегидные, мочевино-альдегидные, эпоксидные, полиэфирные, полиамидные и т.п.) получают методами поликонденсации. При поликонденсации макромолекулы образуются в результате химического взаимодействия между функциональными группами, находящимися в молекулах исходных веществ (например – COOH и $-\text{NH}_2$; $-\text{COOH}$ и $-\text{OH}$). Это взаимодействие сопровождается отщеплением молекул побочных продуктов: воды, хлористого водорода, аммиака и др. В связи с этим химический состав получаемого полимера отличается от состава исходных низкомолекулярных веществ.

Реакция поликонденсации протекает ступенчато, увеличение цепи происходит путем взаимодействия одной молекулы с другой, полученный продукт взаимодействует с третьей молекулой и т. Д. При этом молекулы исходных веществ объединяются в молекулы сетчатой структуры. Все полимеры с такой структурой относятся к терморезистивным.

В зависимости от поведения полимера при воздействии температуры различают термопластичные и термореактивные полимеры.

Термопластичные (полиэтилен, ПВХ, полистирол)- линейные полимеры, способные обратимо размягчаться при нагреве и отверждаться при охлаждении, сохраняя основные свойства. Переход в вязкотекучее состояние связан с тем, что межмолекулярные силы и водородные связи между цепями полимеров преодолеваются при сравнительно умеренном повышении температуры.

Термореактивными (или реактопластами) называют полимеры, которые будучи отверждены, не переходят при нагреве в пластичное состояние. Такие полимеры при повышении температуры ведут себя подобно древесине - они претерпевают деструкцию (химическое разложение) и загораются (карбамидные полимеры, фенолоформальдегидные, эпоксидные). В пространственных полимерах с жестким каркасом ковалентные связи между цепями имеют прочность того же порядка, что и прочность связей внутри цепи. Для разрыва таких связей тепловым движением требуется высокая температура, которая может вызвать разрыв связей не только между цепями, но и внутри цепей. Разрыв наименее прочных связей, существующих внутри цепей, является началом деструкции полимера. Такой процесс необратим. Эти полимеры являются термореактивными.

К настоящему времени синтезировано несколько тысяч полимеров, но широкое применение в народном хозяйстве нашли только около 20. Рассмотрим основные полимеры, применяемые в строительстве.

По структуре наполнители классифицируются:

Наполнители в твердой фазе

- дисперсные (древесная мука, слюда, графит, сажа, тальк)- повышают твердость и предел прочности при сжатии. Материалы с применением дисперсных наполнителей: графитопласты, саженаполненные каучуки, порошковые amino- и фенопласты, смеси полимеров.

- волокнистые (хлопковые очесы, асбестовые и стеклянные волокна, углеродные волокна)- повышают прочность на изгиб, особенно при ударной нагрузке. Материалы: карбоволокниты, асбопластики, стеклопластики

- листовые (стеклоткань, асбестовая ткань, бумага, шпон, синтетическая ткань)- повышают прочность на растяжение и изгиб. Материалы: стеклотекстолит, асботекстолит, гетинакс, металлопласты

Наполнители в газовой фазе

- воздушные поры- повышают теплоизоляционные свойства. Материалы: сотопласты, пенопласты, поропласты, пластики с полыми наполнителями.

Наполнители могут применяться в клеевых и герметизирующих составах, при этом снижается усадка, достигается рабочая консистенция

(древесная мука, порошки металлов).

При выборе наполнителей необходимо учитывать следующие требования: наполнители не должны растворяться в пластификаторах,

разлагаться при температуре переработки и выделять летучие продукты; не должны содержать вещества, катализирующие разложение полимера; не должны менять цвет в процессе переработки и ухудшать перерабатываемость смеси; поверхность наполнителя должна смачиваться полимером; дисперсность наполнителя должна обеспечивать тесный контакт с вяжущим и его умеренный расход.

Пластификаторы- вещества, добавляемые к полимеру для повышения его высокоэластичности и уменьшения хрупкости и облегчают переработку пластмасс, снижая температуру перехода полимера в вязкотекучее состояние. В качестве пластификаторов используют нелетучие органические жидкости, хорошо совмещающиеся с полимером (глицерин). Молекулы жидкости, проникая между звеньями цепей полимера, увеличивают расстояние и ослабляют связь между ними - это и приводит к уменьшению вязкости полимера. (Пример пластмассы с пластификатором: ПВХ линолеум - мягкий и эластичный, в то же время из ПВХ без пластификатора изготавливают прочные и жесткие трубы, выдерживающие давление воды). Содержание пластификаторов зависит от состава и свойств полимера и колеблется от 5 до 40%.

Стабилизаторы, отвердители, инициаторы.

Стабилизаторы - способствуют сохранению структуры и свойств во времени, предотвращая их старение от воздействия солнечного света, кислорода, нагрева и т. д. По своему действию делят на светостабилизаторы (производные фенолов, газовая сажа, оксид цинка) и термостабилизаторы (соли щелочных металлов, стеарат кальция), соединения свинца (стеарат свинца)). Светостабилизаторы обладают способностью поглощать УФ свет преобразовывать тепловую энергию, что препятствует протеканию цепных реакций под воздействием УФ, приводящих к повышению хрупкости. Термостабилизаторы препятствуют термоокислительной деструкции, происходящей под воздействием температуры.

Отвердители - вещества, с помощью которых осуществляется сшивка линейных молекул олигомеров в сетчатые полимерные молекулы. (эфир изоциановой кислоты)

Инициаторы - ускоряют процесс отверждения

Красители-органические (нигрозин, хризоидин) и минеральные (охра, сурик, белила)

Порообразователи-обеспечивают создание в материале пор (изопентан)

Контрольные вопросы:

- 1 Назовите признаки, по которым классифицируют пластмассы?
- 2 Каковы области применения пластмасс?
- 3 Каковы свойства древесно-слоистого пластика?
- 4 Дайте характеристику карбоволоконитам.
- 5 Классификация резиновых материалов.
- 6 От чего зависит прочность композиционных материалов?

Тема 3 Антифрикционные и фрикционные материалы

3.1 Область применения антифрикционных материалов

Процесс эксплуатации технических агрегатов, машин и отдельных элементных групп оборудования неизбежно сопровождается износом. Взаимное механическое воздействие деталей друг на друга с разной степенью интенсивности приводит к истиранию их поверхностей и разрушению внутренней структуры. К тому же подобное влияние нередко оказывает и окружающая среда в виде эрозии и кавитации. Как результат, наблюдается потеря работоспособности техники или как минимум снижение эксплуатационных свойств.

Антифрикционные сплавы представляют собой группу материалов, которые обладают небольшим коэффициентом трения или способны понизить его у других композитов. Твердые смазочные источники устойчивы к изнашиванию при длительном использовании. Ими покрывают различные трущиеся поверхности. Для этого используют фторопласт, латунь, бронзу, железистографит и баббит.

Представленные ниже обзоры порошковых фрикционных и антифрикционных материалов помогут разобраться со способами, позволяющими минимизировать нежелательное трение. Такие материалы рекомендуются к использованию и для промышленного оборудования, и бытовой техники, а также для строительного инструмента.

Рассмотрение данных материалов в одном контексте обусловлено тем, что их функция связана с общей характеристикой работы механизмов – коэффициентом трения.

Но если антифрикционные элементы и добавки отвечают за понижение данного значения, то фрикционные – напротив, повышают его.

При этом, например, порошковые сплавы с повышенным коэффициентом трения обеспечивают сопротивление износу и механическую прочность целевой рабочей группы. Для достижения таких качеств в состав фрикционного сырья вносятся тугоплавкие оксиды, карбиды бора, кремния и др. В отличие от антифрикционных элементов, фрикционные нередко представляют собой и полноценные функциональные органы в механизмах. Это, в частности, могут быть тормоза и муфты.

Обеспечивая задачи повышения трения, они параллельно выполняют и конкретные технические задачи.

Детали с антифрикционной функцией должны соответствовать широкому комплексу требований, определяющих их основные рабочие качества.

В первую очередь материал должен быть совместимым и с сопряженной деталью, и с рабочей средой. В условиях совместимости до и после приработки материал обеспечивает необходимую степень понижения трения. Здесь же надо отметить прирабатываемость как таковую. Это

свойство определяет способность элемента естественно корректировать геометрию поверхности под оптимальную форму, которая подходит для конкретного места эксплуатации. Иными словами, с детали стирается лишняя структура с микронеровностями, после чего приработка обеспечит условия работы с минимальными нагрузками. –

Износостойкость – тоже немаловажное свойство, которым обладают данные материалы.



Рисунок 9 – Детали, изготовленные из антифрикционных материалов

Антифрикционные элементы должны иметь структуру, которая обеспечивает сопротивление разным видам изнашивания. В то же время деталь не должна быть чрезмерно жесткой и твердой, поскольку в этом случае увеличится риск заедания, что нежелательно для антифрикционного материала. Более того, технологи выделяют такое свойство, как поглощение твердотельных частиц. Дело в том, что трение в разной степени может способствовать выделению мелких элементов – нередко металлических. В свою очередь, антифрикционная поверхность обладает способностью «вдавливаться» в себя такие частицы, устраняя их из рабочей области.

3.2 Металлические антифрикционные материалы

Изделия на металлической основе составляют наиболее обширный спектр элементов антифрикционной группы. Основная их часть ориентируется на эксплуатацию в режиме жидкостного трения, то есть в условиях, когда подшипники разделяются с валами тонкой масляной прослойкой. И все же при остановке и пуске агрегата неизбежно возникает так называемый граничный режим трения, при котором масляная пленка может разрушаться под действием высоких температур.

Металлические детали, используемые в подшипниковых группах, можно подразделить на два типа: элементы с мягкой структурой и твердотельными вставками и сплавы с жесткой основой и мягкими вставками.

Если говорить о первой группе, то в качестве антифрикционных материалов можно использовать баббиты, латунные и бронзовые сплавы.

Благодаря мягкой структуре они быстро прирабатываются и длительное время сохраняют характеристики масляной пленки. С другой стороны, твердотельные включения обуславливают повышенную износостойкость при механических контактах со смежными элементами – например, с тем же валом. Под баббитами подразумевают сплав, основу которого формирует свинец или олово. Оловянный баббит. Характеризуется отличными антифрикционными свойствами; не является хрупким материалом, что имеет огромное значение при изготовлении агрегатов с трущимися и скользящими элементами; в основном это подшипники различных видов и типов. Баббит обладает высокой коррозионной стойкостью, а также износоустойчивостью и теплопроводностью. При сохранении всех этих качеств он имеет более низкий коэффициент линейного расширения. Область применения :для заливки подшипников ответственного назначения, когда от антифрикционного материала требуются минимальный коэффициент трения, высокая износостойкость и вязкость, работающих при больших скоростях и средних нагрузках, а именно:

- подшипники турбин;
- крейцкопфные подшипники;
- мотылевые и рамовые подшипники;
- подшипники малооборотных дизелей;
- опорные подшипники гребных валов.

Также ради улучшения отдельных качеств в структуру могут добавляться легирующие сплавы. В числе повышаемых свойств можно отметить коррозионную стойкость, твердость, вязкость и прочность. Изменение той или иной характеристики определяется тем, какие использовались легирующие материалы. Антифрикционные баббиты могут модифицироваться кадмием, никелем, медью, сурьмой и т. д. Например, стандартный баббит содержит порядка 80% олова или свинца, 10% сурьмы, а остальное приходится на медь и кадмий.

Определенные марки баббиты включают в себя такие добавки как медь, сурьма, мышьяк, никель, кадмий, теллур, натрий, кальций, магний и др. Баббит отличается низкой температурой плавления в рамках 300 - 440°C, хорошей перерабатываемостью.

Различают такие баббиты как:

- оловянные
- кальциевые
- свинцовые

Баббит, в основу которого входит олово (Б83, Б88, Б83С, SAE11, SAE12, ASTM2), применяют в тех случаях, когда от антифрикционного материала требуются минимальный коэффициент трения, повышенная вязкость. Оловянный баббит если сравнивать со свинцовым отличается высокой износостойкостью, коррозионной стойкостью, и теплопроводностью.

Баббиты на основе свинца (SAE13, SAE14, ASTM7, SAE15, ASTM15, B16, БН, БСб, БКА, БК2, БК2Ш,) отличаются более высокой рабочей температурой, чем на основе олова. Такие баббиты используются для подшипников прокатных станков, дизельных двигателей.

Ряд чугунов имеет высокие антифрикционные свойства, которые определяются в значительной степени строением графитовой составляющей. Чугун с глобоидальной формой графита и с толстыми пластинками более износостоек, чем чугун с тонкими пластинками. В структуре антифрикционного чугуна желательнее иметь минимальное количество свободного феррита (не более 15%) и должен отсутствовать свободный цементит.

3.3 Свинцовые антифрикционные сплавы

Начальный уровень антифрикционных сплавов представляют свинцовые баббиты. Ценовая доступность определяет специфику эксплуатации данного материала – в наименее ответственных рабочих функциях. Свинцовая основа в сравнении с оловом обеспечивает баббитам менее высокую механическую стойкость и низкую коррозионную защиту.

Правда, и в таких сплавах не обходится без олова – его содержание может достигать 18%. Кроме того, вносится в состав и медный компонент, который предотвращает процессы ликвации – неравномерное распределение разных по массе металлов в объеме изделия. Простейшие свинцовые материалы с антифрикционным свойством характеризуются высокой степенью хрупкости, поэтому их используют в условиях с пониженными динамическими нагрузками.

В частности, подшипники для путевых машин, тепловозов и элементы тяжелого машиностроения составляют целевую нишу, где применяются такие материалы.

Антифрикционные сплавы с применением кальция можно назвать модификацией свинцовых сплавов. В данном случае отмечаются такие качества, как высокая плотность и низкая теплопроводность. Основу также представляет свинец, но в существенных долях его также дополняют включения натрия, кальция и сурьмы. Что касается слабых мест этого материала, то к ним относится окисляемость, поэтому в химически активных средах его использовать не рекомендуют.

Говоря в целом о баббитах, можно констатировать, что это далеко не самое эффективное решение для минимизации трения, но по совокупности качеств оно оказывается выгодным с точки зрения эксплуатации. Это материалы, антифрикционные свойства которых могут нивелироваться пониженным сопротивлением усталости, ухудшающим работоспособность элемента. Тем не менее, в ряде случаев недостаток прочности восполняется включением в конструкцию стальных или чугунных корпусов.

3.4 Бронзовые антифрикционные сплавы

Физико-химические свойства бронзы органично сочетаются с требованиями для антифрикционных сплавов. Данный металл, в частности, обеспечивает достаточные показатели удельного давления, возможность эксплуатации в условиях ударных нагрузок, высокую скорость вращения подшипника и т. д. Но также выбор бронзы для тех или иных функций будет зависеть от ее марки. Тот же формат эксплуатации вкладышей при ударных нагрузках приемлем для марки БрОС30, но не рекомендуется для БрАЖ. Есть и различия в классе бронзовых материалов по механическим свойствам. Данная группа качеств будет зависеть от характера сопряжения с закаленными валами и от использования цапфы, которая может иметь дополнительное упрочнение. И вновь нельзя говорить о монолитности структуры сплава. Бронзовые изделия могут также включать олово, латунь, свинец.

При этом, если все перечисленные металлы могут использоваться в качестве основы баббита, антифрикционные материалы на основе меди применяются крайне редко.

В данном случае медный компонент чаще выступает как та же добавка с коэффициентом содержания 2-3%. Оптимальными считаются оловяно-свинцовые комбинации включений. Они обеспечивают достаточные показатели сплава как антифрикционного компонента, хотя и проигрывают другим составам в отношении механической прочности. Комбинированные бронзовые материалы используют в изготовлении монолитных подшипников для электродвигателей, турбин, компрессорных установок и других агрегатов, которые работают при высоком давлении и малой скорости скольжения.

3.5 Антифрикционные полимерные материалы

Современное полимерное сырье дает возможность получать новые технико-эксплуатационные качества для деталей, понижающих трение. В качестве основы могут использоваться и композитные сплавы, и металлопластиковые порошки. Одним из главных отличительных свойств таких материалов является способность равномерно распределять добавки по всей структуре, которые в дальнейшем будут выполнять функцию твердой смазки. В списке таких веществ отмечают графиты, сульфиды, пластики и другие соединения. Рабочие свойства полимерных и антифрикционных материалов во многом сходятся и на базовом уровне без использования модификаторов: это и малый коэффициент трения, и стойкость к химически активным средам, и возможность эксплуатации в водной среде. Если говорить об уникальных качествах, то полимеры могут выполнять свои задачи даже без подкрепления специальной смазкой. Применение материалов для защиты от трения Большая часть антифрикционных элементов изначально рассчитывается на использование в подшипниковых группах. Среди них и детали, рассчитанные на повышение износостойкости, и компоненты, улучшающие скольжение. В машино- и станкостроении такие

изделия применяют в изготовлении двигателей, поршней, узлов сцепки, турбин и т. д. Здесь же основу расходников составляют антифрикционные материалы подшипников скольжения, которые внедряются в структуру ходовой и стационарной техники.

Триметаллические вкладыши применяются на карбюраторных двигателях, где обычные баббитовые вкладыши малостойки из-за пониженной усталостной прочности баббита. Для обеспечения прочности сцепления баббита со стальной основой между ними наносят методом порошковой металлургии промежуточный слой, способный диффундировать при высоких температурах в стальную основу. Подслоем образует на стальной основе металлокерамический пористый скелет, обладающий чрезвычайно развитой пористой поверхностью, что обеспечивает хорошую пропитку жидким баббитом.

Триметаллические вкладыши изготовляют так, чтобы на поверхности стальной ленты получился промежуточный пористый слой из смеси порошков меди и никеля, который пропитывают баббитом.

Строительная отрасль тоже не обходится без антифрикционной функции. С помощью таких деталей укрепляются инженерные сооружения, монтажные конструкции и кладочные материалы. В строительстве железных дорог их используют при монтаже конструктивных элементов подвижного состава. Распространено и применение антифрикционных материалов на полимерной основе, которые находят свое место, например, в качестве связующей структуры шкивов, зубчатых колес, ременных передач и т. д.

Задача снижения трения лишь на первый взгляд может казаться вторичной и зачастую необязательной. Совершенствование смазочных жидкостей действительно позволяет избавлять некоторые механизмы от вспомогательных технических элементов, сокращающих износ основной рабочей группы. Переходным звеном от классических баббитов к модифицированной высокоэффективной смазке можно назвать антифрикционные полимерные материалы, отличающиеся более мягкой структурой и универсальностью с точки зрения условий работы. Тем не менее, работа металлических деталей при высоком давлении и физическом воздействии по-прежнему требует включения твердотельных антифрикционных вкладышей. Причем этот класс материалов не просто не уходит в прошлое, но и развивается за счет улучшения характеристик прочности, твердости и механической устойчивости.

В отрасли машиностроения из антифрикционных материалов изготавливают втулки для направляющих роликов в пилораме (работают без смазочных материалов), направляющие скольжения в ленточной пилораме (вместо бронзовых), направляющие для прессы без смазки, для горизонтально-расточного, токарного и шлифовального станков. Кроме того производят ходовые гайки, шестерни, сепараторы и кольца шарикоподшипников.

Направляющие скольжения в металлообрабатывающих станках является прекрасным заменителем бронзовых соединений. Износ первоначально используемых материалов слишком высок, поэтому необходимо вещество с антифрикционными свойствами и износостойкостью. Обладая хорошей склеиваемостью, направляющие скольжения заменяют детали из бронзы, продлевая срок службы.

В горизонтально-расточных станках ранее применялись направляющие из эпоксидной смолы. Они имели ряд недостатков: работали рывками, требовали больших затрат и быстро изнашивались. Эта проблема решена внедрением деталей из антифрикционных материалов, благодаря чему была достигнута высокая точность направления, повысилась нагрузочная способность, снизился уровень износа.

Для автомобилей из антифрикционных материалов делают линейные направляющие скольжения; прежний материал издавал шум, поддавался коррозии. Благодаря применению ZX-530 повысился срок эксплуатации, снизилась шумовая нагрузка.

Изготавливают направляющие втулки для телескопических цилиндров. Бронзовый композит в таких изделиях быстро деформировался и изнашивался. В лентах подшипника используется ZX-100К, что обеспечивает износостойкость и низкую себестоимость.

В опорах трехстороннего самосвала подшипники находятся в труднодоступном месте, их неудобно обслуживать. Вместо них применяется сферический подпятник из ZX-324, который работает без смазки и снижает расходы на техобслуживание.

3.6 Порошковые фрикционные материалы

Такие материалы используются в составах, предназначенных для передаточных и тормозных узлов гусеничной техники, автомобилей, станков, строительных механизмов и т. д. Готовые изделия на основе порошковых компонентов выпускаются в форме секторных накладок, дисков и колодок. В то же время исходные материалы для антифрикционного типа порошковых сплавов формируются той же номенклатурой, что и в случае с фрикционными компонентами, – чаще всего используют железо и медь, но существуют и другие комбинации.

Например, материалы из алюминиевых и оловянистых бронз, в состав которых входят графит и свинец, эффективно себя проявляют в условиях трения при скорости скольжения деталей порядка 50 м/с. К слову, при работе подшипников на скорости 5 м/с металлические порошковые изделия могут заменяться металлопластмассовым сырьем.



Рисунок 10– Тормозные накладки, изготовленные из порошковых фрикционных материалов

Это уже антифрикционный композиционный материал с гибкой рабочей структурой и пониженной прочностью. Наиболее же выгодными в плане использования в условиях повышенных нагрузок считаются материалы из железа и меди. В качестве добавок используется графит, кремниевый оксид или барий. Работа данных элементов возможна при давлении 300 МПа и скорости скольжения до 60 м/с. Порошковые антифрикционные материалы.

Из порошкового сырья производятся и антифрикционные изделия. Они характеризуются высокой износостойкостью, пониженным коэффициентом трения и способностью быстрой приработки к валу. Также антифрикционные порошковые материалы имеют целый ряд преимуществ по сравнению со сплавами, минимизирующими трение. Достаточно отметить, что показатели их износостойкости в среднем выше, чем у тех же баббитов.

Пористая структура, сформированная порошковыми металлами, дает возможность эффективной пропитки смазочными средствами. Изготовители имеют возможность формировать конечные изделия в разных видах. Это могут быть каркасные или матричные детали с промежуточными полостями, заполненными другим смягченным сырьем. И, напротив, в некоторых сферах больше востребованы антифрикционные порошковые материалы, имеющие мягкотельную каркасную основу. В специальных сотах предусматриваются твердые включения разного уровня дисперсности. Данное качество имеет большое значение именно с точки зрения возможности регуляции параметров, определяющих интенсивность трения деталей.

Контрольные вопросы:

- 1 Какие требования предъявляются к антифрикционным материалам?
2. Какая структура у оловянного баббита Б-83?
3. Сравните свойства оловянного и свинцового баббита.
4. Опишите триметаллические вкладыши.
5. Какие бронзы применяются в качестве антифрикционного материала?
6. Какие вы знаете антифрикционные сплавы на основе алюминия?
7. Что выполняет роль мягкой составляющей в антифрикционных чугунах?
8. Из каких компонентов состоят порошковые антифрикционные сплавы?
9. Как можно улучшить свойства порошковых антифрикционных материалов?
- 10 Что представляют собой фрикционные материалы
- 11 Сфера использования фрикционных материалов

Тема 4 Адгезивные материалы

4.1 Классификация адгезивных материалов

Сокращение сроков, уменьшение трудоемкости, себестоимости сборки узлов с прокладками и повышение качества герметизации является важным условием технического прогресса в машиностроении. Особое значение эта проблема приобретает в условиях единичного и серийного производства, характеризующихся большой номенклатурой, малыми партиями на каждый типоразмер прокладок, частой сменой объекта сборки. Использование традиционных твердых прокладок требует применения дорогостоящего оборудования, высокой квалификации рабочих, точности и качества выполнения соединений, трудоемкости обработки на стадии эксплуатации, технического обслуживания и ремонта. Одним из решений указанных задач является применение адгезивов.

Под адгезивом следует понимать клейкие материалы, образующие адгезионные связи с поверхностью твердого тела. К ним относятся клеи, герметики, мастики, грунтовки, пластизоли, шпаклевки. Условно все применяемые адгезивные материалы можно разделить на термореактивные и термопластичные. Термореактивные адгезивы при отверждении переходят в необратимое нерастворимое и неплавкое состояние. Термопластичные адгезивы после образования соединения сохраняют способность к повторному применению под воздействием температуры.

Несмотря на долгую историю использования адгезивов, до настоящего времени, не создано единой теории адгезии, объясняющей механизм и причины создания адгезивных соединений и связей внутри них. Адгезионные явления лежат на стыке многих классических наук — физики, химии, механики. Отдельно друг от друга разрабатывались теории прочности и теории адгезионного взаимодействия.

Эти соединения применяются на заключительной стадии производства изделия — сборке. Уровень выполнения сборочных работ обуславливает качественный уровень всего изделия, а следовательно влияет и на ее себестоимость. От качественного выполнения герметичного соединения зависят эксплуатационные характеристики изделия, долговечность, экологическая безопасность и непосредственно здоровье обслуживающего персонала.

Герметизация соединений с помощью адгезивов имеет ряд несомненных преимуществ. Только адгезивы способны заполнить все микронеровности на поверхности контакта герметизируемого стыка, устраняя тем самым возможность утечки герметизируемой среды по неплотностям прилегания уплотнения. Адгезивные уплотнения обладают способностью вибро- и шумопоглощения, способностью изменять цвет за счет введения наполнителей, улучшая тем самым дизайн конструкции. В отличие от большинства традиционных твердых прокладок (резина, фибра, паронит, фторопласт, металл и др.), адгезивные прокладки можно наносить в режиме безотходного производства. Мировой опыт применения адгезивных

уплотнений позволяет говорить о том, что адгезивные уплотнения можно наносить непосредственно на месте сборки с низкой трудоемкостью процесса и не тратя средства на их транспортировку и хранение.

Однако, в настоящее время, еще мало изучены возможности различных адгезивных материалов для создания герметичных разъемных соединений.

Большинство адгезивов разрушается при разборке таких соединений или число разборок ограничено. Термореактивные адгезивы давно применяются для создания герметичных неразъемных соединений. В разъемных соединениях такие материалы не применяются из-за необратимости процесса отверждения. Термопластичные адгезивы занимают около 5% от общего применения адгезивов в машиностроении и их свойства в области герметизации мало изучены, что мешает широкому внедрению в промышленность. Для внедрения в промышленность адгезивных уплотнений существует потребность подобрать такой адгезив, чтобы стало возможным разработать с его применением технологический процесс сборки, позволяющий соединить преимущества адгезивов с необходимостью многократной разборки герметичного соединения без замены адгезивного уплотнения.

4.2 Клеящие материалы

Клеящие материалы это жидкие, пастообразные или твердые вещества, составы и композиции. При их высыхании или отверждении в зазоре между соединяемыми поверхностями образуется клеевой слой. Прочность соединения определяют два основных его свойства:

- адгезия – слипание соединительного слоя со склеиваемыми поверхностями;

- когезия – сцепление частиц внутри клеевого слоя после его отверждения.

Клеи в основном используются для соединения и фиксации в определенном положении деталей и элементов конструкций.

Клеи-компаунды предназначены для заливки поврежденных мест.

Клеи-шпатлевки обладают повышенной прочностью после отверждения, поэтому возникло название – “холодная сварка”.

Клеи-герметики обладают свойствами и клеев, и герметиков.

Герметики применяются для обеспечения непроницаемости (герметизации) стыков узлов, агрегатов и кузовных деталей. Отличие герметиков от клеев заключается не в их составе и свойствах, а в назначении.

Герметики-прокладки предназначены для ремонта «штатных» или формирования взамен их новых прокладок.

Герметики-фиксаторы используются для герметизации резьбовых соединений и исключения возможности самоотвинчивания.

Современные клеи и герметики, как правило, состоят из полимерной основы с различными добавками:

- отвердители, инициаторы и катализаторы обеспечивают быстрое и полное отверждение;

- наполнители (органические и неорганические) улучшают свойства клеевого слоя, а также снижают величину усадки при отверждении.

Расфасовка клеев и герметиков производится в зависимости от их свойств и назначения:

- жидких и пастообразных – в банки, флаконы, шприцы-дозаторы (одинарные или сдвоенные), аэрозольные баллоны и пластмассовые или алюминиевые тубики.

У флаконов и тубиков часто имеется съемный конический дозатор (его кончик срезается до отверстия нужного диаметра).

Для профессионального применения предназначены «колбаски» и «картриджи». Для них требуется специальное выдавливающее ручное или пневматическое приспособление, иногда именуемое «пистолет-аппликатор».

- твердых – в виде брикетов в пластмассовых оболочках, а также как свернутые или намотанные на катушку шнуры или ленты.

Однокомпонентные материалы размещаются в единой упаковке и сразу готовы к применению. Двухкомпонентные перед использованием требуют смешивания отдельно упакованных частей в определенной пропорции. Для подготовки поверхности перед нанесением клея или герметика могут использоваться вспомогательные материалы:

очистители – обеспечивающие надлежащую очистку поверхности;

«праймеры» – ускоряющие отверждение, усиливающие адгезию и повышающие долговечность соединения;

специальные активаторы – обеспечивающие полное отверждение и повышение прочности клеевого слоя.

Когда предварительная обработка этими материалами обязательна, они прикладываются в отдельной упаковке в комплект к клею или герметику⁹. Порядок применения должен быть указан в инструкции.

Цианакриловые (цианакрилатные) клеи быстрого отверждения используются для металлов, керамики, кожи, резины и пластмасс. Они не содержат растворителей, не вызывают коррозии и отличаются коротким временем схватывания – от нескольких секунд до 1–3 минут. Активатором отверждения является влага, содержащаяся в атмосфере и в микроскопических количествах имеющаяся на склеиваемых поверхностях.

Эти клеи удобны при использовании, так как являются однокомпонентными и хорошо приспособлены для склеивания мелких деталей. Наилучший результат достигается при нанесении клея на одну из поверхностей с последующим плотным сжатием. Надежное соединение обеспечивается при хорошем прилегании деталей (зазор не более 0,25мм).

Некоторые цианакрилатные клеи могут использоваться вместо пайки. Для этого в них добавляют специальные связующие вещества, обеспечивающие достаточную электропроводность клеевого слоя. Такие клеи используются, например, для ремонта поврежденных нитей обогрева заднего стекла автомобиля.

Для склеивания деталей, находящихся под постоянным воздействием во-

ды, цианакриловые клеи непригодны. Они не могут склеивать полиэтилен, фторопласт (тефлон) и полипропилен.

Модифицированные акриловые клеи предназначены для склеивания металлов, стекла, керамики, стеклотекстолита, некоторых пластмасс и различных сочетаний этих материалов. Используются, в частности, для приклеивания зеркала заднего вида к внутренней стороне лобового стекла.

Эти клеи являются двухкомпонентными и отверждаются только с помощью специальных активаторов. Активатор наносится на поверхность до клея или иногда может предварительно смешиваться с ним. В некоторых случаях компоненты наносят отдельно в виде параллельных полос.

Акриловые клеи ультрафиолетового отверждения в основном предназначены для соединения металлов со стеклом и стекол между собой. В частности, такие клеи применяются для крепления на лобовом стекле автомобиля кронштейна зеркала заднего вида. Они являются однокомпонентными и содержат специальные добавки – фотоинициаторы. Отверждение клея происходит только после облучения ультрафиолетовым светом от источника с определенной длиной волны. Полимеризация при этом происходит в течение нескольких секунд, но только в зоне облучения, что возможно при склеивании прозрачных материалов.

Для непрозрачных материалов применяют клеи с вспомогательными способами полимеризации. При этом вначале схватывается только облучаемый светом периметр клеевого шва – происходит поверхностная полимеризация. Далее, благодаря специальным добавкам, реакция распространяется по всему слою клея и он полностью отверждается.

Полиуретановые клеи предназначены для склеивания в любых сочетаниях большинства видов пластмасс, бумаги, тканей, резины, искусственной и натуральной кожи, волокнистых материалов и т.д. Обладают очень высокой адгезией, эластичностью и водостойкостью. Применяются, например, в виде клеев-герметиков для вклейки автомобильных стекол.

Выпускаются:

-однокомпонентными – при этом в своем составе содержат инициаторы отверждения.

-двухкомпонентными – компоненты смешивают непосредственно перед применением; жизнеспособность образующихся при этом составов в основном от 30 минут до 3 часов.

Продолжительность отверждения клеевого слоя от нескольких часов до двух суток при комнатной температуре или от 2 до 6 часов при температуре от 60 до 120°C. Для повышения прочности соединения склеиваемые поверхности предварительно обрабатывают соответствующими очистителями и праймерами.

Полиуретановые клеи стойки к действию масел, топлив, плесневых грибов, имеют хорошую адгезию к большинству используемых в автомобилях материалов. Особенно высокими механическими свойствами характеризуются клеевые соединения «горячего» отверждения. Эпоксидные клеи с различ-

ными наполнителями и без них применяются для склеивания металлов, пластмасс, дерева, стекла, керамики, а также металлов с пластмассами и деревом. Для склеивания стекла, фарфора, керамики и приклеивания их к металлам употребляются клеи без наполнителей. Это одна из самых распространенных групп клеев, включающих в себя различные составы и композиции – от универсального клея ЭДП до специальных ремонтных эпоксидных компаундов с наполнителями (так называемые «жидкая сталь», «жидкий алюминий» и т.д.). Клеи этого типа обладают хорошей адгезией и могут использоваться для соединения нагруженных деталей, но не подвергаемых вибрационным нагрузкам.

Большинство *эпоксидных материалов* двухкомпонентные, они отверждаются после смешивания за время от нескольких минут до одного часа, в зависимости от их состава, свойства применяемых отвердителей и температуры.

Эпоксидные составы могут быть и одноупаковочными. В этом случае отверждение происходит под воздействием содержащихся в них специальных активаторов.

В частности, это твердые «холодные сварки», требующие промешивания перед использованием.

Анаэробные клеи способны длительное время не изменять свои свойства на открытом воздухе, но быстро отверждаются при контакте с активной металлической поверхностью в отсутствие доступа воздуха. Оба эти условия обеспечиваются в узких зазорах, поэтому анаэробные клеи широко используются для:

- фиксации и герметизации резьбовых соединений;
- закрепления неподвижных деталей;
- восстановления посадочных мест подшипников;
- заделки трещин в корпусных деталях;
- заполнения раковин и других дефектов сварных швов, а также пор литья;
- ремонта бескамерных шин.

Максимальный заполняемый зазор в зависимости от свойств клея, в частности его вязкости, может быть от 0,1 до 0,6 мм. Благодаря хорошей проникающей способности, наиболее жидкие анаэробные составы хорошо заполняют даже очень узкие трещины (с шириной до 0,05–0,07мм). Время отверждения зависит от величины заполняемого зазора, материала склеиваемых поверхностей и их состояния. Оно составляет от 15 до 30 минут при температуре от 15 до 35°C. Полное отверждение, как правило, наступает через 24 часа.

Различают две группы наиболее распространенных материалов, влияющих на время отверждения при контакте с клеем:

-активные, ускоряющие процесс, – медь и ее сплавы, никель, латунь, бронза, малоуглеродистые стали;

-пассивные, замедляющие процесс, – высокоуглеродистые и нержавеющие стали, алюминий, титан и его сплавы, олово, цинк, металлы с антикоррозионными и оксидными покрытиями, пластмассы, стекло и керамика.

Для ускорения склеивания «пассивных» материалов применяют специальные активаторы. Их наносят на одну или обе поверхности до клея. Предварительно смешивать активатор и клей нельзя.

Прочность клеевого слоя (в зависимости от назначения) может быть высокой, средней и низкой. Некоторые производители обозначают ее цветом на упаковке, например:

- красный – высокая;
- голубой – средняя;
- фиолетовый – низкая.

В неразборных соединениях применяют анаэробные клеи с максимальной прочностью, а в часто разбираемых – с минимальной. В случае затруднения при разборке рекомендуется предварительно нагреть соединение до температуры 150–300°C.

Хранение анаэробных клеев возможно только в контакте с воздухом, поэтому при фасовке емкости заполняют только частично или применяют проницаемую для воздуха тару.

Резиновые клеи (эластомеры) применяются для склеивания резины с металлом, стеклом, кожей, деревом, тканью, пластмассой и другими материалами.

Они отверждаются вследствие испарения растворителя, а также в результате «горячей» (при температуре выше 100°C) или «холодной» (при комнатной температуре) вулканизации.

Клеи получают растворением различных каучуков, в том числе полиуретановых, в органических растворителях – бензине, ацетоне, этилацетате и т.д. Самовулканизирующиеся клеи состоят из компонентов, смешиваемых перед его применением:

- каучука или составов на его основе;
- вулканизирующих добавок.

Основные характеристики клеевых соединений (прочность при отрыве, стойкость к действию агрессивных сред, влаги, тепла, холода и т.д.) зависят, главным образом, от свойств используемого каучука.

Клеи для пластмасс должны иметь полимерную основу, близкую по химической природе материалу склеиваемых деталей.

Это позволяет получить наиболее прочные соединения.

Для склеивания некоторых пластмасс применимы универсальные клеи, например эпоксидные и полиуретановые, но прочность клеевого шва будет ниже.

Подготовка соединяемых поверхностей при склеивании полимерных материалов имеет большее значение, чем в других случаях.

Мойка, удаление старых покрытий, обеспечение необходимой шероховатости (так называемая «шероховка») и обезжиривание органическими растворителями должны производиться строго по инструкции.

Термопластичные клеи, изготавливаемые на основе термопластов, используются в основном для склеивания пластмасс и других неметаллических

материалов в ненагруженных соединениях.

Могут использоваться для соединения металлов между собой, с пластмассами, резиной и т.д., но отличаются невысокой термостойкостью.

Их выпускают в твердом состоянии или в виде растворов различных полимеров в органических растворителях.

Отверждение происходит в результате испарения растворителей или при охлаждении после расплавления.

4.3 Герметики

«Силиконовые» герметики применяются для ремонта поврежденных и создания (формирования) прокладок взамен полностью вышедших из строя (картонных, резиновых, пробковых, паронитовых и т.д.).

Кроме того, ими герметизируют оптические элементы (фар, фонарей) и неподвижные соединения окон и люков автомобиля.

Силиконовые герметики изготавливаются на основе кремнийорганических (силоксановых или фторсилоксановых) каучуков. Они способны под воздействием атмосферной влаги и вулканизирующих добавок отверждаться и приобретать упругость подобно резине. Эти герметики могут заполнять зазоры до 6 мм, при этом наличие неровностей на сопрягаемых поверхностях компенсируется эластичностью уплотняющего слоя. Обычные силиконовые герметики могут использоваться в соединениях, имеющих рабочую температуру до 200–250°C, термостойкие до 300–350°C, а термостойкие с медным наполнителем до 375°C.

Силиконовые герметики не обладают стойкостью к бензину – их нельзя применять для ремонта карбюраторов, бензопроводов, других узлов и деталей системы питания топливом. Некоторые виды этих герметиков разрушаются в среде этиленгликоля (тосола) и моторных масел. Использовать герметики для ремонта прокладок автоматических коробок передач категорически запрещается, так как попадание герметика внутрь может привести к серьезной поломке.

Полиуретановые герметики используются в качестве формователей прокладок и для герметизации швов и стыков кузовных деталей автомобилей. По свойствам такие герметики близки к полиуретановым клеям (см. выше), поэтому обладают высокой адгезией и непригодны для разборных соединений.

Анаэробные герметики (свойства: см. «анаэробные клеи») применяются для герметизации резьбовых соединений, фланцев и плоских стыков вместе с обычными прокладками или вместо них. В отличие от силиконовых герметиков обладают достаточной стойкостью в среде моторного масла, бензина, дизельного топлива и этиленгликоля. Могут использоваться в соединениях, рабочая температура которых не превышает 80–150°C, в редких случаях – 175°C.

Термостойкие герметики предназначены для ремонта деталей выпускной системы, работающих при воздействии отработавших газов в условиях виб-

рации и механических нагрузок. Могут быть твердыми (одна из разновидностей «холодных сварок») или пастообразными и иметь керамический наполнитель. Наносятся на очищенные от масла и ржавчины и высушенные поверхности. В некоторых случаях требуется выдержка в течение 12 часов.

Залог успеха при ремонте автомобиля с использованием клеев и герметиков – правильно выбрать и, что еще важнее, правильно применить необходимый состав.

До проведения работ желательно определить:

- характер повреждения и необходимость в дополнительных элементах (заплаты, заглушки, крепеж и т.д.);
- из каких материалов изготовлены детали, подлежащие склеиванию;
- площадь склеиваемой поверхности и требуемый расход материалов;
- условия работы клеевого соединения (действующее на него усилие, температура, давление, вибрация и т.д.);
- характер окружающей среды (наличие бензина, моторного и других масел, этиленгликоля, воды и т.д.).

При выборе клея или герметика следует внимательно изучить инструкцию и определить:

- соответствие материала условиям и целям ремонта (нет ли противопоказаний);
- необходимость применения дополнительных материалов – специального активатора и (или) праймера;
- потребность во вспомогательных материалах (моющих веществах, растворителях, наждачной бумаге, липкой малярной ленте и т.д.);
- потребность в инструменте (кисти, шпатели, пистолет-аппликатор и т.д.);
- жизнеспособность готового к работе материала (время его отверждения, исключающего возможность применения);
- требования по подготовке поверхностей;
- способы удаления излишков клея или герметика;
- количество материалов, необходимых для выполнения ремонта по рекомендуемой технологии склеивания или герметизации.

Контрольные вопросы:

- 1 Какие материалы относятся к адгезивным ?
- 2 Классификация адгезивов
- 3 Какие свойства клеящих материалов определяют прочность соединения?
- 4 Герметики. Классификация, Сфера применения. Основные требования.
- 5 Что представляет собой «Холодная сварка»?
- 6 Каким образом следует выбирать клей или герметик?
- 7 Какие группы наиболее распространенных материалов, влияющих на время отверждения при контакте с клеем, Вы знаете?

Тема 5 Композиционные материалы

5.1 Классификация композиционных материалов

С каждым годом применение композиционных материалов в промышленности увеличивается, следовательно, и масштабы их производства увеличиваются. Кроме того, разрабатываются новые виды композитов, с улучшенными механическими, физическими и другими свойствами и качествами.

Композиционный материал (КМ) — это материал, состоящий из двух и более компонентов: матрицы (связующего) и армирующих элементов (наполнителей). Современную эпоху можно назвать веком композиционных материалов, классификация которых огромна и представлена на рисунке 11.

Компонент, непрерывный во всем объеме композиционного материала, называется матрицей, а композит, прерывистый и разъединенный в объеме, называется арматурой или армирующим элементом. Понятие «армирующий» означает «введенный в материал с целью изменения его свойств»

Технический прогресс вызывает необходимость создания высокоэффективных конструкционных полимерных материалов, с заданными физико-механическими свойствами, используемых в машиностроении.

Новые материалы, появляющиеся вследствие стремления к совершенствованию существующих изделий машиностроения, открывают широкие возможности для реализации перспективных конструктивных решений, технологических процессов и разработки эффективных методов прогнозирования. От степени точности прогнозирования параметров композиционных материалов (КМ), используемых в различных условиях нагружения, зависят надёжность, долговечность и другие эксплуатационные свойства получаемых из них изделий. В этой связи, разработка новых моделей прогнозирования, основанных на современных теориях кластерообразования, перколяции, бифуркации, структурно-фазовых переходов является своевременной и перспективной.



Рисунок 11- Классификация композиционных материалов

В настоящее время прогресс в машиностроении неразрывно связан с разработкой и широким внедрением конструкционных полимерных композиционных материалов (ГЖМ) в производство.

ПКМ обладают комплексом физико-механических свойств, выгодно отличающихся от традиционных конструкционных материалов (металлов, сплавов, бетона, дерева) и в совокупности открывают широкие возможности для совершенствования существующих материалов и изделий машиностроения.

Полимерные композиты широко используются для изготовления конструкционных материалов и изделий, обладающих высокими деформационно-прочностными свойствами.

В связи с этим, возникла необходимость в разработке новых точных методов прогнозирования их свойств, что позволит в дальнейшем создавать качественно новые материалы для изделий машиностроения. Поэтому реальной представляется возможность проектирования эффективных материалов на основе адекватных прогностических моделей, позволяющих с высокой степенью точности прогнозировать свойства вновь создаваемых КМ.

Общепризнанным является представление о полимерных композитах, как о многокомпонентных и многофазных гетерогенных системах. При этом в ПКМ могут одновременно формироваться неаддитивные свойства (например, одновременно высокие упругие и демпфирующие показатели), не присущие составляющим компонентам (наполнителям, матричным связующим, пластифицирующим и модифицирующим добавкам)

полимерных композитов в отдельности. Данная особенность эффективно используется при создании конструкционных композитов с высокими упругими свойствами, применяемых в машиностроении.

Главным структурным признаком полимерных композиционных материалов является их способность образовывать специфические структуры из наполнителя (дисперсных частиц) и матрицы. К таким структурам могут быть отнесены самопроизвольно организующиеся кластерные и решёточные структуры ПКМ, образующиеся при изготовлении в результате процессов совмещения и гомогенизации матричного материала и наполнителя.

Внутри кластера сохраняется индивидуальность отдельных составляющих его частиц. Сформированная кластерная структура ПКМ представляется как система образований с принципиально новыми свойствами, не присущими отдельным составляющим.

В связи с изучением структуры ПКМ возникает новый термин - фрактальный кластер, который представляет ассоциацию связанных между собой частиц, имеющих фрактальное строение.

Необходимо отметить, что фракталы (fractal - дробь) являются самоподобными множествами, имеющими дробную размерность и обладающими рекуррентностью т.е. самоповторяемостью на различных структурных уровнях, которые характеризуются автомодельным отношением. Проявление фрактальности в неупорядоченных системах, которым в полной мере соответствуют полимерные композитные материалы, происходит в виде самоорганизации наполненной структуры ПКМ.

Независимо от времени появления, все композиты обладают общими свойствами. Они не встречаются в природе в том виде, в котором их создал человек. При их создании человек опирается на свойства, которые необходимо получить от материала в машиностроении, поэтому КМ представляют собой искусственно созданные материалы с заранее заданными механическими свойствами. В сравнении с другими материалами, в частности с металлами и их сплавами, композиты легче и прочнее, поэтому их применяют в авиационной промышленности и ракетостроении, но КМ нашли применение и в быту, и в строительстве, и в текстильной промышленности, то есть во всех сферах жизни общества.

5.2 Нанокompозиты

Помимо изобретенных полимеров, в XXI веке применяются нанокompозиты, являющиеся новой ступенью в развитии науки о материалах — материаловедении. Под нанокompозитами понимаются структуры, состоящие из множества повторяющихся компонентов — слоев (фаз), расстояние между которыми измеряется в десятках нанометров. Основной компонент — матрица с наноразмерным компонентом. Для микроструктур данных композиционных материалов характерны уникальные свойства. Нанокompозиты имеют в отличие от материалов обычных структур другие температуры плавления, они обладают высокой устойчивостью против

коррозии и высокими механическими свойствами. Необычность свойств наноматериалов такова, что можно сказать: начиная с конца XX века научно-технический прогресс человечества стал определяться наноматериалами и нанотехнологиями. В крупных странах сформированы долговременные программы развития и практического использования наноматериалов. Главная проблема — практическое освоение технологий, обеспечивающих производство наноматериалов в достаточно больших объемах на рынках сбыта продукции. В зависимости от типа матрицы, нанокomпозиционные материалы делятся на:

- нанокomпозиты на основе керамической матрицы;
- нанокomпозиты на основе металлической матрицы;
- нанокomпозиты на основе полимеров; – слоистые нанокomпозиты

В настоящее время большой интерес исследователей вызывает разработка полимерных нанокomпозитов, в которых нанопленки металла (никель, медь, молибден, хром) локализованы на поверхности элементов наполнителя — порошках или волокнах. Это связано с тем, что физические свойства металлических пленок существенно изменяются при переходе к ультратонким слоям толщиной 10...500 нм. Нанопленки характеризуются чрезвычайно развитыми межфазными поверхностями и обладают избыточной по сравнению с однородными материалами энергией, вследствие чего они являются энергонасыщенными стабильными системами.

Армирование металлизированными волокнами и порошками способствует существенному повышению стойкости композиционного материала к химическому и биологическому факторам воздействия среды. В частности, при контакте с органическими средами различной кислотности (рН = 6...8) износостойкость, адгезионная сдвиговая прочность, усадка и ударная вязкость разработанных стеклопластиков изменяются в допустимых пределах, не превышая 15 % от исходных значений данных параметров.

Данные полимерные нанокomпозиты целесообразно применять в процессах восстановления и изготовления деталей трибосопряжений подъемно-транспортных машин, работающих при контакте с агрессивными средами органического происхождения в условиях несовершенной смазки. В частности, заменой шариковых радиальных однорядных подшипников 60308 в поворотных опорах скребковых навозоуборочных транспортерах ТСН-160А на подшипники скольжения с вкладышами из полимерного нанокomпозита достигается увеличение ресурса опоры в 2,5...3 раза. Разработанные полимерные нанокomпозиты по сравнению с традиционными аналогами обладают улучшенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами, такими как износостойкость, теплостойкость, устойчивость к действию агрессивных сред, что предопределяет эффективность их применения при изготовлении и восстановлении деталей подъемно-транспортных машин в условиях ремонтных предприятий.

5.3 Углепластики

Углепластики (карбопластики, углеродопласты) — это композиты, содержащие в качестве наполнителя углеродные волокна. Этот сравнительно новый класс ПКМ получил в последние годы наиболее интенсивное развитие благодаря своим уникальным свойствам, а именно:

- высоким значениям прочности и жесткости
- низкой плотности
- химической инертности
- тепло- и электропроводности
- высокой усталостной прочности
- низкой ползучести
- низким значениям коэффициента линейного термического расширения
- высокой радиационной стойкости

Важным фактором, определяющим в некоторой степени перспективность углепластиков (УП), является их хорошая технологичность, позволяющая перерабатывать углепластики в изделия на стандартном технологическом оборудовании с минимальными трудовыми и энергетическими затратами.

В зависимости от вида углеродного армирующего наполнителя, его текстурной формы и геометрических размеров углепластики можно разделить на три группы:

- углеволокниты
- углетекстолиты
- углепресволокниты

Углепластики на основе непрерывных ориентированных углеродных нитей, жгутов и ровниц составляют группу углеволокнитов. Наиболее представительная группа углепластиков — углетекстолиты, в которых в качестве армирующего наполнителя используют тканые ленты и ткани различных текстурных форм. Углепластики на основе дискретных волокон составляют группу углеволокнитов.

Основным преимуществом УП, по сравнению с металлами, является их сравнительно небольшая плотность при достаточно высоких прочностных и упругих характеристиках (табл. 2), а также коррозионная стойкость при эксплуатации изделий. При сравнении со стеклопластиком важно отметить значительно более высокий модуль упругости, т. е. большую жесткость углепластика.

Как и все ПКМ, углепластики обладают тем положительным свойством, что их характеристики могут в широком диапазоне регулироваться уже на стадии проектирования конструкций, так как сами материалы образуются в процессе изготовления этих конструкций.

Наряду с достаточно высокими абсолютными значениями показателей прочности и модуля упругости углепластики имеют и значительно более высокие, чем у других материалов, удельные показатели (табл 1).

Таблица 1 -Свойства некоторых материалов

Материал	Плотность, кг/м ³	Прочность при растяжении, МПа	Модуль Юнга, ГПа	Удельная прочность, $e \cdot 10^3$, км	Удельный модуль, $E \cdot 10^6$, км
Углепластик	1450–1600	780–1800	120–130	53–112	9–20
Стеклопластик	2120	1920	69	91	3,2
Высокопрочная сталь	7800	1400	210	18	2,7
Алюминиевый сплав	2700	500	75	18	2,7
Титановый сплав	4400	1000	110	28	2,5
Полиамид 6,6	1140	82,6	28	7,24	0,24
Полиамид 6,6+40 мас. % стекловолокна	1460	217	112	8,87	0,77
Полиамид 6,6+40 мас. % углеродного волокна	1340	280	238	21,0	1,92

Связанные вместе массовые, прочностные и упругие характеристики позволяют более полно судить о возможностях нового материала.

Следует отметить и ряд недостатков углепластиков. Сравнительно невысока их прочность при сдвиге, а также ударная прочность. Поскольку основой УП являются синтетические смолы, на механические характеристики которых существенное влияние оказывает воздействие внешней среды (увлажнение, изменение температуры, солнечная радиация и т. п.), прочность и жесткость УП в процессе эксплуатации изделия снижается на 10—20%. Являясь в основном горючими, синтетические смолы в определенной, хотя и в меньшей, чем у СП, степени переносят этот недостаток на УП.

Необходимо учитывать и значительную анизотропию свойств получаемого УП, особенно ярко проявляющуюся при однонаправленном расположении армирующих волокон. Как у всех ПКМ, свойства этого материала в трех перпендикулярных направлениях могут отличаться очень сильно.

5.4 Методы модификации композиционных материалов

Методы модификации компонентов композиционных материалов широко применяются при разработке композиционных материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Их можно классифицировать по различным признакам.

Во-первых, модификации может подвергаться сам материал или только его поверхность.

Во-вторых, по способам модификации: физический, химический или физико-химический.

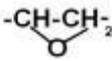
По первому признаку классификации методов можно отметить структурную (объемную модификацию) и поверхностную модификацию. В первом случае модификации подвергают сам материал - адгезив или субстрат путем изменения химического состава, структуры и строения.

Примером такого вида модификации может служить применение сополимеров, когда в основной полимер вводят другой полимер при совместной полимеризации или в виде механической примеси. К этому типу модификации адгезива можно отнести и способ, основанный на введении в адгезив наполнителей порошкообразного или волокнистого типа. Применение сополимеров, например каучука дивинильного ряда с акрилом, нитрилом, стиролом существенно изменяет адгезию полимеров к субстратам.

Так, введение в резину соединений с подвижными атомами хлора (бензотрихлорид, бензохлорид, хлорсульфополиэтилен) способствует повышению прочности связи с кордом, особенно, если он пропитан составом на основе пиридинового латекса.

Например, введение в раствор натурального каучука, содержащего канальную сажу, небольшое количество катамина, которые адсорбируются на поверхности сажи. Углеродородный радикал катамина ориентируется в сторону молекул каучука, тем самым улучшая условия взаимодействия полимера с сажей.

Установлено, что модифицируя полимеры акрилового и метакрилового рядов, вводя в них карбоксильные (-COOH), гидроксильные (-OH),

нитрильные (-CN), амидные (-NH₂) и эпоксидные группы () были получены материалы с высокой адгезией к различным субстратам (металлам, стеклу, дереву). Введение небольшого количества гидроксильных групп в клеевую композицию оказалось достаточным для того, чтобы предел прочности при сдвиге дуралюмина повысился на порядок

Другой способ повышения адгезионной прочности – модификация полимерного субстрата, в результате которой появляются группы, способные к взаимодействию с функциональными группами адгезива.

Итак, как уже было сказано выше, основным фактором, определяющим работоспособность адгезионного соединения, является химическая природа соединяемых материалов. К таким веществам как ПЭ, полипропилен и фторопласты адгезия полярных полимеров весьма низка. Одним из способов решения этой проблемы является модификация поверхности субстрата.

Известны различные способы модификации: обработка окислителями, электрическими разрядами, пламенем горелки, газообразным хлором и т.д. При такой обработке на поверхности полимера в результате окисления образуются полярные группы, т.е. карбонильные, карбоксильные, гидроксильные группы.

Рассмотрим на примере ПЭ влияние модификации его поверхности на увеличение адгезии к полярным клеям. Поверхность ПЭ обрабатывают минеральными кислотами, окислителями: серная кислота, хромовая смесь,

гипохлорит натрия, перекись водорода. Наиболее эффективными являются олеум (H_2SO_4 при содержании $SO_3 - 40\%$).

После обработки ПЭ хорошо смачивается водой и другими полимерными жидкостями, склеивается неполярными клеями. Это связано с тем, что при обработке поверхности ПЭ окислителями образуются карбонильные, спиртовые и эфирные, а также гидроксильные группы. При этом возрастает адгезия ПЭ к целлофану, если обработать поверхность ПЭ надуксусной кислотой, то сопротивление расслаиванию в системе ПЭ- целлофан возрастает.

Адгезия ПЭ к целлофану может быть повышена за счет тепловой обработки ПЭ пленки. При температуре $220-250^\circ$ и выше наблюдается резкое возрастание адгезионной прочности. Это связано с тем, что происходит образование водородных связей между гидроксильными группами и кислородсодержащими группами ПЭ.

Хлорированием полиэтилена можно повысить его адгезию к целлофану. Повысить адгезию ПЭ к целлофану можно путем поверхностного окисления ПЭ хромовой смесью. Экстремальная зависимость величины адгезионной прочности от числа функциональных групп объясняется постепенным снижением подвижности сегментов макромолекул адгезива при увеличении содержания в них полярных групп, что в дальнейшем препятствует взаимодействию на границе раздела фаз.

А вот адгезия к политетрафторэтилену (ФП-4) без соответствующей обработки его поверхности не возможна. С этой целью используют щелочные и щелочноземельные металлы, которые могут химически взаимодействовать с ФП-4 (30). Натрий взаимодействует с полимером с образованием NaF , а в цепи ФП-4 появляются двойные связи. Модифицировать поверхность ФП-4 можно комплексом, представляющим раствор Na^+ нафталин, расплавленным ацетатом калия. После такой обработки поверхности ФП-4 он приобретает способность склеиваться с различными металлами, полиэтиленом и другими материалами. Наилучшие результаты получены для клея ПУ-2 (полиуретановый).

Есть другой способ модификации поверхности ФП-4 – подвергать воздействию радиации в присутствии мономера, который полимеризуется на поверхности ФП-4, создавая покрытие, к которому легче подобрать подходящий адгезив.

Политрифторхлорэтилен ФП-3 также является химически малоактивным. Выбрав подходящий модифицирующий агент, можно склеивать ФП-3 практически с любым материалом. Так, обработка его поверхности расплава ацетата калия приводит к резкому повышению его адгезии к полярным клеям.

Модификация субстратов широко применяется в резинотехнической промышленности, в производстве пластиков, композитов. Объектами модификации выступают полимеры алифатического и ароматического рядов (полиэтилен, полипропилен, фторопласт, полистирол).

Механические - физические методы в основном применяют с целью придания поверхности шероховатость и очищают ее от примесей.

Из физических методов нашли применение, такие как обработка поверхности электрическим разрядом, ультрафиолетовым светом, пламенем газовой горелки, ионизирующим излучением, плазмой и другими. При такой обработке происходит деструкция макромолекул полимеров и образование радикалов, окисление и возникновение функциональных групп.

Метод повышения адгезии модифицированием поверхности химическим способом получил широкое применение в резиновой промышленности. Обработка поверхности резины минеральными кислотами обеспечивает склеиваемость адгезивами на основе фурфурольных смол. Кроме кислот в этих целях применяют окислители. Обработка резины на основе бутилкаучука галогенами (хлор, бром, йод) повышает адгезию к другим каучукам.

Модификация как метод изменения активности поверхности широко используется при обработке искусственных волокон в электрическом поле или источниками высокой энергии.

Целью обработки поверхности субстратов химическими методами является также создание активной поверхности с повышенной поверхностной энергией, способствующей повышению смачиваемости субстрата адгезивом, повышению молекулярного контакта, а, следовательно, увеличению адгезии. Примером химической модификации субстрата могут быть окисление кислородом или озоном, газообразным хлором, раствором металлического натрия в нафталине, травление в растворах неорганических кислот (олеум, хромовая смесь, гипохлорид натрия, перекись водорода).

На практике широко применяется модификация металлических субстратов. Известна модификация алюминия анодированием перед нанесением на его поверхность лаковых покрытий, который является распространенным в авиационной промышленности. Оксидирование железа, меди способствует повышению адгезионной прочности с галогенсодержащими полимерами.

Модификация поверхности металлов может быть осуществлена не только оксидированием, но и путем получения фторидных, фосфатных, оксихроматных покрытий на их поверхности. Это достигается обработкой металлов в растворах кислот: фтористоводородной, фосфорной и хромовой. На поверхности образуется слой, содержащий соединения соответствующих кислот с определенной толщиной, структурой и пористостью. Адгезионная прочность клеевого соединения с металлической поверхностью после ее фосфатирования возрастает в 1,5-2,0 раза.

Модификация субстратов может осуществляться не только полимерами, растворами кислот, солей или газообразными галогенами и кислородом, но и поверхностно-активными веществами (ПАВ). Например, если на поверхность металла нанести мономолекулярный слой жирной кислоты, то адгезия ПЭ к поверхности металла резко возрастает. Это связано с тем, что $-\text{COOH}$

(карбоксильная группа кислоты) химически взаимодействует с поверхностью металла, а углеводородный «хвост» обеспечивает связь с ПЭ. При этом сопротивление отслаиванию резко возрастает и достигает 4500 Г/см.

Применяемый в этих целях ПАВ должен быть способен к хемосорбционному взаимодействию с одной стороны с субстратом, а с другой – с адгезивом, т.е. должен быть бифильным. Обработка металла в виде пластины или проволоки по методу Лэнгмюра - Блоджет с формированием монослоя жирной кислоты из их растворов позволяет повысить адгезионную прочность в системе «металл-полиэтилен» в несколько раз. При этом было отмечено, что ПАВ не только взаимодействует с поверхностью металла, но и оказывает влияние на структуру поверхностного слоя полиэтилена. Ориентирующее влияние ПАВ простирается на глубину до 50 мкм.

Методы активирования поверхности наполнителей имеют много общего с рассмотренными методами повышения адгезионной прочности. Например, обработка наполнителей резины: сажа, каолин, добавками, содержащими функциональные группы, приводит к увеличению адгезии. Введение активных добавок различной природы в полимеры является способом их модификации и упрочнения.

Модификация поверхности субстрата может осуществляться не только для повышения адгезии, но и для ее снижения. Это применяют для получения антиадгезионных покрытий, например, на поверхности стекла. В этих целях на поверхность субстрата наносят покрытие, в большинстве случаев из силосана. Силосан представляет собой продукт гидролиза метилтрихлорсилана и (или) диметилхлорсилана и при полимеризации образует полидиметилсилосановый полимер. Наличие не полярных метильных радикалов снижает адгезию к полярным адгезивам. Например, при предварительной обработке поверхности стали полидиметилсилосановой жидкостью с последующей полимеризацией существенно снижается адгезия полиуретанового клея (ПУ-2). Аналогичный эффект наблюдается и при использовании клеев на основе фенолформальдегидной и эпоксидной смол.

Контрольные вопросы:

- 1 Модификацией композиционных материалов называют?
- 2 Повышения адгезионной прочности достигают путем?
- 3 Сущность метода активирования поверхности наполнителей.
- 4 В зависимости от типа матрицы, нанокomпозиционные материалы делятся ?
- 5 Чему способствует армирование металлизированными волокнами и порошками ?
- 6 Классификация углепластиков.
- 7 К методам модификации композиционных материалов относят?

Тема 6 Керамические материалы

6.1 Классификация керамических материалов

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.

Керамика была первым конкурентоспособным по сравнению с металлами классом материалов для использования при высоких температурах. Основными разработчиками и производителями керамических материалов являются США и Япония.

Керамика промышленная, изделия, получаемые путем спекания неорганических, неметаллических материалов и имеющие промышленное или техническое применение. Компонентами этих материалов обычно являются вещества с высокой температурой плавления или размягчения.

Промышленную керамику образует большая группа материалов, имеющих специальное применение, отличное от бытового или декоративного.

Как правило, к ней не относят стекла, эмали, строительные материалы и некоторые цементы и огнеупоры

Исследование, проведенное Национальным бюро стандартов США, показало, что использование керамических материалов позволило к 2000 г. осуществить экономию ресурсов страны в размере более 3 млрд. долларов.

Ожидаемая экономия была достигнута прежде всего за счет использования транспортных двигателей с деталями из керамики, керамических материалов для обработки резанием и оптокерамики для передачи информации. Помимо прямой экономии применение керамики позволит снизить расход дорогих и дефицитных металлов: титана и тантала в конденсаторах, вольфрама и кобальта в режущих инструментах, кобальта, хрома и никеля в тепловых двигателях.

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 само - распространяющегося высокотемпературного синтеза и другими методами. Для сверхтонкого помола (частицы менее 1 мкм) наиболее перспективны вибрационные мельницы, или аттриторы. Консолидация керамических материалов состоит из процессов формования и спекания.

Различают три основные группы методов формования:

1. Прессование под действием сжимающего давления, при котором происходит уплотнение порошка за счет уменьшения пористости.

2. Пластичное формование выдавливанием прутков и труб через мунштук (экструзия) формовочных масс с пластификаторами, увеличивающими их текучесть.

3. Шликерное литье для изготовления тонкостенных изделий любой сложной формы, в котором для формования используют жидкие суспензии порошков. При переходе от прессования к пластичному формованию и шликерному литью увеличиваются возможности изготовления изделий сложной формы, однако усложняется процесс сушки изделий и удаления пластификаторов из керамического материала. Поэтому для изготовления изделий сравнительно простой формы предпочтение отдается прессованию, а более сложной – экструзии и шликерному литью. При спекании отдельные частицы порошков превращаются в монолит и формируются окончательные свойства керамики. Процесс спекания сопровождается уменьшением пористости и усадкой. Применяют печи для спекания при атмосферном давлении, установки горячего изостатического прессования (газостаты), прессы горячего прессования с усилием прессования до 1500 кН. Температура спекания в зависимости от состава может составлять до 2000-2200 °С. Часто применяются совмещенные методы консолидации, сочетающие формование со спеканием, а в некоторых случаях – синтез образующегося соединения с одновременным формованием и спеканием.

6.2 Свойства и применение керамических материалов

В современном машиностроении применение керамики постоянно увеличивается. Она многообразна по химическому составу и физико-механическим характеристикам. Керамика может работать при высоких температурах 1600-2500 °С (жаропрочные стали 800-1200 °С, молибден – 1500° С, вольфрам – 1800 °С), она имеет плотность в два-три раза меньшую, чем у жаропрочных материалов, твердость близкую к твердости алмаза, отличные диэлектрические характеристики, высокую химическую стойкость. Запасы исходных материалов для производства керамики на земле неисчерпаемы. Из керамики изготавливают детали газотурбинных и дизельных двигателей, тепловыделяющие элементы ядерных реакторов, легкую броню и элементы теплозащиты космических кораблей, тонкостенные поплавки и контейнеры для глубоководной техники, режущие пластины и оснастку для горячего деформирования металлов, плунжеры и

уплотнительные кольца в насосах для перекачки агрессивных сред, элементы особо точных гироскопов и платы ЭВМ, подшипники, постоянные магниты и т. д. 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. В настоящее время сформулированы основные требования, которые следует учитывать при проектировании керамических деталей. В нагруженных зонах керамическая деталь не должна иметь концентраторов напряжений. Практически не используются в керамических конструкциях болтовые соединения, в них стараются не сверлить отверстия, делать уступы, проточки, чтобы избежать микротрещин. В местах контакта керамики с металлом необходимо устанавливать демпфирующие прокладки.

Металлические и керамические детали одного изделия должны иметь одинаковые температурные коэффициенты линейного расширения (ТКЛР) или необходимо предусмотреть компенсационные прокладки, причем должны быть учтены и переходные процессы, когда происходит нагрев или охлаждение. Керамика имеет теплоемкость в два раза большую, чем металл, который нагревается вдвое быстрее, что вызывает тепловые деформации и напряжения. Крайне желательно, чтобы температура керамической детали по всему объему была бы одинаковой. Наиболее благоприятно воспринимаются напряжения сжатия. При отсутствии нагрузки в керамических деталях не должны сохраняться остаточные напряжения его полимеризации. В настоящее время используются керамические материалы на основе нитрида кремния – реакционно-связанный, спеченный и горячепрессованный нитрид кремния с легирующими добавками. Реакционно-связанный нитрид кремния имеет относительно низкую по сравнению с другими материалами прочность, но изготовленные из него детали сложного профиля дают стабильно малую усадку. Горячепрессованный нитрид кремния обладает максимальной прочностью. Свойства керамических материалов существенно зависят от рабочих параметров и технологии их изготовления.

В настоящее время разработаны составы керамик, которые по своим эксплуатационным характеристикам могут заменять жаропрочные стали, но разработки в области составов, технологии их получения продолжаются. Принципиальными недостатками керамики являются ее хрупкость и сложность обработки. Керамические материалы плохо работают в условиях механических или термических ударов, а также при циклических условиях нагружения. Им свойственна высокая чувствительность к надразам. В то же время керамические материалы обладают высокой жаропрочностью, превосходной коррозионной стойкостью и малой теплопроводностью, что

позволяет с успехом использовать их в качестве элементов тепловой защиты. При температурах выше 1000 °С керамика прочнее любых сплавов, в том числе и суперсплавов, а сопротивление ползучести и жаропрочность ее выше. К основным областям применения керамических материалов относятся режущий инструмент, детали двигателей внутреннего сгорания и газотурбинных двигателей и др.

6.3 Техническая керамика

Класс технической керамики объединяет большое количество керамических материалов, отличающихся как по химическому составу, так и по назначению. В то же время существуют признаки, общие для всех технических керамик, принципиально отличающие их от традиционных видов керамики:

1. Использование в основном, а для некоторых керамик исключительно искусственно синтезированного сырья (порошков).

2. Применение новых технологий, прежде всего технологий порошковой металлургии. Следует отметить, что свойства технических керамик, в особенности механические, в решающей степени зависят от технологии получения исходного сырья, компактирования и спекания изделий. Поэтому материалы одного и того же химического состава, но полученные различными способами, могут иметь качественно разные уровни физико-химических и механических характеристик и самые разнообразные области применения.

В связи с этим, последовательность изложения материала в данной главе будет основана по признаку химического состава керамики и по мере усовершенствования технологических процессов

Керамика на основе силикатов и алюмосиликатов Силикаты и алюмосиликаты составляют основу очень большого количества технических керамических материалов. Большинство этих керамических материалов в качестве преобладающей фазы содержит двойные или тройные кристаллические вещества – силикаты или алюмосиликаты,

В соответствии с названием минералов называют и керамику – муллитовая, муллито-корундовая, клиноэнстатитовая (стеатитовая), форстеритовая и кордиеритовая.

Механические свойства спеченной высокоглиноземистой керамики возрастают по мере увеличения содержания оксида алюминия и увеличения в керамике кристаллических фаз. Предел прочности при изгибе муллито-корундовой керамики составляет в среднем 200МПа, модуль упругости – 25ГПа. Диэлектрическая проницаемость в высокоглиноземистых материалах обуславливается электронными и обратимыми ионными смещениями как в кристаллической, так и в стекловидной составляющей. С возрастанием количества кристаллических фаз диэлектрическая проницаемость возрастает. Диэлектрическая проницаемость муллито-кремнеземистых масс 5,5–6,5, муллито-корундовых 6,5–9, чистого корунда 10,5–12. С повышением температуры диэлектрическая проницаемость возрастает незначительно.

Удельное объемное сопротивление высокоглиноземистой керамики зависит от фазового состава материала, особенно количества и состава стекловидной составляющей. Оно возрастает с увеличением содержания Al_2O_3 и повышением температуры. Основным источником диэлектрических потерь в высокоглиноземистых керамических материалах является стекловидная фаза.

На диэлектрические потери очень заметно влияет структура и пористость материала. Величина пробивной напряженности у высокоглиноземистой керамики находится в пределах 30–35 кВ/мм. На величину пробивного напряжения влияют структура керамики и наличие примесей. Высокоглиноземистая керамика находит применение в вакуумной технике, в качестве изоляторов запальных свечей двигателей внутреннего сгорания, для изготовления различных деталей электро- и радиоаппаратуры.

6.3.1 Керамика на основе силикатов и алюмосиликатов

Клиноэнстатитовая керамика имеет в своей основе метасиликат магния.

Сырьем для производства клиноэнстатитовой керамики является минерал тальк, представляющий собой водный силикат магния. Плотные разновидности талька называют стеатитом. Поэтому клиноэнстатитовая керамика часто называется стеатитовой или просто стеатитом.

Отличительной особенностью стеатита являются малые диэлектрические потери и повышенная по сравнению с фарфором механическая прочность, вследствие чего его применяют как высокочастотный диэлектрик, а благодаря высокой пробивной напряженности и в высоковольтной технике.

Плотная малопористая структура стеатита дает возможность использовать его как изолятор для электровакуумной аппаратуры.

Литиевая керамика. Керамика на основе алюмосиликатов лития называется литиевой керамикой. Изделия из литиевой керамики изготавливают из литиевых минералов, среди которых преимущественное значение имеет сподумен, а также путем синтеза из глины, кварца и углекислого лития. Изделия можно получать практически всеми способами керамической технологии. Температура синтеза литиевой керамики и спекания изделий составляет 1200–1250°C. Керамика на основе синтезированных алюмосиликатов лития имеет низкий коэффициент расширения, который обуславливает ее хорошую термостойкость. Также литиевая керамика обладает достаточно высокими электроизоляционными свойствами, благодаря чему ее применяют в производстве некоторых видов изделий для радиотехники, работающих в условиях повышенных или переменных температур, а также других изделий, например воздухоподогревателей, работающих в условиях резких смен температур.

Волластонитовая керамика. Волластонитовую керамику получают из природного минерала волластонита.

В технологии волластонитовой керамики используют природный волластонит, содержащий минимальное количество примесей. Изделия из волластонита формуют чаще всего прессованием. Для пластификации масс вводят небольшое количество глинистых и флюсующих добавок, не ухудшающих свойства изделий. Волластонит спекается в узком интервале, подобно стеатиту. Быстрое нарастание жидкой фазы может привести к размягчению и деформации изделий в интервале 15–20°C. Добавки глины, BaCO_3 , Al_2O_3 , и др., в общем количестве 20–30% расширяют интервал до 20–30°C. Температура спекания волластонита находится в пределах 1200–1300°C. Усадка невелика, что дает возможность изготавливать изделия с точными размерами.

Волластонитовая керамика из чистых разновидностей природного волластонита имеет высокий уровень электрофизических характеристик и хорошую термостойкость.

6.3.2 Оксидная техническая керамика

Керамика на основе Al_2O_3 Оксид алюминия – глинозем – является тугоплавким химическим соединением с ионно-ковалентным типом связи кристаллической решетки.

Корундовой технической керамикой называется керамика, содержащая более 95% $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$.

В литературе встречаются частные названия корундовой керамики: алюминооксид, корундиз, синоксоль, миналунд, М-7, 22ХС, микролит, сапфирит, поликор и др. Все эти виды технической корундовой керамики отличаются составом и содержанием вводимых добавок. Стремление реализовать в корундовой керамике максимально возможные значения тех или иных эксплуатационных характеристик и вызвало появление многочисленных видов корундовой керамики.

Технология различных видов корундовой керамики может существенно отличаться. Используются как достаточно традиционные керамические технологии с применением природного сырья, так и передовые технологические методы, в особенности для производства высокопрочных керамик. Исходными материалами в технологии корундовой керамики являются порошки оксида алюминия, получаемые различными способами.

Корундовая керамика широко применяется в самых различных областях. Традиционные сферы ее применения: огнеупорная, химическая промышленность, электро- и радиотехника. С появлением новых технологий получения исходных порошков, формования и спекания изделий область применения корундовой керамики существенно расширилась. В настоящее время высокопрочные керамики на основе Al_2O_3 используются для изготовления изделий конструкционного назначения, применяемых в машиностроении, авиационной и космической технике.

Керамика на основе диоксида циркония. Особенностью диоксида циркония является его полиморфизм.

Традиционно керамика на основе ZrO_2 применялась в металлургической промышленности для изготовления тиглей для плавки металлов. Сегодня циркониевая керамика является одним из наиболее перспективных керамических материалов конструкционного и инструментального назначения и используется в технологии получения деталей газотурбинных и дизельных двигателей, узлов трения, уплотнительных колец насосов, элементов запорной арматуры, форсунок распылительных камер, фильер для протяжки проволоки, режущего инструмента.

6.4 Керамические двигатели.

Из второго закона термодинамики следует, что для повышения КПД любого термодинамического процесса, необходимо повышать температуру на входе в энергетическое преобразовательное устройство: $KПД = 1 - T_2/T_1$, где T_1 и T_2 – температуры на входе и выходе энергетического преобразовательного устройства соответственно. Чем выше температура T_1 , тем больше КПД.

Однако максимально допустимые температуры определяются теплоустойчивостью материала. Конструкционная керамика допускает применение более высоких температур по сравнению с металлом и поэтому является перспективным материалом для двигателей внутреннего сгорания и газотурбинных двигателей. Помимо более высокого КПД двигателей за счет повышения рабочей температуры преимуществом керамики является низкая плотность и теплопроводность, повышенная термо- и износостойкость.

Кроме того, при ее использовании снижаются или отпадают расходы на систему охлаждения. Вместе с тем следует отметить, что в технологии изготовления керамических двигателей остается ряд нерешенных проблем. К ним, прежде всего, относятся проблемы обеспечения надежности, стойкости к термическим ударам, разработки методов соединения керамических деталей с металлическими и пластмассовыми.

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 $8 \text{ МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$. Этим требованиям в наибольшей мере удовлетворяют керамики на основе диоксида циркония ZrO_2 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 толкателя. Компания «Cammin Engine» (США) освоила альтернативный вариант двигателя грузовика с плазменными покрытиями из ZrO_2 , нанесенными на днище поршня, внутреннюю

поверхность цилиндра, впускные и выпускные каналы. Экономия топлива на 100 км пути составила более 30%. Фирма «Isuzu» (Япония) сообщила об успешной разработке керамического двигателя, работающего на бензине и дизельном топливе.

Двигатель развивает скорость до 150 км/ч, коэффициент полноты сгорания топлива на 30-50% выше, чем у обычных двигателей, а масса на 30% меньше. Конструкционной керамике для газотурбинных двигателей, в отличие от адиабатного двигателя, не требуется низкая теплопроводность. Учитывая, что керамические детали газотурбинных двигателей работают при более высоких температурах, они должны сохранять прочность на уровне 600 МПа при температурах до 1470-1670 °К (в перспективе до 1770-1920 °К) при пластической деформации не более 1% за 500 ч работы. В качестве материала для таких ответственных деталей газотурбинных двигателей, как камера сгорания, детали клапанов, ротор турбокомпрессора, статор, используют нитриды и карбиды кремния, имеющие высокую теплостойкость. Повышение тактико-технических характеристик авиационных двигателей невозможно без применения керамических материалов.

Контрольные вопросы:

- 1 Краткая технология получения керамических материалов
- 2 Преимущества применения керамических материалов в машиностроении?
- 3 Способы проверки керамических материалов (способы, методы)
- 4 Способы повышается вязкости разрушения керамических материалов
- 5 Керамический двигатель «За» и «Против». Ваше мнение (аргументированно)
- 6 Какова сфера применения оксидной технической керамики?
- 7 Особенностью диоксида циркония является ?
- 8 Где применяется волластонитовая керамика?

Тема 7 Наноматериалы

7.1 Классификация наноматериалов

За последние два десятилетия нанотехнологии стали стратегическим индустриальным направлением. Широкий интерес к наноматериалам появился в середине восьмидесятых годов благодаря работам Глейтера с сотрудниками, впервые обративших внимание на повышение роли поверхностей раздела с уменьшением величины зерна и предложивших метод получения наноматериалов, заключающийся в сочетании изготовления ультра дисперсных порошков и последующей консолидации при высоких давлениях.

Можно выделить в основном четыре группы технологических методов получения консолидированных НМ: порошковая металлургия, интенсивная пластическая деформация, кристаллизация из аморфного состояния и пленочная технология.

Как видно, предлагаются четыре разновидности НМ по химическому составу и распределению структурных особенностей (однофазные, многофазные с идентичными и неидентичными поверхностями раздела и матричные композиции) и три категории форм структуры (слоистая, столбчатая и равноосная). В действительности, разнообразие структурных типов может быть больше за счет смешанных вариантов. Наиболее простой вариант – это, когда химический состав нанокристаллитов и границ зерен одинаков.

Например, чистые металлы с нанокристаллической равноосной структурой. Вторая группа представляет НМ с нанокристаллитами различного химического состава, в частности, многослойные структуры.

Для материалов третьей группы химический состав зерен и границ различен. НМ, в которых наноразмерные компоненты диспергированы в матрице сплава другого химического состава, составляют четвертую группу. В зависимости от структурного и химического состава НМ будут иметь различные свойства и различные области применения.

7.2 Наноматериалы конструкционного и функционального класса

Наноматериалы конструкционного и функционального назначения на сегодняшний день является одной из наиболее востребованной областью нанотехнологий для решения различных проблем техники.

Основные материалы данного класса – это металлические, керамические, полимерные и композиционные.

Применимость того или иного материала определяется комплексом свойств, включающим соотношение между прочностью, пластичностью, а также вязкостью. Для получения в сталях и сплавах нанокристаллической структуры в основном используются методы интенсивной пластической деформации. Например, широко известная нержавеющая аустенитная сталь 12Х18Н10Т после равноканального углового прессования при комнатной температуре с размером зерна 100 нм имеет предел текучести 1340 МПа практически в 6 раз превышающей предел текучести этой стали после термообработки. При этом пластичность сохраняется на достаточно высоком уровне ($\delta=27\%$). Прочность низкоуглеродистых малолегированных сталей с субмикроструктурной структурой при комнатной температуре в 2-2,5 раза выше, чем серийно выпускаемых, при сохранении пластичности и высокой вязкости [33].

В последнее время все более широкое применение находят керамические материалы в наноструктурном состоянии. В широком смысле к керамическим материалам относят класс материалов, получаемых спеканием дисперсных порошков достаточно тугоплавких и хрупких в обычных условиях веществ различной физико-химической природы: оксиды, нитриды, карбиды, бориды, силициды и др. керамические материалы иногда делят на две группы: конструкционную и функциональную. К первой группе относят материалы, используемые для создания механически стойких конструкций и

изделий. Ко второй – керамику со специфическими электрическими, магнитными, оптическими и др. свойствами. Важнейшими компонентами современной керамики являются: оксиды алюминия, циркония, кремния, бериллия, титана, магния; нитриды кремния, бора, алюминия; карбиды тугоплавких металлов, кремния, бора и др.

Применение конструкционной керамики обусловлено такими характеристиками как высокая температура эксплуатации, твердость, прочность, коррозионная стойкость и др. Слабое место керамики – низкая трещиностойкость и пластичность. Для нанокерамики обнаружено повышение пластичности при низких температурах, а при повышенных температурах нанокристаллические материалы могут проявлять свойства сверхпластичности.

Среди конструкционной керамики следует выделить карбиды и нитриды тугоплавких металлов (W, Ti, V, Ta и др.) и сплавов на их основе. Основные области их применения – это износостойкие инструменты и различные детали (сверла, фрезы, прокатные валки, штампы и др.). Объем их производства постоянно возрастает. Так только в 2000 г. было произведено более 12000 тонн субмикрокристаллических и нанокристаллических твердых сплавов [33].

Нанокерамика из диоксида циркония может способствовать созданию новых альтернативных источников энергии. Уже сейчас создаются топливные элементы с керамическим оксидным электродом (SOFC) из диоксида циркония. Эти элементы позволяют непосредственно превращать химическую энергию топлива в электрическую с коэффициентом эффективности 50-60 %.

7.3 Фуллерены

До недавнего времени были известны три модификации углерода: алмаз, имеющий сетчатое строение; графит, имеющий слоистую структуру, и карбин, имеющий линейчатое строение. Фуллерены являются четвертой модификацией углерода.

Открытие новой формы углерода – гигантских молекул, получивших название фуллерены, произвело наибольший бум в течение последних лет). Огромный интерес к фуллеренам обусловлен не только получением новых фундаментальных знаний о веществе, но и открывающимися возможностями их практического применения [1,10, 55,56].

В настоящее время понятие «фуллерены» применяется к широкому классу многоатомных молекул углерода с общей формулой C_n (n – четное), имеющих форму замкнутого полого многогранника. Фуллерены являются четвертой аллотропной формой углерода (первые три – алмаз, графит и карбин). Наиболее известные фуллерены – C_{60} и C_{70} .

Фактически молекула фуллерена является органической молекулой, а сам фуллерен представляет собой молекулярный кристалл, являющийся связующим звеном между органической и неорганической материей.

Введение фуллеренов в алюминий, дюраль, и т.д., позволяет кардинально изменить свойства материалов, повысить прочность более чем в 2 раза, повысить текучесть, тем самым открывая новые области применения, такие как авиастроение, автомобилестроение, облегченные конструкции для космических кораблей.

Фуллерен также может использоваться в качестве основа для производства аккумуляторных батарей. Эти батареи, принцип действия которых основан на реакции присоединения водорода, во многих отношениях аналогичны широко распространенным металлически-гибридным никелевым аккумуляторам, однако имеют, в отличие от последних, способность запасать приблизительно в пять раз большее количество водорода. Кроме того, батареи характеризуются высшей эффективностью, малым весом, а также экологической и санитарной безопасностью по сравнению с наиболее современными аккумуляторами на основе лития. Такие высокоэффективные батареи могут быть применены в электронной технике, которая используется в информационно-управляющих системах на транспорте.

Следует отметить, что присутствие фуллерена C₆₀ в минеральных смазках инициирует на поверхностях контртел образование защитной фуллерено-полимерной пленки толщиной — 100 нм. Образованная пленка защищает от термической и окислительной деструкции, увеличивает время жизни узлов трения в аварийных ситуациях в 3-8 раз, термостабильность смазок до 400—500 °С и несущую способность узлов трения в 2-3 раза, расширяет рабочий интервал давлений узлов трения в 1,5-2 раза. Фуллерены нашли применение в качестве добавок в интумесцентные (вспучивающиеся) огнезащитные краски. За счёт введения фуллеренов краска под воздействием температуры при пожаре вспучивается, образуется достаточно плотный пенококсовый слой, который в несколько раз увеличивает время нагревания до критической температуры защищаемых конструкций. При введении модификатора в эпоксидную смолу, произошло улучшение показателей ударопрочности, горючести, растяжения от 10% до 20% в зависимости от объема вводимого модификатора.

Другим интересным свойством легированных фуллеренов является их ферромагнетизм. Впервые это явление было обнаружено при легировании фуллерена C₆₀ тетрадиметиламиноэтиленом (ТДАЭ). Фуллерид C₆₀-ТДАЭ оказался мягким ферромагнетиком с температурой Кюри, равной 16 К [56].

Ферромагнетизм обнаружен и в другом фуллериде, который получается при легировании фуллерена C₆₀ смесью бора и йода в равных пропорциях. Следует, однако, заметить, что проблема магнетизма, как и другие свойства, ждут своего решения.

7.4 Углеродные нанотрубки

Углеродные нанотрубки (УНТ) – это протяженные структуры в виде полого цилиндра, состоящие из одного или нескольких свернутых в трубку

графитовых слоев с гексагональной организацией углеродных атомов. Диаметр УНТ колеблется от одного до нескольких десятков нанометров, а длина измеряется десятками микрон и постоянно увеличивается по мере усовершенствования технологии их получения. Из-за малых поперечных размеров подобные образования получили название нанотрубок. Концы нанотрубок часто имеют сужения в виде полусферической головки, которая может рассматриваться как половина молекулы фуллерена. УНТ по своей структуре занимают промежуточное положение между графитом и фуллеренами, но многие их свойства не имеют ничего общего ни с графитом, ни с фуллеренами. Это позволяет рассматривать нанотрубки как самостоятельный материал, обладающий уникальными физико-химическими характеристиками.

УНТ были открыты в 1991 г. японским ученым С. Иджимой при изучении осадка сажи, образующейся при распылении графита в электрической дуге. УНТ образуются в результате химических превращений углерода при высоких температурах. Можно выделить три основных способа получения УНТ:

- электродуговое распыление графита;
- абляция графита с помощью лазерного облучения;
- каталитическое разложение углеводородов.

В последнее время наблюдается подлинный бум исследований, направленных на выяснение физико-химических характеристик нанотрубок. [57-60]. Можно указать на два основных стимула, мотивирующих развитие таких исследований. С одной стороны, это фундаментальный аспект, обусловленный миниатюрными размерами и уникальными физико-химическими характеристиками нанотрубок. С другой стороны – возможности значительного прикладного потенциала нанотрубок. Расширение подобных исследований связано еще и с тем, что многие свойства нанотрубок зависят от их геометрии. На сегодняшний день наиболее впечатляющими и изученными свойствами нанотрубок являются их проводящие, эмиссионные и механические свойства.

Одно из наиболее интересных свойств УНТ связано с их аномально высокими механическими характеристиками. Так, многочисленные расчетные и экспериментальные исследования показывают, что величина модуля Юнга однослойной УНТ составляет порядка одного терапаскаля (1 ТПа), что является рекордно высоким значением. Для сравнения отметим, что модуль Юнга высокопрочных сталей в $5\div 10$ раз меньше.

Наряду с модулем Юнга на растяжение, важной характеристикой нанотрубок является предельная прочность на разрыв. Жгуты из однослойных нанотрубок показали значение прочности на разрыв 45 ± 7 ГПа, что примерно в 20 раз превышает соответствующие значения для высокопрочных сталей. При испытаниях на растяжение в области высоких температур (~ 2000 К) УНТ показали аномально высокую пластичность (до 280%).

Углеродные нанотрубки занимают широкую сферу применения. Это связано с тем, что они имеют молекулярную структуру в виде каркаса, позволяющую тем самым иметь свойства, отличающиеся от алмаза или графита. Именно благодаря своим отличительным чертам (прочность, проводимость, изгиб) углеродные нанотрубки применяются чаще, в сравнении с другими материалами.

Применяется это углеродное изобретение в электронике, оптике, в машиностроении и т. д. Углеродные нанотрубки используют как добавки к различным полимерам и композитам для усиления прочности молекулярных соединений. Ведь всем известно, что молекулярная решётка углеродных соединений обладает невероятной прочностью, тем более в чистом виде.

Углеродные нанотрубки используются также в производстве конденсаторов и различного рода датчиков, анодов, которые необходимы для изготовления батареек, в роли поглотителя электромагнитных волн. Широкое применение это углеродное соединение нашло в сфере изготовления телекоммуникационных сетей и жидкокристаллических дисплеев. Также нанотрубки используются в качестве усилителя каталитических свойств в производстве осветительных устройств.

Благодаря хорошим проводящим свойствам использование углеродных нанотрубок в машиностроении занимает широкий спектр. Этот материал используют в качестве устройств по охлаждению агрегатов, имеющих массивные размеры. В первую очередь это связано с тем, что углеродные нанотрубки имеют высокий удельный коэффициент теплопроводности. Одна из проблем применения нанотрубок заключается в негативном влиянии на живые организмы, что ставит под сомнение использование этого материала в медицине. Некоторые из экспертов предполагают, что в процессе массового производства углеродных нанотрубок могут возникнуть не оценённые риски. То есть в результате расширения областей применения нанотрубок возникнет потребность в их производстве в широких масштабах и, соответственно, возникнет угроза окружающей среде. В современном мире углеродные нанотрубки вносят весомый вклад в области развития инновационных технологий.

Специалисты дают прогнозы по увеличению в ближайшие годы производства нанотрубок и к снижению цен на данную продукцию. Это, в свою очередь, расширит сферы применения нанотрубок и увеличит потребительский спрос на рынке.

Контрольные вопросы:

- 1 Какие группы технологических методов получения консолидированных НМ можно выделить ?
- 2 чем определяется применимость того или иного наноматериала?
- 3 Нанокерамика как альтернативный источник энергии? Обоснуйте ответ
- 4 Сфера применения фуллеренов.
- 5 Способы получения углеродных нанотрубок?

- 6 Основные отличительные свойства углеродных нанотрубок?
7 Применение углеродных нанотрубок в машиностроении. За или против?

Тема 8 Многофункциональные покрытия

8.1 Классификация многофункциональных покрытий

Покрытия, наносимые газотермическими методами: плазменного, газопламенного и газодинамического напыления, электродуговой металлизации, плазменной и лазерной наплавки придают поверхности металлов повышенные твердость, термостойкость, антикоррозионные и многие другие свойства.

Технологии напыления и наплавки покрытий считаются ключевыми для современного машиностроения, обеспечивая необходимые свойства поверхности деталей.

Классификация покрытий по материалу:

- керамические покрытия
- металлические покрытия
- металлокерамические покрытия
- наноструктурированные покрытия

Классификация покрытий по назначению:

- антикоррозионные покрытия
- износостойкие покрытия
- антифрикционные покрытия
- антиадгезионные покрытия
- жаропрочные и жаростойкие покрытия
- термобарьерные покрытия
- диэлектрические покрытия
- электропроводные покрытия
- уплотнительные покрытия
- восстановление напылением и наплавкой

Классификация покрытий по основному металлу покрытия:

- цинковые покрытия
- алюминиевые покрытия
- покрытие нержавеющей сталью
- покрытие никелем и его сплавами
- покрытие медью
- заливка баббита

Классификация покрытий по способу нанесения:

- металлизация
- плазменное напыление
- газопламенное напыление

Газотермическое напыление, плазменная и лазерная наплавка позволяют эффективно защитить оборудование от таких проблем, как

абразивный и ударный износ, коррозия, кавитация, гальваническая и межкристаллитная коррозия.

Абразивный износ.

Абразивный и гидроабразивный износ — классическая область успешного применения твердых наплаваемых и напыляемых защитных покрытий во многих областях промышленности. Абразивный износ, как правило, вызывается движением или соударением частиц, содержащихся в потоке, с поверхностью изделия, которое вызывает ускоренное разрушение поверхности, сопровождаемое потерей массы. При гидроабразивном износе разрушение ускоряется как за счет вымывания продуктов разрушения жидкостью, так и за счет добавления факторов кавитации и коррозии.

Трение.

Трение является одной из основных причин износа оборудования. Известно, что при определенном сочетании материалов в узлах трения, трение и износ могут быть существенно уменьшены. Также снижает трение наличие масляных пленок.

Нанесение функциональных антифрикционных покрытий на детали в узлах трения позволяет создать пару материалов с низким коэффициентом трения, за счет внутренней пористости покрытия обеспечить условия, благоприятствующие удержанию масла на поверхностях, подвергающихся трению.

Удар/измельчение

Немногие из коммерчески доступных материалов могут выдержать нагрузки, возникающие при разрушении, измельчении или просеивании породы. Порода с высокой твердостью довольно быстро разрушает даже высоколегированные сплавы. Наплавка износостойких материалов, содержащих карбиды вольфрама и хрома стала за последние годы признанным стандартом для защиты от износа в таких условиях. Высоколегированная металлическая матрица с карбидными включениями (светлые кристаллы на фото микроструктуры) эффективно противостоят абразивному износу, а металлургическая связь с основой, формируемая при наплавке, обеспечивает стойкость покрытия к ударным нагрузкам.



Рисунок 12- Напыленный теплообменник

Химическая коррозия

Химически стойкие покрытия из металлов и сплавов обеспечивают защиту не только от коррозионного износа, но и от кавитации и эрозионного износа. Металлические покрытия наносятся газотермическим напылением как при производстве, так и на месте эксплуатации оборудования, в процессе ремонта. Роботизированные комплексы для нанесения покрытий позволяют обеспечить равномерную структуру и сплошность покрытий, а высокопроизводительное оборудование напыления позволяет гарантировать высокое качество покрытия и его адгезию к основному металлу. Покрытия сохраняют все свойства нержавеющей стали - выдерживают высокие температуры, хорошо противостоят абразивному износу и кавитации, коррозионным факторам.

Гальваническая коррозия

Гальваническая, или электрохимическая коррозия возникает при соединении металлов с различными электрохимическими потенциалами. В присутствии электролита анодный металл корродирует. При соединении металлов с сильно различающимися электрохимическими потенциалами гальваническая коррозия может разрушить их в течение считанных месяцев, а иногда и недель.

Защитные покрытия позволяют предотвратить гальваническую коррозию либо существенно замедлить ее — благодаря изоляции металлов от электролита либо благодаря увеличению площади анода.

Межкристаллитная коррозия

К межкристаллитной коррозии склонны нержавеющие стали, алюминиевые и никелевые сплавы. Это один из наиболее опасных видов местной коррозии, вызывающий избирательное разрушение по границам зерен, в результате происходит потеря пластичности и прочности сплава, ведущее к преждевременному разрушению изделий. Причиной склонности сплавов к межкристаллитной коррозии является электрохимическая неоднородность структуры сплава, когда границы зерен или приграничные

зоны являются более электрохимически отрицательными по сравнению с зерном. Причиной возникновения межкристаллитной коррозии нержавеющей сталей принято считать обеднение хромом границ зерен вследствие выделения на них фаз, богатых хромом.

Это происходит при отпуске закаленных нержавеющей сталей. При этом по границам зерен выпадает карбид хрома, в результате чего содержание хрома в твердом растворе в приграничной зоне резко уменьшается. Дальнейший рост карбидов происходит вследствие диффузии углерода и хрома из твердого раствора к границам зерен. При температуре отпуска скорость диффузии углерода намного выше скорости диффузии хрома, поэтому в образовании карбидов участвует почти весь углерод твердого раствора, и хром, находящийся в твердом растворе около границ зерен. В результате этого через некоторый промежуток времени отпуска стали по границам зерен образуется обедненная хромом область, в которой содержание хрома составляет не более 12%, поэтому ее коррозионная стойкость ниже, чем зона зерна, что и определяет склонность аустенитных сталей к межкристаллитной коррозии. Разновидностью межкристаллитной коррозии является ножевая коррозия, возникающая в очень узкой зоне от нескольких сотых до десятых долей миллиметра на границе "сварной шов – основной металл". Это явление также объясняется обеднением границ зерен хромом в результате некоторых режимов нагрева, особенно при сварке.

Термоциклика

Покрyтия из оксидной керамики, наносимые плазменным напылением — общепризнанный и хорошо испытанный способ защиты изделий от высокотемпературных термоциклических нагрузок. Благодаря высокой пористости и низкому коэффициенту теплопроводности керамические покрытия обеспечивают создание термобарьерного слоя на поверхности изделия. Мы наносим как традиционные покрытия из оксида циркония, стабилизированного иттрием, оксида алюминия, так и наноструктурированные покрытия, показывающие более высокую стойкость к температуре и термоциклическим нагрузкам.

Кавитация

Кавитация — (от латинского *cavitas* — пустота) — образование в жидкости полостей (кавитационных пузырьков, или каверн), заполненных газом, паром или их смесью. Гидродинамическая кавитация возникает в результате местного понижения давления в жидкости, которое может происходить при увеличении её скорости. Физически процесс кавитации близок процессу закипания жидкости. Основное различие между ними заключено в том, что при закипании изменение фазового состояния жидкости происходит при среднем по объёму жидкости давлении, равном давлению насыщенного пара, тогда как при кавитации среднее давление жидкости выше давления насыщенного пара, а падение давления носит локальный

характер. Ведущую роль в образовании пузырьков при кавитации играют газы, выделяющиеся внутрь растущих пузырьков. Эти газы всегда содержатся в жидкости, и при местном снижении давления начинают интенсивно выделяться.

8.2 Наноструктурные покрытия

Термическое напыление наноструктурных покрытий представляет собой перспективный подход, позволяющий использовать уникальные механические и физические свойства наноструктурных материалов (высокие прочность, ударную вязкость и коррозионную стойкость).

При увеличении удельной площади границы количество примесей на единицу площади границы уменьшается по сравнению с крупнозернистым материалом того же состава при той же объемной концентрации примесей. Более чистая поверхность зерен обеспечивает более высокую коррозионную стойкость по границам в сравнении с крупнозернистым кристаллическим материалом.

Наноструктурные покрытия с размером зерен менее ~ 10 нм характеризуются резким улучшением физических характеристик.

Наноразмерные кристаллические зерна обладают высокой термической стабильностью и эффективно тормозят движение дислокаций, что придаст покрытиям высокую прочность и в некоторых случаях высокую ударную вязкость.

Важное преимущество покрытий с наноразмерной зернистой структурой связано с уменьшением остаточных напряжений, что впервые позволило создать значительно более толстые покрытия, которые в отдельных случаях в четыре раза толще, чем покрытия из обычных материалов. Например, термическим напылением при использовании высокоскоростных кислородсодержащих струй удалось получить разнообразные наноструктурные покрытия (никель, суперсплав и нержавеющая сталь; WC/Co), которые обладают значительно большей микротвердостью, чем покрытия из обычных материалов.

Потенциальные области применения рассмотренных наноструктурных покрытий — от термозащитных покрытий лопаток газотурбинных двигателей до износостойких деталей в механизмах вращения.

При нанесении нанопокровтий методом газотермического напыления с применением нанодисперсионных частиц или их агломератов (порошки, прутки и др.) возникают следующие проблемы:

- необходимо создание специального дозатора наночастиц;
- возможность сплавления частиц в случае использования палазменного или электродугового метода напыления;
- высокая стоимость материалов.

Немаловажной проблемой, с которой можно столкнуться при нанесении покрытий с использованием нанопорошков, прутков и др., является возможность потери агломератами наночастиц своей структуры.

Большинство зарубежных вариантов нанесения нанопокровтий основано на использовании плазменного напыления суспензии, так как энергии плазмы достаточно для того чтобы растворитель испарился. В тоже время проблема потери наноструктуры остается актуальной.

8.3 Дуговая металлизация

Дуговая металлизация –это наиболее эффективный способ нанесения противокоррозионных покрытий на металлические конструкции большой площади — емкости, резервуары, мосты и металлоконструкции.

Электродуговая металлизация представляет собой плавление двух проволок установленной электрической дугой и распыление полученного вещества на подложку. Чаще всего такие установки применяются с целью создания противокоррозионных покрытий из алюминия, цинка и их сплавов.

При выборе оборудования для металлизации следует учитывать следующие характеристики:

- потребляемая мощность. Чем выше эта величина, тем эффективнее работа оборудования;

- тип привода. Существуют аппараты металлизации с приводами push, pull или push-pull, которые отличаются весом пистолета и максимальным удалением его от источника питания;

- гибкость настроек. Некоторые аппараты для металлизации позволяют регулировать напряжение, скорость подачи проволоки, скорость и объем подачи воздуха;

- система распыления. Возможна регулировка напряжения, скорости подачи проволоки, объемы подачи воздуха;

- дополнительные устройства. Некоторые аппараты для металлизации могут работать на большом удалении от блока питания. Могут использоваться различные устройства размотки проволоки, средства механизации процесса распыления и обеспечения компьютерного управления;

- надежность. Мы поставляем только высоконадежные системы металлизации, которые позволяют выполнять напыление сотен тысяч квадратных метров поверхности с минимальными затратами на техническое обслуживание и ремонт.

Качество покрытия во многом зависит от предварительной подготовки поверхности, качества используемых материалов и применяемых пропиток и красок.

Электродуговая металлизация проводится в полевых условиях, при этом напыление производится с руки. Конструкции представляют собой передвижные установки с пистолетом минимального веса и проволочными шлангами максимальной длины. В тоже время, чем легче установка металлизации, тем меньше ее производительность и гибкость настроек.

8.4 Износостойкие покрытия

Термическое напыление и наплавка износостойких металлокерамических покрытий на основе карбидов вольфрама и хрома считаются сегодня наиболее технологичным способом защиты изделий от износа. Зерна карбидов, расположенные в металлической матрице, поддаются полировке вплоть до 13 класса чистоты, благодаря твердости в 68-72 HRC превосходно противостоят абразивному износу, успешно противостоят коррозии в большинстве агрессивных сред.

При этом деталь изготавливается из наиболее подходящего задаче конструкционного материала (самого дешевого или самого легкого или наименее подверженного усталости) а места, подверженные износу, покрываются тонким (от нескольких десятков микрон до нескольких миллиметров) покрытием из износостойкого материала — карбида вольфрама или карбида хрома. Преимуществом сверхзвукового термического напыления износостойких покрытий является то, что их можно наносить на любую основу — сталь, сплавы, алюминий, титан.

Покрытие и основа связаны адгезионно, отсутствует перемешивание, что позволяет получить необходимую твердость поверхности уже при напылении 50-100 мкм покрытия. При напылении поверхность не нагревается более 150 °С, не подвергается термическому влиянию и не наводораживается. Наплавка накладывает более серьезные ограничения на материал основы, но позволяет обеспечить износостойкость в более суровых условиях эксплуатации — в присутствии ударных нагрузок, в молотковых дробилках, ситах, грохотах, буровом оборудовании. Наплавка позволяет также нанести большие толщины покрытия, чем напыление. Преимуществом лазерной наплавки износостойких покрытий является небольшое перемешивание материала покрытия с основой, что позволяет получить требуемую твердость уже после первого прохода.



Рисунок 13- Металлокерамическое покрытие

Наплавка твердосплавных покрытий электродами и проволокой позволяет повышать износостойкость изделий без больших вложений в инфраструктуру. Купив сварочный аппарат и электроды, можно создавать

покрытия твердостью до 70 HRC. Как правило, высокая шероховатость и пористость получаемых наплавкой электродами покрытий не позволяют провести их механическую обработку, но во многих приложениях этого и не требуется.

Износостойкие покрытия можно эффективно эксплуатировать при температурах до 600 °С. Более высокие температуры ведут к разложению карбидов и снижению твердости и износостойкости.

8.5 Плакирование

Плакированные металлы: двух- или более слойные комбинации металл - металл, получаемые различными способами. Плакированные слои металла, как правило, гораздо толще слоев, полученным другими способами обработки поверхности, что объясняется способом их получения.

Известны плакированные листы, полосы, трубы и сортовые профили. Плакированием обеспечивается такое сочетание свойств отдельных слоев, чтобы эффективность использования плакированных материалов была выше, чем каждого из компонентов, их составляющих.

В промышленных условиях применяют различные комбинации металлов: алюминий + углеродистая сталь; алюминий + коррозионностойкая сталь, алюминий + титан, бронза + сталь; хромоникелевая сталь + углеродистая сталь, молибден + коррозионностойкая сталь; латунь + углеродистая сталь, ниобий + углеродистая сталь, никель + медь; титан + углеродистая сталь и др. Основные свойства, которых стараются добиться при плакировании: прочность, пластичность, коррозионная стойкость, износостойкость, теплопроводность и др.

Плакированные материалы являются не только заменителями однородных (сплошных дорогостоящих материалов). Во многих случаях, благодаря сочетанию свойств своих компонентов они имеют более благоприятные показатели, чем однородные дорогостоящие материалы сами по себе. Большинство способов получения плакированных материалов сводится к двум переделам:

- получение исходного биметаллической заготовки
- обработка давлением биметаллической заготовки с получением готового плакированного биметалла.

Исключениями являются накатка полосы или порошка на полосу и, отчасти, плакирование взрывом.

Среди способов получения плакированных металлов, распространены следующие:

1) комбинированное литье, когда в изложницу для слитков закладывают перфорированные разделительные листы, отмечающие положение будущей плоскости соединения между сталями А и Б, затем заливают стали А и Б одновременно из двух ковшей через две воронки, контролируя равенство высот зеркала жидкого металла в обеих частях

изложницы. Затем биметаллический слиток прокатывают на плакированные листы или фасонные профили;

2) комбинацией твердого металла с жидким, при котором твердые металлические плиты с химическим составом А закладывают в соответствующую изложницу для слитка и закрепляют, а затем заливают вокруг нее жидкий металл Б. Соединение (схватывание слоев) обычно обеспечивается только во время прокатки биметаллического слитка;

3) способ пакетной прокатки, при котором плакированные листы получают путем прокатки собранных и сваренных многослойных пакетов. В зависимости от назначения, расположение и количество слоев может быть различным (двух-, трех- и четырехслойные пакеты). Листы могут быть с одно- и двухсторонним плакированием.

Этот способ получил наибольшее распространение. Его сущность заключается в том, что основной и плакирующий металл собираются вместе в пакет, который обваривают герметичными швами. Затем, пакет перед прокаткой нагревают до температур 1450...1550 К, при которой происходит растворение и восстановление окислов на всех поверхностях герметичного объема. Последующая прокатка с величиной обжатия не менее 60% приводит к сварке основного металла с плакирующим слоем.

4) плакирование взрывом. Применяется преимущественно для таких пар материалов, соединить которые другими способами плакирования трудно или же для изготовления изделий специального назначения. Соединение (схватывание) в этом случае возможно и между такими металлами, которые не растворяются один в одном, образуют интерметаллические соединения при повышенных температурах или резко различаются по сопротивлению деформации. Для этого способа характерно применение основного металла и плакирующего материала (покрытия) в холодном состоянии. Сущность плакирования взрывом заключается в том, что на поверхность плакирующего листа помещают взрывчатое вещество с детонатором. Как правило, плакирующий лист располагают под углом к основе. При взрыве, во время соударения пластин возникает струя металла, выходящая с поверхностных слоев основного и плакирующего материала. Вместе с ней удаляется и загрязнение, что способствует образованию ювенильно чистых поверхностей при соединении материалов. Процессы деформации во время соударения протекают при давлениях от нормального атмосферного до 15 МПа, соответствующих движению фронтов ударных волн.

Среди прочих способов плакирования используют получение двух- или трехслойных плакированных полос холодной прокаткой, например $Al + Fe + A$. Плакирование также производят накаткой порошка на полосу, а также путем прокатки порошковой ленты. Перечисленные способы плакирования предусматривают получение плакирующих слоев от нескольких до 20 мм.

Контрольные вопросы:

- 1 Классификация функциональных материалов по структуре, составу и физическим свойствам
- 2 Какими свойствами обладают наноразмерные кристаллические зерна?
- 3 Потенциальными областями применения рассмотренных наноструктурных покрытий являются?
- 4 Что представляет собой электродуговая металлизация?
- 5 Какие характеристики металлизации следует учитывать при выборе оборудования ?
- 6 Назовите преимущества лазерных покрытий?
- 7 Основные свойства, которые стараются добиться при плакировании?
- 8 Какие способы получения плакированных металлов наиболее распространены ?

Рекомендуемые темы докладов

- 1 Классификация и свойства сталей
- 2 Классификация и свойства чугунов.
- 3 Области применения и характеристики алюминиевых сплавов.
- 4 Области применения и характеристики медных сплавов.
- 5 Современные высокопрочные сплавы на основе алюминия.
- 6 Области применения и характеристики титановых сплавов.
- 7 Области применения и характеристики магниевых сплавов.
- 8 Области применения и характеристики никелевых сплавов.
- 9 Сплавы с регламентированным температурным коэффициентом линейного расширения.
- 10 Металлы с памятью формы, методы получения и применение.
- 11 Аморфные металлические сплавы, методы получения и применение.
- 12 Сверхпроводящие материалы.
- 13 Материалы со специальными магнитными свойствами.
- 14 Классификация и свойства технической керамики.

- 15 Дисперсно-упрочненные композиционные материалы.
- 16 Волокнистые композиционные материалы.
- 17 Слоистые композиционные материалы.
- 18 Конструкционные порошковые материалы.
- 19 Антифрикционные порошковые материалы.
- 20 Фрикционные порошковые материалы.
- 21 Пористые фильтрующие элементы.
- 22 Термопластичные и терморезистивные пластмассы.
- 23 Резины. Клеящие материалы. Герметики.
- 24 Области применения наноматериалов.
- 25 Наноструктурные материалы для перспективных применений.
- 26 Сверхтвердые инструментальные материалы, свойства и применение.
- 27 Применение и нанесение покрытий на режущие инструменты.
- 28 Свойства и методы нанесения защитных покрытий.
- 29 Теплозащитные и терморегулирующие покрытия.

Список использованных источников:

- 1 Адашкин, А.М. Материаловедение (металлообработка): Учебное пособие для начального профессионального образования / А.М. Адашкин, В.М. Зуев.. - М.: ИЦ Академия, 2012. - 288 с.
- 2 Адашкин, А.М. Материаловедение и технология материалов: Учебное пособие / А.М. Адашкин, В.М. Зуев.. - М.: Форум, НИЦ ИНФРА-М, 2013. - 336 с.
- 3 Рогов В.А., Позняк Г.Г. Современные машиностроительные материалы и заготовки. М.: Академия, 2007 – 450 с.
- 4 Болтон У. Конструкционные материалы: металлы, сплавы, полимеры, керамика, композиты. Карманный справочник. 3-е изд., стер. / Пер. с англ. – М.: Додэка-XXI, 2009. – 320с.
- 5 Рогов В.А., Соловьев В.В., Копылов В.В. Новые материалы в машиностроении: Учеб. пособие. – М.: РУДН, 2008. – 324 с.
- 6 Кобелев А.Г. Производство металлических слоистых композиционных материалов. М.: Логос, 2002.- 256 с.

- 7 Сухарева Л.А. Справочное пособие по композиционным материалам. М.: ГИОРД, 2007.- 156 с.
- 8 Костиков В.И. Сверхвысокотемпературные композиционные материалы.- М.: ГИОРД, 2005.- 187 с.
- 9 Батаев А. А., Батаев В. А. Композиционные материалы: строение, получение, применение. М.: Логос, 2006.- 213 с.
- 10 Батаев А.А., Батаев В.А. Композиционные материалы. М.: Логос, 2006.- 324 с.
- 11 Формостабильные и интеллектуальные конструкции из композиционных материалов./ Г.А. Молодцов и др. –М.: Машиностроение, 2000, - 352 с.
- 12 Артеменко А.А., Кононенко С.Г., Зайцева Н.Л. Основы технологии высокоэффективных магнитопластов: Учеб. пособие. – Саратов: СГТУ, 2001. – 47 с.
- 13 Сравнительные характеристики базальто-, стекло- и углепластиков, сформованных методом поликонденсационного наполнения / Ю.А. Кадыкова, О.Г. Васильева, С.Е. Артеменко, А.Н. Леонтьев // Пластические массы.- 2003. - №5. – С.37-38.
- 14 Полимерные композиционные материалы на основе волокон различной химической природы / Ю.А. Кадыкова, А.Н. Леонтьев, О.Г. Васильева, С.Е. Артеменко // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2002. - №6.- С.10-11.
- 15 Балабанов В. Нанотехнологии. Наука будущего (Открытия, которые потрясли мир) – М.: Эксмо, 2009. – 256 с.
- 16 Пул Ч., Оуэнс Ф. Нанотехнологии. М.: Техносфера, 2005.– 336с.
- 17 Попова Е.А. Урок-лекция «Что такое нанотехнологии»/ Интернет-ресурс (<http://www.informio.ru/publications/id174>).
- 18 Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы. – М.: ИКЦ Академкнига, 2007. –397с.
- 19 Носкова Н.И., Мулюков Р.Р. Субмикроструктурные и нанокристаллические металлы и сплавы. – Екатеринбург:УрО РАН, 2003.– 279с.
- 20 Перспективные материалы. Структура и методы исследования / Учебное пособие/ Под ред. Д. Л. Меерсона. ТГУ, МИСиС, 2006.–536с.
- 21 Светухин В.В., Разумовская И.В., Булярский С.В., Золотовский И.О. и др. «Введение в нанотехнологии». Учебное пособие для 10-11 классов средней общеобразовательной школы, Ульяновск, 2008. – с. 160.
- 22 Рыбалкина М. Нанотехнологии для всех. Большое - в малом – М.: Nanotechnology News Network, 2005. – 434с.
- 23 Ж.М. Бледнова, М.А. Степаненко Научно-образовательный курс: Роль сплавов с эффектом памяти формы в современном машиностроении, Краснодар 2012-69 с.
- 24 Pushin V.G. The nanostructured TiNi shape-memory alloys: new properties and application /V.G. Pushin., R.Z. Valiev// J.Solid State Phenomena.– 2003.-Vol. 94.– P.13-24

- 25 Гусев А.И. Нанокристаллические материалы: методы получения и свойства. – Екатеринбург: УрО РАН, 1998. – 200 с
- 26 Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. М.: Академия, 2007 – 179 с