

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Ульяновский государственный технический университет»

Ю. А. Кузьмин

**КОНСТРУКЦИОННЫЕ
И ЗАЩИТНО-ОТДЕЛОЧНЫЕ
МАТЕРИАЛЫ
В АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИИ**

Ульяновск

2009

УДК 629.113.002 (075)

ББК 39.33-08 я 7

К 89

Рецензенты:

зав. кафедрой «Физическое материаловедение» профессор,

д-р физ.-мат. наук Скворцов А. А.,

зав. циклом «Автомобили», профессор, д-р техн. наук Антонов И. С.;

генеральный директор ООО «УНИТЕК» д-р техн. наук Епифанов В. В.

*Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Кузьмин, Ю. А.

К 89 Конструкционные и защитно-отделочные материалы в автомо-
билестроении : учебное пособие / Ю. А. Кузьмин. – Ульяновск :
УлГТУ, 2009. – 186 с.

ISBN 978-5-9795-0558-9

Рассмотрены основные материалы для изготовления автомобиля: стали, чугуны, цветные металлы с антикоррозионными покрытиями, фрикционные и антифрикционные материалы, пластмассы, защитно-отделочные материалы: эмали, лаки, шпатлевки, обивочные ткани и др. Даны их свойства и назначения.

Для студентов всех форм обучения направления 653200 «Транспортные машины и транспортно-технологические комплексы» специальности 19020165 «Автомобиле- и тракторостроение».

УДК 629.113.002 (075)

ББК 39.33-08 я 7

ISBN 978-5-9795-0558-9

© Кузьмин Ю. А., 2009
© Оформление. УлГТУ, 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	7
1.1. СТРОЕНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ.....	7
1.2. МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	8
1.3. КОНСТРУКЦИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....	16
2. ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....	20
2.1. ТРЕНИЕ И ИЗНОС РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ.....	20
2.2. ФРИКЦИОННЫЕ И АНТИФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	23
2.2.1. ПРИРОДА ФРИКЦИОННОСТИ И АНТИФРИКЦИОННОСТИ.....	24
2.2.2. АНТИФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	28
3. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ.....	34
3.1. КОНСТРУКТИВНЫЕ СПОСОБЫ.....	34
3.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ.....	38
3.3. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СПОСОБЫ.....	40
4. СПОСОБЫ УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН.....	43
4.1. ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ.....	43
4.2. НАПЛАВКА И НАПЫЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ.....	44
5. ЭФФЕКТ БЕЗЫЗНОСНОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛИ.....	47
5.1. САМООРГАНИЗАЦИИ В УЗЛАХ ТРЕНИЯ.....	47
5.2. ИЗБИРАТЕЛЬНЫЙ ПЕРЕНОС ПРИ ТРЕНИИ.....	49
6. КУЗОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	52
6.1. ЛИСТОВАЯ СТАЛЬ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КУЗОВА.....	52
6.2. КУЗОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С АНТИКОРРОЗИОННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ.....	54
6.3. НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КУЗОВА АВТОМОБИЛЯ.....	58
7. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ (КМ).....	61
7.1. СТРУКТУРА И СОСТАВ КМ.....	61
7.2. ГИБРИДНЫЕ КМ.....	65
8. УПРОЧНЕННЫЕ КМ.....	67
8.1. ДИСПЕРСИОННО – УПРОЧНЕННЫЕ И ВОЛОКНИСТЫЕ КМ.....	67

8.2. КМ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ.....	79
9. КМ НА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ.....	91
9.1. СТРУКТУРА КМ НА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ.....	91
9.2. СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ СВОЙСТВ КМ.....	93
9.3. УГЛЕРОД – УГЛЕРОДНЫЕ КМ.....	101
10. ПЛАСТМАССЫ.....	104
10.1. СОСТАВ И СВОЙСТВА.....	105
10.2. ТЕРМОПЛАСТИЧНЫЕ ПЛАСТМАССЫ.....	112
10.3. ТЕРМОРЕАКТИВНЫЕ ПЛАСТМАССЫ.....	113
11. ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	117
11.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ.....	117
11.2. ЭМАЛИ.....	118
11.3. КРАСКИ И ПРОЗРАЧНЫЕ ЛАКИ.....	121
12. ГРУНТОВКИ, РАЗБАВИТЕЛИ, ОТВЕРДИТЕЛИ.....	126
12.1. ГРУНТОВКИ.....	126
12.2. РАЗБАВИТЕЛИ И РАСТВОРИТЕЛИ.....	130
13. ШПАТЛЕВКИ И КЛЕИ.....	138
13.1. ВИДЫ ШПАТЛЕВОК.....	138
13.2. КЛЕИ.....	144
14. ИНТЕРЬЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И БЕЗОПАСНЫЕ СТЕКЛА.....	153
14.1. ОБИВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	153
14.2. БЕЗОПАСНЫЕ СТЕКЛА.....	156
15. ЭНЕРГОПОГЛОЩАЮЩИЕ, СВЕТОВОЗВРАЩАЮЩИЕ, ШУМО- И ВИБРОЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	162
15.1. ЭНЕРГОПОГЛОЩАЮЩИЕ И СВЕТОВОЗВРА- ЩАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ.....	162
15.2. ШУМО- И ВИБРОЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....	164
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	168
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	169
ГЛОССАРИЙ.....	179
ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.....	180
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	182

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебное пособие составлено на основании государственного общеобразовательного стандарта для обучения студентов направления 653200 «Транспортные машины и транспортно-технологические комплексы» специальности 19020165 «Автомобиле- и тракторостроение» по дисциплине «Конструкционные и защитно-отделочные материалы в автомобилестроении».

Индекс	Наименование дисциплины и ее основные разделы	Всего часов
СД. 08.	<p><u>Конструкционные и защитно-отделочные материалы в автомобиле- и тракторостроении.</u></p> <p>Конструкционные материалы: конструктивная прочность металлических сплавов; износостойкость деталей; методы повышения износостойкости деталей; износостойкие стали; слоистые, углеграфитовые, металлокерамические антифрикционные материалы; способы упрочнения стальных деталей; высокопрочные стали; кузовные материалы; композиционные материалы; пластмассы; стеклопластики контактного формования; кузовные материалы с антикоррозионными покрытиями; алюминиевые сплавы; клеи.</p> <p>Защитные и отделочные материалы: лакокрасочные материалы; герметики; фосфаты; грунтовки; шпатлевки; светоотражающие материалы; энергопоглощающие материалы; безопасные интерьерные и отделочные материалы; безопасные стекла; материалы, улучшающие экологические показатели автомобилей и тракторов; шумо- и виброзащитные материалы.</p>	68

Написание учебного пособия вызвано отсутствием учебной литературы по указанной дисциплине, а также учитывая особой важностью необходимого знания по применению и использованию основных материалов для создания автомобиля. Поэтому учебное пособие является попыткой восполнить существующий пробел.

Целью изучения дисциплины является формирование у студентов данной специальности знаний теоретических основ: прочности и износостойкости конструкционных сталей и сплавов, пластмасс и лакокрасочных и других материалов в автомобилестроении. Основная цель дисциплины – подготовка специалистов, умеющих на основе современных научных и технических достижений отечественного и зарубежного автомобилестроения обеспечить прочность и надежность узлов и деталей автомобиля путем рационального использования конструкционных и защитно-отделочных материалов с минимальной стоимостью изготовления.

Основными задачами изучения дисциплины являются: научить студентов системному подходу связанному с выбором конструкционных материалов при проектировании автомобилей, а также в ремонтно-восстановительных работах в сервисном обслуживании; обучить студентов современным методам подбора материалов, безопасных в эксплуатации; сформировать у студентов навыки в определении рационального использования материалов, его экономической оценки и целесообразности использования при проектировании и подготовить студентов к самостоятельному решению основных задач в области проектирования узлов и агрегатов автомобиля в целом.

В учебном пособии освещены вопросы конструкционной прочности и износостойкости сталей и сплавов, методы повышения их долговечности.

Уделено внимание кузовным материалам с антикоррозионными покрытиями, высокопрочным композиционным материалам, пластмассам, а также защитно-отделочным материалам (эмали, лаки, грунтовки и т. п.).

1. КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1.1. СТРОЕНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Обычно к твердым телам относятся только кристаллические тела. Характерная особенность для них – это правильное расположение атомов, называемое кристаллической решеткой. Твердые тела имеют кристаллические решетки трех типов:

- объемно – центрированную кубическую (ОЦК);
- гранецентрированную кубическую (ГЦК);
- гексагональную плотноупакованную (ГПУ) (см. рис. 1.1).

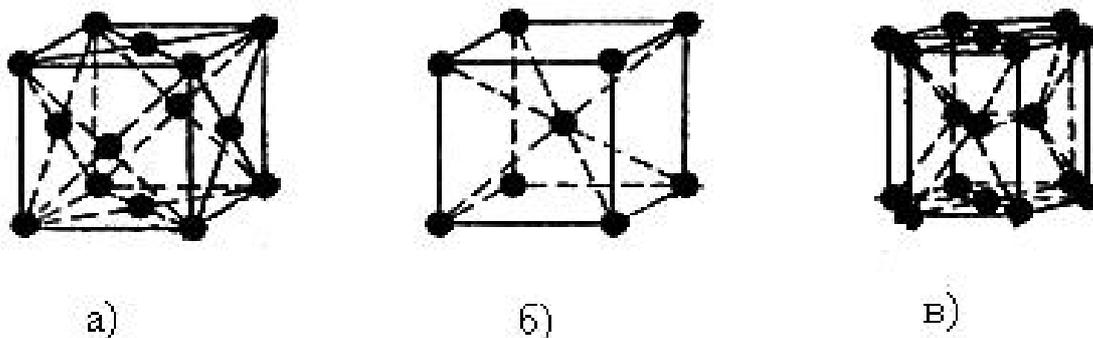


Рис. 1.1. Элементарные кристаллические ячейки: а) ГЦК; б) ОЦК; в) ГПУ

Многokратным повторением элементарных ячеек можно получить твердое тело, называемое *монокристаллом*. Правильная геометрия и анизотропия свойств (т. е. зависимость свойств от их направления) характерны для монокристаллов. Под действием механических напряжений в монокристаллах может происходить сдвиг по плоскости легкого скольжения одной части кристалла от другой.

Металлы и их сплавы, применяемые в технике, являются в основном поликристаллами, состоящими из множества зерен; в пределах одного зерна существует правильная кристаллическая решетка. Размеры зерен у металлов различны по величине и колеблются от 1 до 10 000 мкм, а толщина границ между

зернами составляет около 0,0005 мкм. Хаотическое расположение зерен поликристаллов придает им свойства изотропии.

В объеме металлов содержится большое количество различных дефектов (вакансий, дислокаций, внедренных инородных атомов). Кроме того присутствуют углерод в свободном или связанном состоянии, различные постоянные примеси (S, Mn, P, O, H и др.), легирующие элементы (Cr, Ni, W, V и др.), а также имеются разрывы сплошности материала в виде пор и субмикротрещин.

Границы зерен в строении металлов занимают особое место. На этих участках металл находится в ослабленном состоянии в связи с повышенной концентрацией различных дефектов. В локальном объеме металла критическая плотность дислокаций способствует возникновению трещины. Поры и трещины образуют в металлах развитую микрокапиллярную сеть, начинающуюся на поверхности в виде системы микроскопических и субмикроскопических трещин и полостей, переходящих во внутренние трещины. Внешняя среда за счет адсорбционных и диффузионных процессов проникает внутрь тела металла и оказывает негативное физико-химическое воздействие на его механические свойства. Механические свойства сталей характеризуются пределом прочности σ_B , пределом текучести σ_T , модулем продольной упругости E , коэффициентом Пуассона μ и т. д.

1.2. МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Выбор материала и термообработки деталей машин определяется конструктивными соображениями (обеспечение надежности), технологическими (единичное, серийное, массовое производство) и экономическими.

Для изготовления деталей машин широко применяют стали и чугуны, а также алюминиевые, магниевые, титановые и медные сплавы.

Стали. Сталями называют железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода до 2%. По сравнению с другими материалами стали имеют высокую

прочность, пластичность, хорошо обрабатываются термически, химико-термически и механически.

Общая характеристика. В зависимости от содержания углерода стали подразделяют на низкоуглеродистые ($C \leq 0,25\%$), среднеуглеродистые ($C = 0,25 \dots 0,6\%$) и высокоуглеродистые ($C > 0,6\%$). С увеличением содержания углерода возрастает прочность и снижается пластичность.

В обозначении марки стали среднее содержание углерода в сотых долях процента показывают первые две цифры (например, сталь 45 содержит 0,45% углерода).

Для улучшения свойств (механических, коррозионных, тепловых и др.) сталей применяют легирующие присадки (в скобках указаны буквенные обозначения присадок в марке стали): вольфрам (В), марганец (Г), медь (Д), молибден (М), никель (Н), бор (Р), кремний (С), титан (Т), хром (Х), ванадий (Ф), алюминий (Ю). Процентное содержание в стали легирующих присадок указывают цифрами после буквы (например, сталь 12Х2Н4А содержит в среднем 0,12% углерода, 2% хрома и 4% никеля). По способу производства углеродистые стали подразделяют на стали обыкновенного качества и стали качественные конструкционные, а легированные стали – на качественные, высококачественные (в конце обозначения марки стали содержится буква А, например, 30ХГСА) и особо высококачественные.

Из углеродистых сталей обыкновенного качества для изготовления ответственных деталей (корпусов, крепежа и др.) наиболее часто используют мартеновские стали, обозначаемые буквами Ст и номерами в порядке возрастания прочности (от Ст0 до Ст7, начиная со стали Ст4 номер соответствует $0,1\sigma_{e \min}$; $\sigma_{e \min}$ – минимальное значение предела прочности стали).

Легированные стали дороже углеродистых. Они, а также качественные углеродистые стали, имеют высокую прочность ($\sigma_e = 800 \div 1400$ МПа) при массовой плотности $\rho = 7,8$ г/см³ и являются основными материалами для изготовления различных ответственных деталей машин (зубчатых колес, валов и т. п.).

Термическая обработка. Для придания стали определенных свойств (высокой прочности, пластичности и т. д.) выполняют термическую обработку заготовок или готовых деталей, которая состоит из трех последовательных стадий: нагрева до требуемой температуры с определенной скоростью, выдержки при этой температуре в течение требуемого времени и охлаждения с заданной скоростью.

Наиболее распространены четыре процесса термической обработки: отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

Отжиг, характеризуемый медленным охлаждением (вместе с печью или на воздухе) после нагрева и выдержки при некоторой температуре деталей и заготовок, проводят для снижения твердости и улучшения обрабатываемости резанием отливок, проката и поковок из углеродистых легированных сталей, а также для снятия остаточных напряжений в конструкциях после сварки или предварительной (черновой) обработки резанием. Для углеродистых и углеродистых легированных сталей проводят полный отжиг – нагрев до температуры, превышающей на 30–50 °С температуру превращения объемноцентрированной решетки железа в гранецентрированную кубическую решетку (обычно 800–900°С), выдержку при этой температуре, медленное охлаждение до 400–600°С вместе с печью и далее на воздухе. Для низкоуглеродистых высоколегированных сталей 12Х2Н4А, 20Х2Н4А и др., используемых для изготовления зубчатых колес, применяют низкотемпературный (высокий) отжиг при температуре 650–670 °С и медленное охлаждение (чаще всего на воздухе). Используют и другие виды отжига, которые отличаются от высокого отжига температурой нагрева и скоростью охлаждения.

Нормализация отличается от полного отжига характером охлаждения, которое после выдержки производят на воздухе. Ее применяют для получения однородной структуры с более высокой твердостью и прочностью, чем после отжига, для исправления структуры сварных швов, выравнивания структурной неоднородности поковок и отливок, а также для улучшения обрабатываемости резанием сталей.

З а к а л к а отличается от полного отжига и нормализации высокой скоростью охлаждения заготовок или деталей после нагрева до температуры превращения и выдержки при этой температуре. Высокая скорость охлаждения достигается за счет использования в качестве охлаждающей среды воды, масла, водных растворов солей NaOH, NaCl и др. В результате металл приобретает мелкозернистую однородную структуру с высокой твердостью, прочностью, износостойкостью, коррозионной стойкостью, но пониженной пластичностью и более трудной обрабатываемостью резанием.

Закалку широко используют для обработки отливок, поковок, штамповок и обработанных деталей из средне- и высокоуглеродистых и легированных сталей для получения высоких эксплуатационных характеристик.

Существует ряд разновидностей объемной закалки, отличающихся условиями и характером быстрого охлаждения.

Широко применяют поверхностную закалку – нагрев с большой скоростью поверхностного слоя стальной детали (токами высокой частоты, электронным лучом и др.) выше температуры превращений и последующее быстрое охлаждение с получением мелкозернистой структуры в поверхностном слое определенной толщины. При поверхностной закалке коробление (деформация) деталей меньше, чем при объемной.

Поверхностной закалке подвергают детали машин (зубья колес, кулачки, валы и др.), изготовленных из углеродистых и низколегированных сталей марок 40, 45, 50, 40X, 40XH, 45X и др.

Высокая твердость и прочность поверхностных слоев деталей после поверхностной закалки обеспечивают им высокую износостойкость и контактную прочность (см. рис. 1.2.)

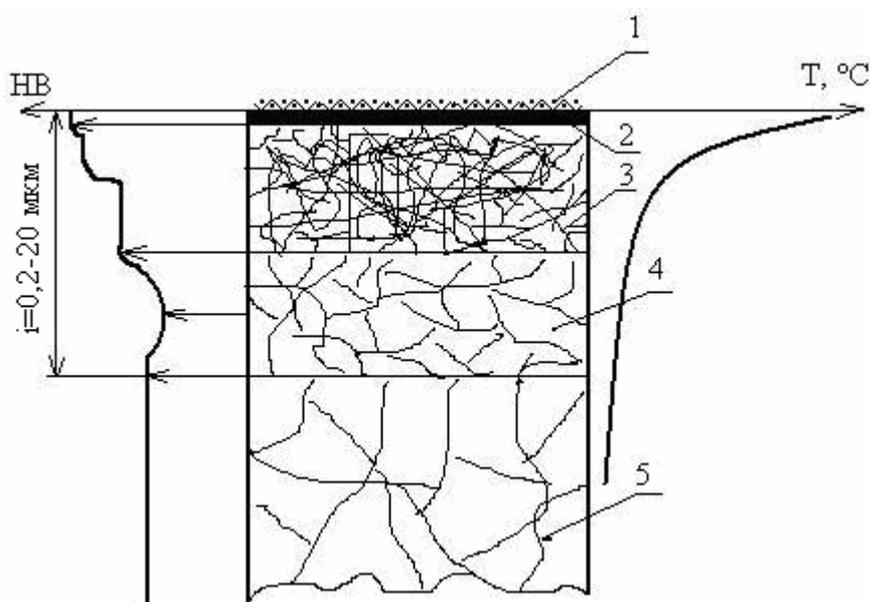


Рис. 1.2. Структура поверхностного слоя металла детали:
 1 – адсорбированный слой, состоящий из пленок влаги, газов и загрязнений (0,01...0,1 мкм);
 2 – слой оксида, имеющий повышенную твердость; 3 – слой с сильно деформированной кристаллической решеткой в результате наклепа; 4 – более глубокий слой с искаженной кристаллической решеткой и большим числом вакансий и дислокаций;
 5 – металл с исходной структурой

Отпуск – нагрев до температуры ниже интервала превращений, выдержка в последующее охлаждение для повышения вязких свойств, уменьшения термических остаточных напряжений и улучшения обрабатываемости резанием. Обычно применяют после закалки (нормализации) стальных отливок, поковок, проката и механически обработанных деталей.

В зависимости от температуры нагрева различают высокий отпуск (температура нагрева 500–670 °С), средний отпуск (250–450 °С) и низкий отпуск (140–230 °С). С увеличением температуры нагрева повышается пластичность стали после отпуска.

Химико-термическая обработка (см. с. 40). При химико-термической обработке изменяется химический состав поверхностных слоев деталей, что позволяет получить мелкозернистую структуру, высокую твердость, прочность и износостойкость деталей. Существует ряд способов такой обработки: *цементация* – насыщение поверхностных слоев стали углеродом; *азотирование* – насыщение азотом; *цианирование* – одновременное насыщение

углеродом и азотом; б о р и р о в а н и е – насыщение бором и др. Глубина насыщения невелика, обычно 0,2-1мм.

Цементации подвергают детали из низкоуглеродистых легированных сталей 15, 20X, 12X2H4A, 12XH3A, 18X2H4MA и др. Для изготовления азотируемых деталей обычно используют стали 38X2MЮА, 38X2Ю и др., а для цианируемых деталей – стали марок 15, 20, 45, 35X, 40X и др.

Чугуны. Чугунами называют железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода свыше 2%. Чугуны имеют высокие литейные и невысокие пластичные свойства в сравнении со сталями.

В зависимости от структуры чугуны подразделяют на белые, ковкие и серые.

Белый чугун, обладающий высокой твердостью и хрупкостью, обрабатывают резанием твердосплавным инструментом. Используют для изготовления тормозных колодок и других деталей, взаимодействующих с абразивом.

Ковкий чугун применяют для деталей, получаемых литьем, и не обрабатывают давлением из-за низкой пластичности. Он имеет высокую прочность ($\sigma_s = 300 \div 630$ МПа).

Серый чугун является основным литейным материалом в машиностроении. Его используют для изготовления деталей сложной конфигурации при отсутствии жестких требований к габаритам и массе (зубчатые колеса, валы, детали корпусов, шкивы ременных передач и т. д.). Имеет высокие литейные свойства, среднюю прочность ($\sigma_s \leq 400$ МПа), удовлетворительную износостойкость, высокую демпфирующую способность, хорошо обрабатывается резанием.

Серый чугун обозначается буквами СЧ и двухзначной цифрой, показывающей деленные приблизительно на 10 значения предела прочности при растяжении в МПа (например, СЧ 15 означает серый чугун с пределом прочности при растяжении 150 МПа).

Наибольшее применение имеют чугуны СЧ15 и СЧ20, используемые для получения отливок средней прочности, их массовая плотность $\rho = 7$ г/см³.

Медные сплавы разделяют на *латуни* и *бронзы*.

Латуни подразделяют, в свою очередь, на двойные (сплавы меди и цинка) и многокомпонентные (содержат дополнительно свинец, кремний, марганец и др.).

Латуни имеют хорошие технологические свойства (обрабатываются давлением, резанием, литьем), достаточную прочность ($\sigma_s = 250 \div 350$ МПа), хорошее сопротивление коррозии. Стоимость латуни в 5 раз и более превышает стоимость качественной стали.

Латунь в своем обозначении содержит букву Л, например, Л59, Л62 Л90 и др.

В машиностроении основное применение имеют сложные латуни ЛКС80-3-3, ЛМцС58-2-2 и др., используемые в узлах трения, а также для изготовления арматуры и т. д.

Бронзы, кроме основы – меди – содержат компоненты, определяющие их наименование. Различают бронзы оловянистые, свинцовые, алюминиевые, бериллиевые и др.

Бронзы имеют высокие антифрикционные свойства, коррозионную стойкость и технологические свойства (имеются в виду литейные бронзы и бронзы, обрабатываемые давлением – алюминиевые, бериллиевые, кремнистые и др.).

Являясь важнейшим и дорогостоящим (примерно в 10 раз дороже стали) антифрикционным материалом, бронзы широко применяют в подшипниках скольжения, в червячных и винтовых колесах и др. Бронзы обозначают буквами Бр, буквами, показывающими наличие основных компонентов кроме меди (А – алюминий, Б – бериллий, Ж – железо, К – кремний, О – олово, Ц – цинк, Ф – фосфор и др.), и цифрами, показывающими среднее содержание в % соответствующих компонентов. Например, БрАЖ9 – 4 – это обозначение марки бронзы со средним содержанием алюминия 9% и железа 4%.

Баббиты – сплавы на основе олова, свинца и кальция являются высококачественными, хорошо прирабатывающимися антифрикционными подшипниковыми материалами. Их обозначают буквой Б и цифрой, выражающей содержание в процентах олова, или буквой, показывающей дополнительный компонент.

Очень высокая стоимость баббитов (в 20 раз и более превышающая стоимость качественной стали) ограничивает области их использования.

Алюминиевые сплавы (литейные АЛ и деформируемые) имеют плотность $\rho = 2,6 \div 2,9 \text{ г/см}^3$ (почти в 3 раза меньшую, чем стали) и удельную прочность, приблизительно равную удельной прочности стали.

Основными литейными сплавами являются сплавы с кремнием – силумины (АЛ2, АЛ4, АЛ5, АЛ9 и др.), имеющие после закалки $\sigma_{\sigma} = 170 \div 250 \text{ МПа}$. Обладая высокими литейными свойствами и хорошей обрабатываемостью резанием, они широко применяются для изготовления сложных деталей корпусов машин.

Деформируемые сплавы марок АМц, АМг и др. (термически неупрочняемые), а также термически упрочняемые сплавы алюминия с медью и магнием (дуралюмины Д1, Д16 и др.) имеют $\sigma_{\sigma} = 350 \div 430 \text{ МПа}$ и используются для изготовления обработкой давлением и резанием корпусов, трубопроводов, заклепок, сепараторов подшипников и других деталей машин (в особенности транспортных).

Магниеые сплавы. Основное применение благодаря малой плотности ($\rho = 18 \text{ г/см}^3$) и высоким литейным свойствам имеют литейные сплавы МЛ (МЛ3, МЛ4, МЛ5 и др.), которые после термообработки дают $\sigma_{\sigma} = 200 \div 230 \text{ МПа}$, $\sigma_m = 150 \div 180 \text{ МПа}$. Их применяют для изготовления деталей корпусов агрегатов.

Титановые сплавы. Сплавы титана с алюминием и медью и другими присадками (ВТ3-1, ВТ5, ВТ9, ВТ16, ВТ22 и др.) имеют после термообработки высокую прочность ($\sigma_{\sigma} = 900 \div 1300 \text{ МПа}$) и малую плотность ($\rho = 4,5 \text{ г/см}^3$), высокую коррозионную стойкость. Их используют для изготовления корпусов, трубопроводов, крепежных деталей, заклепок и других деталей изделий авиационно-космической техники, судостроения, химической и пищевой промышленности.

1.3. КОНСТРУКЦИОННАЯ ПРОЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Прочность – способность детали сопротивляться разрушению – оценивается несколькими способами: а) с помощью допускаемых напряжений; б) запасами прочности; в) статистическими запасами прочности.

Наибольшее распространение получил *метод расчета по допускаемым напряжениям*, согласно которому наибольшее напряжение σ_{\max} в некоторой точке нагруженной детали не должно превышать определенной величины, свойственной данному материалу и типу детали.

Условие прочности детали по допускаемому напряжению имеет вид

$$\sigma_{\max} \leq [\sigma], \quad (1.1)$$

где $[\sigma]$ – допускаемое напряжение, МПа.

Такая оценка удобна, и поэтому на практике для однотипных конструктивных элементов (деталей), устоявшейся технологии их изготовления, стабильных условий нагружения разработана система допускаемых напряжений, обобщающая предшествующий опыт эксплуатации машин, приборов и аппаратов различного назначения.

Однако такой оценке прочности присущи и недостатки:

1) величина допускаемого напряжения носит условный характер, так как не отражает характера предполагаемого разрушения, режима нагружения и других факторов, влияющих на надежность;

2) допускаемое напряжение, особенно при переменной нагрузке, зависит от геометрии детали, материала, технологии изготовления, что затрудняет его использование в качестве нормативной характеристики;

3) величина $[\sigma]$ не дает представления о надежности детали в явном виде, так как в формуле (1.1) не показано соотношение действующих и предельных напряжений для материала детали (предела текучести σ_T , предела прочности σ_b , предела выносливости и др.).

В инженерных расчетах допускаемые напряжения используют в основном для предварительных расчетов, связанных с приближенным определением основных размеров деталей.

Широкое распространение получил также *расчет по запасам прочности*.
Условие прочности в этом случае

$$s = \frac{\sigma_{пред}}{\sigma_{max}}, \quad (1.2)$$

где $[s]$ – запас прочности;

$\sigma_{пред}$ – предельное напряжение (предел прочности при постоянных нагрузках, предел выносливости при переменных нагрузках), полученное экспериментально или взятое из справочника;

σ_{max} – максимальное напряжение в опасной точке детали, вычисленное при наибольшей (ожидаемой или установленной тензометрированием) рабочей нагрузке.

Величина $\sigma_{пред}$ отражает геометрию детали, технологию ее изготовления и условия нагружения, поэтому величина необходимого запаса прочности имеет стабильное значение.

Условия прочности по допускаемым напряжениям и запасам прочности связаны соотношением

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{пред}}{[S]}, \quad (1.3)$$

При действии статических нагрузок иногда используют запас прочности по несущей способности

$$[S] = \frac{F_{разр}}{F}, \quad (1.4)$$

показывающий отношение нагрузок в момент разрушения и в рабочих условиях.

В описанных методах оценки прочности носят детерминированный характер и не учитывают должным образом неизбежное рассеяние разрушающих и максимальных напряжений.

Статические запасы прочности являются более обоснованными характеристиками прочностной надежности, в особенности для отказов конструкций с тяжелыми последствиями.

Переменные напряжения в детали в процессе работы определяют с помощью тензометрирования. Рассеяние рабочих напряжений вызвано колебаниями нагрузки при работе машины.

Предел выносливости детали определяют экспериментально на некоторой базе испытаний (обычно 10^7 циклов). Разброс характеристик сопротивления усталости деталей обусловлен нестабильностью механических свойств металла даже в пределах одной плавки, отклонениями в режиме термообработки, отклонениями размеров деталей в пределах допусков, микроскопическими источниками рассеяния, связанными с неоднородной структурой материала и др.

Так как разрушающее и действующее напряжения являются случайными величинами, то и запас прочности конкретной детали является случайной величиной с функцией распределения $F(s)$:

$$[\bar{s}](q) = \frac{\bar{\sigma}_{разр} - u_{1-q} S_{\sigma_{разр}}}{\bar{\sigma}_{max} + u_{1-q} S_{\sigma_{max}}} = [\bar{s}] \frac{1 - u_{1-q} v_{\sigma_{разр}}}{1 - u_{1-q} v_{\sigma_{max}}}, \quad (1.5)$$

где u_{1-q} – односторонний квантиль доверительной вероятности $P_D = 1 - q$;

$[\bar{s}] = \bar{\sigma}_{разр} / \bar{\sigma}_{max}$ – запас прочности по средним напряжениям; $v_{\sigma_{разр}} = s_{\sigma_{разр}} / \bar{\sigma}_{разр}$

и $[s]_{\sigma_{max}} = s_{\sigma_{max}} / \bar{\sigma}_{max}$ – коэффициенты вариации.

Величины u_{1-q} для некоторых значений уровня значимости следующие:

q	0,10	0,05	0,01	0,0014
u_{1-q}	1,29	1,64	2,33	3,0

Статистические запасы прочности, как и обычные запасы прочности, имеют условное значение. Их используют как критерии сравнения надежности вновь создаваемых изделий с изделиями, удовлетворительно эксплуатируемыми.

Основное преимущество статистических запасов прочности перед детерминистскими (обычными) запасами состоит в том, что сопоставление приводится к одинаковым условиям по рассеянию значений $\sigma_{разр}$ и σ_{max} (по объему используемой информации).

Контрольные вопросы

1. Что называют сталями?
2. Приведите классификацию сталей.
3. Какие бывают виды термической обработки?
4. Какие знаете методы поверхностного упрочнения деталей?
5. Что называют чугунами?
6. Для каких целей используют медные сплавы?
7. Как определяют предел выносливости?
8. Для каких целей используют алюминиевые, магниевые и титановые сплавы?

2. ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

2.1. ТРЕНИЕ И ИЗНОС РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Общая характеристика процесса изнашивания. Многие детали машин выходят из строя вследствие изнашивания – разрушения поверхностных слоев трущихся тел, приводящего к уменьшению их размеров в направлении, перпендикулярном поверхности трения. Такие отказы связаны с потерей точности машин, приборов и инструментов, снижением коэффициента полезного действия машин, снижением прочности деталей из-за появления динамических нагрузок и уменьшения сечений, увеличением шума и другими негативными последствиями.

Износ вызывает существенное удорожание эксплуатации машин. Ежегодные расходы на поддержание и восстановление действующего парка некоторых машин (например, автомобилей) соизмеримы со стоимостью годового выпуска новых машин.

Существенно, что при постоянных условиях трения протекание изнашивания (по стадиям) подобно зависимости интенсивности отказов деталей от времени наработки.

На первой стадии происходит приработка поверхностей контакта (разрушение наиболее «уязвимых» микронеровностей и образование «равновесной» шероховатости). Затем наступает период установившегося изнашивания (вторая стадия), характеризующийся минимальной интенсивностью изнашивания для заданных условий трения. И, наконец, наступает третья стадия – катастрофический износ и резкое уменьшение размеров сечения детали.

Виды изнашивания. Механизм разрушения поверхностного слоя различный из-за многообразия изменений, возникающих в контактном слое. Различают механическое (усталостное, абразивное), молекулярно-механическое, коррозионно-механическое (окислительное, фреттинг-коррозия и т. д.) изнашивание. По характеру промежуточной среды различают изнашивание при трении без смазочного материала, изнашивание при граничном трении, изнашивание при нали-

чий абразива. По характеру деформирования поверхностного слоя изнашивание может происходить при упругом и пластическом контакте, при микрорезании.

Абразивное изнашивание – распространенный вид повреждения поверхности деталей транспортных, дорожных, сельскохозяйственных, горных и других машин, работающих в технологических средах, содержащих абразивные частицы.

Абразивное изнашивание является результатом срезания и пластического деформирования микронеровностей (шероховатостей) твердыми посторонними частицами при относительном перемещении сопряженных поверхностей. Эти частицы являются обычно минеральными и имеют неметаллические атомные связи, что и обуславливает сравнительную простоту физических процессов этого вида изнашивания. Отделение частиц при изнашивании происходит при однократном или многократном воздействии абразивного тела. В результате изнашивание идет в форме процесса микрорезания, либо в виде усталостного повреждения (малоциклового – при упругопластическом деформировании, собственно усталостного – при многоцикловом воздействии).

Для уменьшения абразивного изнашивания снижают уровень абразивного воздействия, повышают поверхностную твердость материалов деталей (закалкой, поверхностным пластическим деформированием, напылением порошками карбидов).

Для предотвращения чрезмерного абразивного (механического) изнашивания ограничивают удельную мощность, расходуемую на преодоление сопротивления в зоне контакта:

$$w = \sigma_k f v_{\text{ск}} \leq [w], \quad (2.1)$$

где f – коэффициент трения (сопротивления) между контактирующими деталями;

$v_{\text{ск}}$ – скорость относительного скольжения;

$[w]$ – допускаемая мощность трения, $[w] = 150 \div 250 \text{ Н} \cdot \text{мм}/(\text{мм}^2 \cdot \text{с})$ для шлицевых соединений и др.

Молекулярно-механическое изнашивание происходит при высоких контактных напряжениях в зоне сопряжения деталей из однородных материалов (зубчатых и гиперболоидных передач, резьбовых соединений и др.). Оно начинается с локального пластического деформирования и разрушения окисных пленок на отдельных участках поверхности контакта, а заканчивается молекулярным сцеплением (схватыванием) материала этих участков деталей и последующим разрушением зон схватывания при относительном движении.

Процесс развития повреждений трущихся поверхностей деталей вследствие схватывания называют заеданием. Интенсивность заедания увеличивается с ростом контактных напряжений (давлений), скорости относительного перемещения, температуры в зоне контакта и других факторов.

Для предупреждения схватывания на поверхности контактирующих деталей наносят защитные покрытия и окисные пленки, подают смазочный материал в зону контакта, повышают поверхностную прочность (твердость) деталей, ограничивают контактные напряжения и скорость относительного перемещения.

Расчеты на износ для предотвращения молекулярно-механического изнашивания ведут из условий

$$\sigma_k \leq [\sigma_k]; \quad \theta_k \leq [\theta_k], \quad (2.2)$$

где $[\sigma_k]$ и $[\theta_k]$ – допускаемые контактные напряжения и температура в зоне контакта.

При назначении значений $[\sigma_k]$ и $[\theta_k]$ решающую роль играет предшествующий опыт проектирования подобных конструкций.

Коррозионно-механическое изнашивание наблюдается в машинах и аппаратах, в которых трущиеся детали вступают в химическое взаимодействие со средой. Поверхность трения деталей разрушается под действием двух одновременно протекающих процессов: коррозии и механического изнашивания.

При вибрациях в условиях контакта металла с воздухом коррозионно-механическое изнашивание протекает в форме фреттинг-коррозии (от английского fret – подтачивать). В результате небольших циклических относительных

смещений деталей разрушаются тонкие окисленные поверхностные слои металла, которые не удаляются из зоны трения и превращаются в абразивные частицы (черный порошок). Процесс окисления непрерывен на воздухе, поэтому разрушение носит прогрессирующий характер. Фреттинг-коррозия способствует разрушению заклепочных, прессовых, резьбовых, шлицевых и шпоночных соединений.

Для защиты от фреттинг-коррозии используют различные методы поверхностного упрочнения зон контакта, наносят мягкие гальванические покрытия, напыляют тефлоновые и резиновые пленки и т. п.

В химически активных средах, в жидкостях и различных газах, где процессы коррозии протекают активно, коррозионно-механическое изнашивание деталей наносит существенный ущерб. Для предотвращения коррозионно-механического изнашивания применяют коррозионно-стойкие материалы.

2.2. ФРИКЦИОННЫЕ И АНТИФРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Условно принято называть материалы с коэффициентом трения $f > 0,2$ – фрикционными, а с $f < 0,2$ – антифрикционными.

Фрикционные материалы применяются в тормозах, муфтах сцепления, фрикционных механизмах, ременных и канатных передачах, на транспорте в виде колеса или рельса.

Антифрикционные материалы используются в подшипниках скольжения, направляющих, в системе поршневые кольца–цилиндр, электрических (часто размыкающихся) контактах и других устройствах.

2.2.1. Природа фрикционности и антифрикционности

Природа фрикционности и антифрикционности обусловлена двойственной природой трения (наличие молекулярной и деформационной составляющих сил трения), а также тем, что в процессе трения твердых тел участвуют лишь поверхностные слои, свойства которых (твердость, прочность на сдвиг) могут

заметно отличаться от объемных свойств. Совокупность этих требований, отличающих граничный слой от объема материала, сводится к необходимости создания на контакте положительного градиента механических свойств.

Фрикционные материалы должны иметь высокий коэффициент трения, а антифрикционные, наоборот, низкий. Фрикционный материал обладает низким модулем упругости при упругом контакте или низкой твердостью – при пластическом. Это обеспечивает повышение адгезионной составляющей коэффициента трения за счет увеличения фактической площади контакта и высокое значение деформационной составляющей коэффициента трения за счет низкого модуля упругости и, соответственно, более глубокого внедрения неровностей.

У антифрикционных материалов площадь фактического контакта невелика и, по возможности, формируется за счет упругой деформации микронеровностей. Для этого антифрикционный материал должен иметь достаточную твердость и высокий модуль упругости. Следует стремиться к снижению относительного внедрения материала и гистерезисных потерь.

Помимо основных требований, исходящих из назначения, к фрикционным и антифрикционным материалам предъявляются дополнительные требования:

- способность легко подвергаться механической обработке, простота технологии получения и отсутствие в их составе дорогих компонентов;
- стабильное значение коэффициента трения;
- способность быстро прирабатываться и иметь низкий износ;
- обладать коррозионной стойкостью, теплостойкостью, хорошей теплопроводностью и иметь низкий коэффициент теплового расширения;
- продукты износа не должны быть абразивными, токсичными и опасными в пожарном отношении.

Кроме того фрикционные материалы в ходе торможения не должны загораться открытым пламенем, набухать при наличии влаги, коэффициент трения должен укладываться в интервал 0,2 ... 0,5.

Антифрикционные материалы должны быть прочными, обеспечивая преимущественно упругий контакт, сохранять работоспособность узла трения при

надежной смазке, хорошо смачиваться смазочными материалами и иметь низкий коэффициент трения.

Положительный градиент механических свойств у фрикционных материалов достигается двумя путями. Первый путь заключается во введении в контактный слой промежуточного пластического слоя, у которого сопротивление сдвигу ниже, чем у взаимодействующих тел. Этот слой может образовываться из пластических веществ металлического и неметаллического происхождения, оксидных пленок, твердых смазок. Второй путь – применение в качестве фрикционного такого материала, который под действием сдвигающих напряжений и высоких температур в зоне контакта размягчается. При этом на поверхности трения возникает пластичная пленка.

На практике существуют следующие виды *фрикционных* материалов: металлические, асбокаучуковые, асбосмоляные, органические, металлокерамические. Контролем обычно служат прошедшие термообработку стали с высоким содержанием углерода и легированные, а также чугун.

К металлическим фрикционным материалам относятся серые чугуны, работающие обычно в паре с высокоуглеродистыми сталями типа У7, У8. В чугунах содержится углерод в виде графита, который вместе с продуктами износа создает на контакте пленку, обладающую пониженным сопротивлением сдвигу. Недостатком таких пар является сравнительно малый коэффициент трения, достоинством – низкая стоимость. Указанная пара применяется в тормозах колес железнодорожного транспорта.

Асбестокаучуковые материалы широко применяются в муфтах сцепления, тормозах автомобилей, тракторов и других машин. В их состав входят: асбест, каучук, сурик железный, сера, оксид цинка, свинец, латунная стружка, канифоль и др. Асбест, обладая волокнистой структурой, создает каркас изделия и весьма теплостоек. Его коэффициент трения обычно составляет 0,7 ... 0,8 и мало зависит от температуры. Каучук связывает все компоненты и обладает высоким коэффициентом трения. Сурик и оксид цинка весьма пластичны и способствуют образованию поверхностного слоя, обладающего противозадир-

ными свойствами. Однако у этих материалов коэффициент трения уменьшается при температурах свыше 200 ... 250°C из-за размягчения каучука (рис. 2.1). Вторым недостатком является также то, что при температуре порядка 400°C материал вспыхивает (горит каучук).

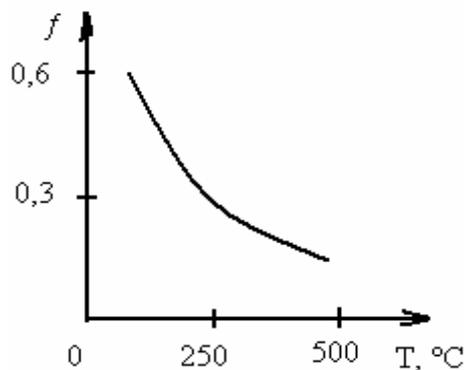


Рис. 2.1. Влияние температуры на коэффициент трения асбестокаучуковых материалов

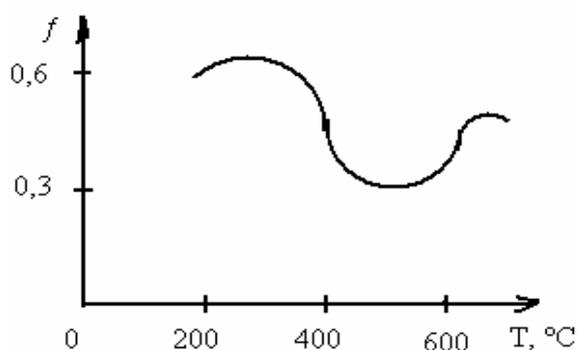


Рис. 2.2. Влияние температуры на коэффициент трения асбестосмоляных материалов

Асбестосмоляные материалы, в отличие от асбестокаучуковых, имеют связующее в виде синтетических смол, например, эпоксидной. Эти смолы при термическом распаде ведут себя иначе, чем каучуки. Продукты распада образуют пленку кокса. У кокса обычно пористая структура, которая заполняется продуктами распада. С ростом температуры коэффициент трения таких материалов падает (рис. 2.2) и при 400 ... 500°C проходит через минимум, затем возрастает. Типичными асбестосмоляными материалами являются ретинаксы (ФК-24А, ФК-16Л), в которые вводится латунная проволока, улучшающая структуру промежуточного слоя.

Применяется ретинакс в тяжело нагруженных тормозах (буровые лебедки, авиаколеса). Общим недостатком асбестокаучуковых и асбестосмоляных фрикционных материалов является наличие асбеста, т. к. он является экологически опасным материалом. Тончайшие моноволокна, попадая в воздух в виде пыли, образуют устойчивую взвесь, которая весьма медленно оседает. Попадая в легкие людей и животных, волокна поражают органы дыхания, вызывая заболевание – «асбестоз».

Органические фрикционные материалы (дерево, кожа, пробка, резина) применяются в слабонагруженных узлах трения, чаще – в приборах. Общим недостатком этих материалов является низкая теплопроводность, теплостойкость, высокая стоимость и низкая нагрузочная способность.

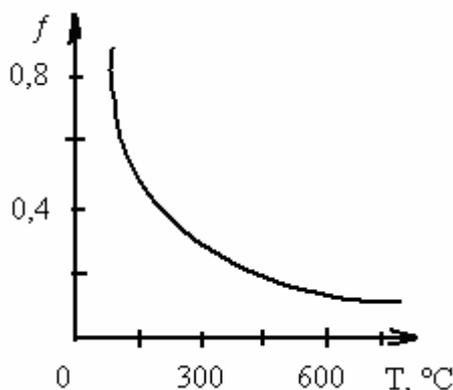


Рис. 2.3. Влияние температуры на коэффициент трения металлокерамических материалов

Металлокерамические материалы получают методом порошковой металлургии: прессованием с последующим спеканием или наплавкой порошковой проволоки, взрывом. Такие материалы весьма теплостойки, т. к. основа их может быть медная и железная. Однако они склонны к схватыванию и имеют резко выраженную падающую характеристику $f - T$ (рис. 2.3). Наибольшее распространение получила металлокерамика ФМК-11 ($f = 0,21 \dots 0,27$, $T = 400 \dots 600^\circ\text{C}$), имеющая в своем составе, (массовая доля, %) Fe – 64, Cu – 15, графита – 8, SiO – 3 и асбеста – 3; а также МК – 5 ($f = 0,25 \dots 0,27$, $t = 300 \dots 500^\circ\text{C}$), содержащая, массовая доля, % Cu – 68, Sn – 68, Pb – 9, Fe – 3, графита – 9.

Перспективным является применение пористых металлокерамических материалов, пропитанных различными полимерами.

2.2.2. Антифрикционные материалы

Антифрикционными называются материалы, которые при трении даже в тяжелых условиях нагружения имеют сравнительно небольшой коэффициент трения и мало изнашиваются. Наиболее многочисленной группой антифрикционных материалов являются материалы, предназначенные для подшипников скольжения. Понятие «антифрикционность» включает комплекс свойств, которым должен удовлетворять подшипниковый материал: достаточную статическую и динамическую прочность при повышенных температурах; способность образовывать прочный граничный слой смазочного материала и быстро восстанавливать его в местах, где он разрушен; низкий коэффициент трения при несовершенной смазке, отсутствие заедания на валу в случае перерыва в подаче смазочного материала; высокие теплопроводность, теплоемкость, прирабатываемость, хорошую износостойкость сопряжения; недефицитность и высокую технологичность.

Следует отметить, что подшипниковых материалов, удовлетворяющих всем этим требованиям, нет. Так, прочность оловянистых баббитов снижается с повышением температуры, прирабатываемость бронз неудовлетворительная, неметаллические антифрикционные материалы имеют низкую теплопроводность.

Критерием оценки антифрикционных подшипниковых материалов является условие их работы. Поэтому существует и определенная трудность при выборе подшипниковых материалов. Необходимо знать условия эксплуатации, основные свойства самих материалов сопряжения и третьего тела, в частности, смазки.

Существуют следующие виды антифрикционных материалов: металлические, природные, полимерные, самосмазывающие композиции и металлокерамические.

Среди металлических наиболее известные – баббиты (названы в честь автора этих сплавов – Баббита). Первые баббиты – это сплав олова, сурьмы и меди, затем – баббиты на основе свинца с добавлением меди, сурьмы, мышьяка,

кадмия, никеля. Наиболее широко применялись и сейчас применяются для вкладышей баббиты типа Б–83 (83% олова, остальное – сурьма и медь) для давлений до 10 МПа, окружных скоростей до 50 м/с и рабочих температур до 70°С, они очень хорошо прирабатываются и имеют коэффициент трения $f \leq 0,005$ со смазкой.

Сплавы на основе меди: бронза – это сплав меди с оловом, латунь – сплав меди с цинком. Бронзы до настоящего времени являются основными материалами тихоходных подшипников скольжения, венцов червячных зубчатых колес. Латунь используется реже.

Сплавы на алюминиевой основе имеют два вида добавок: тугоплавкие (хром, железо, марганец, кремний) и легкоплавкие (олово, сурьма, свинец, кадмий, магний). Преимущества этих сплавов: невысокая стоимость, прочность, хорошая теплопроводность, высокая коррозионная стойкость и низкая плотность. Недостатки: значительный коэффициент теплового расширения и способность к схватыванию.

В последние годы разработаны сплавы на основе алюминия с высоким содержанием свинца или олова. Такие сплавы, кроме всего прочего, обладают низким схватыванием и достаточно высокой задиростойкостью. В современном автомобиле– и тракторостроении распространение получил сплав АО20–1 (массовая доля, % – Са – 1, Sn – 20, Ti – 0,02 ... 0,1, Al – остальное). Биметаллические вкладыши изготавливаются путем совместной прокатки с последующей штамповкой вкладышей из полосы.

К антифрикционным чугунам относятся: серый чугун с пластинчатым графитом, модифицированные чугуны с глобулярным графитом, ковкие чугуны, обладающие высокой пластичностью. С повышением содержания графита повышаются антифрикционные свойства чугуна. Недостаток – низкая износостойкость и высокий коэффициент трения. Поэтому чугуны применяют в малоответственных узлах трения при низких нагрузках и скоростях скольжения. Чугуны находятся на границе фрикционных и антифрикционных материалов.

К числу природных антифрикционных материалов относятся: древесина, драгоценные камни и т. д. Драгоценные камни успешно применяются в качестве опор скольжения в часовой промышленности. Они имеют низкий коэффициент трения и высокую износостойкость. В чистом виде древесина применяется редко, обычно она пропитывается различными смазками и после пропитки прессуется. Применяется для подшипников скольжения в качестве поверхности трения поперечным срезом, на которую выходят сокопроводящие каналы. По этим каналам смазка или самосмазывающиеся добавки выходят на контакт и образуют защитный слой с положительным градиентом механических свойств. Преимущества обогащенной древесины: легко прирабатывается, мало изнашивается, самосмазывается, имеет невысокую стоимость. Недостатки: низкая твердость и теплопроводность, набухает, впитывает влагу.

Преодолеть недостатки древесины путем металлизации удалось в значительной степени В. А. Белому с сотрудниками. В результате плотность возросла в 3 раза, влагоемкость снизилась в 18 ... 25 раз, теплопроводность возросла в 20 раз. Металлизация обычно сочетается с пропиткой полимерными смолами. Разработанные композиционные материалы на основе древесины имеют низкий и устойчивый коэффициент трения, малый износ.

Полимерные (искусственные) антифрикционные материалы изготавливаются на основе полиамидов и карбоцепных полимеров, фенолформальдегидных и эпоксидных смол, фторопласта. Полиамиды (капрон, нейрон), карбоцепные полимеры (полиэтилен) являются термопластичными полимерами, обладают довольно высокими механическими свойствами, технологичны и применяются в качестве втулок скольжения. Фенолформальдегидные и эпоксидные смолы чаще всего используются в качестве основы и наполняются графитом, дисульфидом молибдена и др. Детали на основе эпоксидных смол обладают хорошей адгезией к металлам, химической стойкостью, повышенной механической прочностью. Для антифрикционных материалов чаще всего используются смолы ЭД-5, ЭД-6, ЭД-П, ЭД-Л.

Большой интерес для создания антифрикционных полимеров представляет фторопласт. Макромолекула этого полимера представляет собой углеродную цепь, к которой присоединены в качестве боковых звеньев атомы фтора, в отличие от полиэтилена, у которого боковыми звеньями являются атомы водорода. Электроотрицательные атомы фтора экранируют углеродную цепь и макромолекулы слабо взаимодействуют друг с другом. Поэтому фторопласт химически инертен, не способен сорбировать влагу, обладает высокой пластичностью, низким модулем упругости и очень низким коэффициентом трения. Он теплоустоек и термопластичен. Обычно во фторопласт вводится прочный каркас из металла или стекловолокна. Из металлофторопластовой полосы изготавливают вкладыши подшипников скольжения.

В самосмазывающиеся материалы включают обычно в качестве основного компонента графит и дисульфиды, диселениды, дителуриды металлов (MoS_2 , WSe_2 , MoTe_2) и другие соединения. Все перечисленные твердые смазки имеют слоистое строение. Поэтому слои материалов легко скользят относительно друг друга. На практике наибольшее распространение получили материалы на основе графита и дисульфида молибдена.

Из молибденита и графита в смеси с другими компонентами изготавливают сложные комбинированные самосмазочные композиции (в России ПАМ–15–69, ПАМ–15–67). Одна из американских фирм выпускает материал, состоящий из графита, молибденита, золота и силиката натрия. Этот материал обеспечивает работоспособность вкладыша подшипника в вакууме в интервале температур от -60°C до $+800^\circ\text{C}$ при давлении на контакте до 300 МПа и имеет $f \approx 0,1$.

Высоким качеством обладают антифрикционные материалы типа АМАН. Эти материалы являются композицией полимерных смол с твердосмазочными компонентами и металлами. Они изготавливаются методом прессования и эпоксидными клеями приклеиваются к несущей поверхности деталей узлов трения. Эти материалы имеют высокие механические, тепловые, антифрикци-

онные характеристики и применяются широко в машиностроении в качестве подшипников и т. д.

Антифрикционная металлокерамика обладает малым коэффициентом трения и высокой износостойкостью, может работать без смазки в условиях загрязнения твердыми частицами. Выпускаются пористые сплавы на основе железа и графита (железографит), бронзы и графита (бронзографит), алюминия и графита (алюмино–графит), а также серебра и меди с графитом и др. Вместо графита могут использоваться и другие твердые (слоистые) смазки: молибденит, диселениды металлов, нитрид бора. Железографит наиболее распространен и выдерживает давление до 15 МПа при $T = 80 \dots 100^\circ\text{C}$. Сплавы на основе железа, меди и других металлов пропитывают различными полимерами, в основном фторопластом. Используются при тех же условиях, что и железографит при температурах до 150°C в виде двухслойных (свинцовая бронза) или трехслойных лент. На металлическую подложку напекается один или два слоя порошка соответствующего материала. Технология получения такой ленты включает смешение порошков, прессование, спекание, пропитку, механическую обработку.

Во всех случаях при трении при достаточно податливой основе на поверхности металлокерамического материала образуется слой, обладающий положительным градиентом механических свойств с низким коэффициентом трения и высокой износостойкостью. Из этих материалов изготавливают подшипники скольжения, сепараторы, уплотнения, подвижные электрические контакты и т. д.

В современной технике получили широкое применение антифрикционные покрытия, наносимые на поверхность деталей трибосопряжения. Покрытия могут быть полимерными и металлическими, из твердых смазок, из оксидов или других соединений. Пленка должна иметь высокую адгезию к поверхности детали и близкий к материалу детали коэффициент теплового расширения, хорошую теплопроводность, низкий коэффициент трения и высокую износостойкость. Технологии покрытий довольно сложны и постоянно совершенствуются. Так, например, подшипники для некоторых механизмов космической техники изготавливаются из титана, покрытого молибденитом. Это происходит при син-

тезе такой пленки. Титановые пластины покрывают молибденитом и помещают в вакуумную печь, где нагревают до 600°C и одновременно обдувают парами серы. Сера вступает в связь с молибденитом, и на титане возникает пленка из дисульфида молибдена толщиной примерно 50 мкм. Потом из этих пластин изготавливают вкладыши или сами подшипники. Они обычно не нуждаются в смазке.

Контрольные вопросы

1. Что называют фрикционными материалами?
2. Что называют антифрикционными материалами?
3. Какими свойствами должны обладать фрикционные и антифрикционные материалы?
4. Каковы достоинства и недостатки чугуна как фрикционного материала?
5. Чем отличается серый чугун от модифицированного?
6. Какие фрикционные и антифрикционные материалы знаете?
7. Какое значение придает сера титану и молибдениту?

3. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ

При определении основных требований к износостойкости материалов для большинства трибосопряжений исходят из того, что при изготовлении и эксплуатации узлов трения необходимо обеспечить:

- максимальные или заданные значения прочности, жесткости, надежности и долговечности;
- минимальную массу, уровень шума и энергетические потери;
- низкую металлоемкость, высокую технологичность и минимальную стоимость;
- удобство монтажа и техобслуживания.

В широком смысле основные способы повышения долговечности (износостойкости) машин можно условно подразделить на три основные группы: конструкционные, технологические и эксплуатационные.

3.1. КОНСТРУКТИВНЫЕ СПОСОБЫ

Систематизация конструктивных решений, направленных на обеспечение износостойкости деталей машин, представляет большой интерес для машиностроения, но является очень сложной задачей, т. к. может насчитывать десятки тысяч предложений и вариантов решения. В этой связи рассмотрим отдельные из них.

Исключение внешнего трения. Конструктивных решений, позволяющих исключить внешнее трение сопряженных деталей, достаточно много. Так, например, отсутствует внешнее трение в мембранных насосах, предназначенных для перекачивания жидкостей. Резиновые мембраны применяются в поршневых насосах.

На рис. 3.1, *а* показан эластичный поршень, представляющий собой тонкостенную оболочку 3 в виде тора из прорезиненной ткани, легко перемещающийся в цилиндре 2 при избыточном давлении воздуха около 0,02 МПа. Движение штока 1 в цилиндре осуществляется в результате деформации стенок оболочки и не сопровождается изнашиванием.

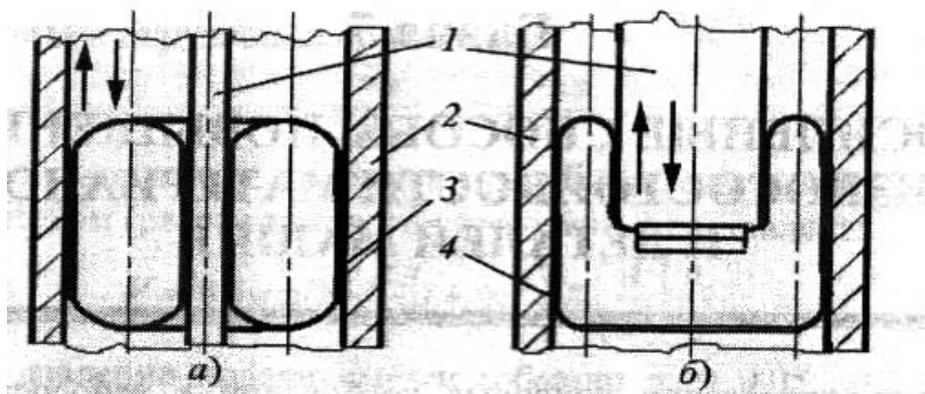


Рис. 3.1 Схема эластичного поршня (*а*) и манжеты (*б*)

Еще один пример использования резиновых деформирующих элементов в качестве уплотнения штока гидроцилиндра показан на рис. 3.1, б. Тонкостенная резиновая трубка 4, концы которой плотно заделаны на торцах штока 1 и цилиндра 2, создает возможность перемещения штока без трения о цилиндр и обеспечивает герметичность соединения при давлении жидкости 0,5 ... 1,0 МПа.

Замена внешнего трения на внутреннее трение. Этот конструктивный способ осуществляется в резинометаллических шарнирах, широко применяется в технике и особенно на транспорте. Относительное возвратно–вращательное движение коаксиальных деталей осуществляется за счет деформации резинового элемента, привулканизованного к сопряженным деталям. Благодаря этому исключено попадание абразивных частиц в сопряжение и, соответственно, исключен абразивный износ. Нет необходимости в смазке такого сопряжения, и резко уменьшается уровень шума при работе механизма.

Выбор наиболее оптимальной схемы машины. К числу конструктивных способов относится и выбор наиболее оптимальной принципиальной схемы машины (механизма) с учетом повышения износостойкости деталей. Конструкторская практика показывает, что, выбирая принципиальную схему, необходимо:

- предпочитать обратную пару трения прямой паре трения;
- рационально организовывать смазку трибосопряжений;
- обеспечивать возможность регулирования зазоров в трибосопряжениях;
- предусматривать возможность оперативной замены быстроизнашивающихся деталей;
- по возможности увеличивать толщину деталей в запас на износ;
- учитывать возможные температурные деформации деталей узлов трения и этим самым исключать возможность схватывания и заедания деталей в трибосопряжении.

Выбор материалов для трибосопряжений. Не рекомендуется сочетать в трибосопряжении мягкий материал с мягким и одноименные по природе материалы. Наоборот, рекомендуется сочетать твердый материал с мягким. Если реализовать такую пару трения невозможно, то отдавать предпочтение сочета-

нию твердого материала с твердым, но в этом случае приработку (обкатку) узла трения проводить на облегченном по нагрузке режиме. Целесообразно применять, где это возможно, полимеры и металлокерамику. Это будет снижать расход дефицитных материалов, массу деталей и понижать вибрацию и уровень шума при работе машины.

Замена трения скольжения трением качением. Потери энергии в условиях трения скольжения значительно выше, чем при реализации трения качения. Поэтому необходимо там, где это возможно, использовать в конструкции узлов трения подшипники качения, которые по сравнению с подшипником скольжения имеют следующие преимущества:

- меньшие моменты трения при пуске;
- меньшие осевые габаритные размеры;
- простота обслуживания и малый расход смазочного материала;
- полная взаимозаменяемость,
- малая стоимость в связи с массовым производством;
- меньший расход цветных металлов.

Использование принципа податливости. Податливость детали, общая или местная, позволяет ее рабочей поверхности следовать за деформацией сопряженной детали и приспособляться к неточностям ее геометрической формы. Самоустанавливающийся опорный подшипник является простейшим примером конструкции, имеющей деталь свободной податливости в виде вкладыша, обладающего угловой подвижностью. Полнее роль податливости проявляется в резиновых дейдвудных подшипниках, применяемых, в судостроении, гидротурбостроении и в гуммированных деталях.

Гуммированные детали – это детали из композитных материалов, у которых подложка или арматура предназначены для создания необходимой жесткости и прочности, а также обеспечивают посадочные места в узле или присоединительные размеры. Резиновое покрытие или наполнитель из резины в межарматурном пространстве обеспечивают необходимую податливость рабочей, поверхности детали.

Такие композитные детали хорошо сопротивляются гидроабразивному или газоабразивному износу, коррозии и эрозийным разрушениям. Их масса в несколько раз меньше чисто металлических, а применение в сборочных единицах уменьшает вибрацию в механизмах и снижает уровень производственного шума.

Технологически гуммированные детали могут быть получены методом формования в специальных пресс-формах с последующей вулканизацией. Используется также метод обкладки металлических поверхностей (или их обмазка гумсоставом из низкомолекулярных каучуков) с последующей вулканизацией в паровых котлах или вулканизацией на открытом воздухе (самовулканизация). Технология гуммирования выбирается чаще всего в зависимости от габаритов деталей и необходимой толщины резинового слоя.

Улучшение условий трения. Конструктивные возможности улучшения условий трения деталей весьма разнообразны и их систематизация наиболее целесообразна по направленности конструктивных решений: снижение контактной нагруженности; уменьшение работы трения; устранение возможности схватывания; улучшение температурного режима трения; защита трибосопряжений от попадания твердых частиц; изоляция трибосопряжений от химических агентов внешней среды и др.

Равнотойкость изнашивающихся деталей. Неравномерность изнашивания, сосредоточение наибольших мест износа на каком-либо участке изнашиваемой поверхности, повышенная скорость изнашивания одной из деталей трибосопряжения приводят обычно к преждевременной потере работоспособности всего агрегата при неполном использовании ресурса остальных деталей.

В качестве примера неравномерного изнашивания профиля можно привести затупление лезвий различных режущих инструментов. Устранить такой недостаток можно конструктивно-технологическими приемами, обеспечивающими определенную степень равномерности профиля лезвия, т. е. его самозатачиванием. Например, эффект самозатачивания для ножей куттеров, широко применяемых в мясоперерабатывающей промышленности, может быть получен

при использовании двухслойного ножа при соотношении твердости более износостойкого слоя к твердости менее износостойкого слоя в пределах 18 ... 22.

Долговечность таких ножей в 6-12 раз выше долговечности однослойных ножей обычной конструкции.

3.2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ

Не менее важное значение в повышении износостойкости деталей машин имеют технологические способы. В основе этих способов лежит создание фрикционных поверхностей деталей с заданными свойствами, которые уменьшали бы склонность к схватыванию и износу.

Правильный выбор вида обработки и шероховатости поверхности. Независимо от исходной шероховатости, которая может меняться в широких пределах, к концу приработки устанавливается для каждой пары трения своя определенная шероховатость, сохраняющаяся в течение длительного времени. В качестве примера в табл. 3.1 представлена шероховатость поверхностей отдельных деталей. Если бы удалось обработать поверхность таким образом, чтобы исходная шероховатость соответствовала равновесной, то исчезла бы необходимость в периоде приработки деталей. Однако добиться этого чрезвычайно сложно. Поэтому следует назначать такую финишную операцию, которая бы обеспечила окончательную шероховатость как можно ближе к равновесной. Чрезмерно чистые поверхности и чрезмерно грубые отрицательно влияют на износостойкость. Грубошероховатые поверхности контактируют по малым площадкам, что приводит к высоким фактическим давлениям, следовательно, к большому износу. Гладкие поверхности склонны к заеданию, они хуже адсорбируют смазку.

Шероховатость приработанных поверхностей

Поверхность	Среднее арифметическое отклонение профиля R_a , мкм
Подшипник скольжения	0,15
Диски и колодки самолетного тормоза	0,78
Зубья шестерен	0,7...0,8

Если бы удалось обработать поверхность таким образом, чтобы исходная шероховатость соответствовала равновесной, то исчезла бы необходимость в периоде приработки деталей. Однако добиться этого чрезвычайно сложно.

Поэтому следует назначать такую финишную операцию, которая бы обеспечила окончательную шероховатость как можно ближе к равновесной. Чрезмерно чистые поверхности и чрезмерно грубые отрицательно влияют на износостойкость. Грубошероховатые поверхности контактируют по малым площадкам, что приводит к высоким фактическим давлениям, следовательно, к большому износу. Гладкие поверхности склонны к заеданию, они хуже адсорбируют смазку.

Большое значение имеет направление следов обработки, которое не влияет на фрикционные свойства только при жидкостном трении, когда шероховатые поверхности разделены слоем смазки. При граничном трении мелкошероховатых поверхностей наименьший износ обеспечивается направлением следов обработки, перпендикулярным движению (устраняется схватывание), а при трении грубошероховатых поверхностей – параллельным движению.

Кроме шероховатости, на поверхности трения всегда имеется волнистость. Влияние волнистости на свойства поверхности неоднозначно. Волнистость приводит к изменению характера контакта. Вместо плоских поверхностей контактируют криволинейные. Поэтому несмазанные волнистые поверхности более склонны к схватыванию (адгезионному износу), чем плоские. В то

же время волнистые поверхности лучше удерживают смазку во впадинах между волнами и работают лучше плоских.

Химико-термическая обработка (ХТО, см. с. 12). Основное назначение ХТО – создание на стальной поверхности тонкого легированного слоя вследствие диффузии легирующих элементов. Затем поверхность подвергается закалке. В результате этого поверхностный слой детали приобретает высокую твердость (до 60 HRC). Для этого применяется цементирование, азотирование, борирование, насыщение хромом, никелем и двумя, тремя элементами одновременно (см. раздел 1.2. Толщина упрочненного слоя может превышать 1,2 мм. Наиболее широко осуществляется цементация в твердом, жидком и газообразном карбюризаторах при температуре 950 ... 980°C. Азотированию подвергаются детали при более низкой, чем при цементации, температуре – 520 ... 560°C. Легирующие элементы (Cr, Mo, Al), входящие в состав стали, образуют с азотом стойкие нитриды, обладающие высокой твердостью и износостойкостью.

3.3. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СПОСОБЫ

Даже совершенная в конструктивном плане и тщательно изготовленная машина, если неправильно ее эксплуатировать, быстро выйдет из строя. Машина должна эксплуатироваться в строгом соответствии с составленными заводом–изготовителем техническим паспортом и инструкцией по эксплуатации.

Обкатка машин. Любая новая или капитально отремонтированная машина (сборочная единица) подлежит обкатке. Назначение обкатки – приработать в едином комплекте все пары трения, создать в них равновесную шероховатость. Пока не сформировалась приработанная шероховатость, мала фактическая площадь касания деталей. Приложение эксплуатационных нагрузок к таким деталям приводит к значительному износу. Поэтому обкатку, как правило, проводят при пониженной нагрузке (обильной смазке) обязательным контролем температуры в парах трения. Применение специальных приработочных смазок, имеющих в своем составе ПАВ, позволяет сократить время приработки и

уменьшить износ в этот период. За время приработки коэффициент трения уменьшается и постепенно стабилизируется. Окончание периода приработки можно установить по стабилизации коэффициента трения и температуры. В настоящее время обкатку сборочных единиц машин проводят чаще всего на стендах, а не в эксплуатации.

Периодичность технического обслуживания трибосопряжений. Большое значение в процессе эксплуатации имеет правильная организация технического обслуживания и ремонтов сборочных единиц и машин в целом. Так, например, при отсутствии технического обслуживания закономерность изнашивания трибосопряжения может быть описана кривой 1 (рис. 3.2).

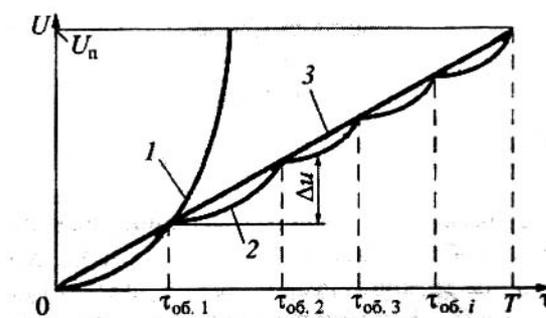


Рис. 3.2. Влияние периодичности технического обслуживания трибосопряжения на его изнашивание U и ресурс T

Предельный износ (см. рис. 3.2) выявляется из условия невозможности дальнейшей эксплуатации машины (сборочной единицы) из-за прогрессивного изнашивания. Своевременное проведение технического обслуживания (смена смазки, фильтров и проведение регулировочных работ) позволяет создать более благоприятные условия взаимодействия поверхностей трения и снизить скорость изнашивания деталей. Полученную при этом закономерность изнашивания для каждого периода технического обслуживания условно представляют кривой 2, которая с незначительной погрешностью может аппроксимирована прямой 3.

Контрольные вопросы

1. Какие бывают виды изнашивания?
2. Что такое фреттинг-коррозия?
3. Какие бывают кристаллические решетки?
4. Какими свойствами обладают изотропные материалы?
5. Какие бывают дефекты в металлах?
6. Объясните разницу между изотропными и анизотропными материалами.
7. Какие существуют способы повышения износостойкости деталей?

4. СПОСОБЫ УПРОЧНЕНИЯ СТАЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

4.1. ПОВЕРХНОСТНОЕ УПРОЧНЕНИЕ

Поверхностная закалка. В самостоятельном виде поверхностная закалка применяется для образования твердого износостойкого слоя на поверхности деталей из средне- и высокоуглеродистых сталей. Ей предшествует объемная термообработка: нормализация или объемная закалка и высокий отпуск. Она состоит из двух операций: нагрева поверхностного слоя и быстрого его охлаждения. Нагрев осуществляется высокочастотным методом, контактным, плазменным, лазерным и нагревом в электролите. Наиболее распространенными и эффективными являются *высокочастотный* и *контактный* методы нагрева. Источниками нагрева для высокочастотного метода служат генераторы высокой частоты.

Эти генераторы предназначены для получения в катушке электромагнитного поля, а в детали – вихревых токов (токов Фуко), которые проходят лишь в тонком поверхностном слое, где и выделяется вся образующая теплота. Нагретая таким образом поверхность детали затем резко охлаждается потоком воды.

Электроконтактный нагрев осуществляется путем пропускания переменного тока через контакт детали с электродом в виде катящегося по поверхности

детали ролика. Источником тока является обычно однофазный сварочный трансформатор. В завершении нагретая поверхность охлаждается струей воды.

Плазменные методы предусматривают нагрев поверхности детали обычными газовыми горелками (газовая среда – смесь кислорода с ацетиленом) или при помощи плазмотрона – устройства, генерирующего струю плазмы. В качестве источника плазмы используют аргон.

Лазерное излучение в инфракрасном диапазоне, сфокусированное в пятно диаметром порядка десятка микрометров, совершает сканированное движение по поверхности детали. Это обеспечивает закалку поверхностного слоя, глубина которого регулируется за счет изменения скорости сканирования специальными механическими устройствами. Лазерная закалка обеспечивает получение однородной мелкокристаллической поверхностной структуры, обладающей повышенной твердостью и износостойкостью. После термообработки лазерным лучом не происходит коробление элементов детали, не наблюдается заметного ухудшения качества поверхности. Из-за высокой стоимости процесса лазерной закалки подвергаются самые дорогостоящие и ответственные детали, такие, например, как коленвалы ДВС и др.

Механическое упрочнение поверхностей – один из простых и наиболее экономичных способов упрочнения деталей машин. Здесь используется явление значительного роста предела текучести и, соответственно, твердости материала, при высокой степени пластической деформации. Этот метод часто называют деформационным упрочнением. Он основан на использовании в качестве деформирующих тел роликов, шариков, струи из мелких стальных или стеклянных шариков, а также сферических алмазных наконечников. Помимо упрочнения, поверхность деталей выглаживается, снижается их шероховатость. Вершины выступов становятся более пологими, и контакт переходит из пластического в упругое состояние. Все это существенно повышает усталостную износостойкость и прочность деталей, снижает срок их приработки.

Кроме вышеперечисленных методов упрочнения, применяются в машиностроении и ряд других, не менее эффективных методов повышения их износостойкости.

4.2. НАПЛАВКА И НАПЫЛЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

Наплавка износостойких слоев. Это один из наиболее распространенных способов восстановления изношенных деталей. Все известные виды наплавки имеют общие металлургические физико-химические основы. К ним относятся: расплавление наносимого металла с частичным расплавлением поверхностного слоя детали, перемешивание расплавов, кристаллизация.

Наибольшее распространение получила электродуговая наплавка (ручная, полуавтоматическая), наплавка под слоем флюса плазменно-дуговая. Наилучшие результаты получаются тогда, когда удается исключить контакт наплавленного металла с кислородом воздуха, для этого процесс проводят в среде углекислого газа, аргона и их смесей.

Высокоэффективным методом наплавки является наплавка порошковой проволокой.

Напыление покрытий из порошковых материалов. Если в высокотемпературную струю газа подать частицы порошка, то при столкновении с поверхностью они деформируются и прочно сцепляются с деталью. Существует две разновидности такой технологии: газоплазменное напыление и напыление с помощью электрической дуги или индукционных токов высокой частоты.

Главным достоинством метода напыления является его универсальность – независимость от природы материала детали. Можно наносить покрытия не только на металлы, но и на керамику, дерево, бетон, полимеры, ткани, бумагу. Это связано с тем, что напыление не оказывает заметного теплового воздействия на основу. То же можно сказать и о напыляемых материалах. Напыляют цветные металлы и сплавы, стали, твердые сплавы и керамику, пластмассы

и т. п. Напыление широко применяется для восстановления формы изношенных деталей.

Плакирование. Этот метод применяется при изготовлении деталей или восстановлении их формы после изнашивания. Толщина наносимого слоя может составлять несколько миллиметров.

Толстослойные покрытия часто наносят методом прокатки. Сцепление слоев осуществляется за счет диффузии при высокой температуре. Таким методом получают биметаллические полосы, кольца и др.

Электрохимические покрытия. Их наносят на поверхности деталей методом электролиза. Чаще всего применяются электро-химическое хромирование, серебрение, нанесение покрытия олова, свинца, цинка, индия и др. Одно из главных мест занимает гладкое или пористое хромирование, которое хорошо удерживает смазку и обладает высоким сопротивлением износу в условиях граничного трения.

В технике для подшипников скольжения широко применяются электролитические покрытия деталей оловом, свинцом, и другими мягкими и пластичными металлами и сплавами. Использование таких покрытий позволяет ускорить приработку поверхностей деталей. Чаще всего для этих целей используются оловянные и олово-свинцовые покрытия.

Контрольные вопросы

1. Виды поверхностного упрочнения.
2. Объясните процесс механического упрочнения.
3. Какую роль играет оловянно-свинцовое покрытие деталей?
4. Какова сущность наплавки деталей?
5. Что представляет собой процесс плакирования?
6. Каков процесс электрохимического покрытия?
7. Что представляет собой химико-термическая обработка стальной поверхности?

5. ЭФФЕКТ БЕЗЫЗНОСНОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛИ

5.1 САМООРГАНИЗАЦИИ В УЗЛАХ ТРЕНИЯ

Изыскание оптимальной формы занимает важное место при конструировании деталей. Первоначальная форма и ее изменения в процессе изнашивания влияют на работоспособность деталей. В то же время темп износа отдельных деталей после обретения ими формы естественного износа замедляется многократно. Впервые это заметили спортсмены, которые спортивную обувь с прямым каблучком и носком заменили на закругленную. Сообщив ей форму естественного износа, они получили ряд положительных результатов, в том числе износостойкость такой обуви в несколько раз увеличилась. Кроме того, такая форма оказывала положительное влияние на осанку спортсмена и его выносливость.

Такой же эффект по износостойкости был получен у цилиндрических и конических зубчатых колес путем обработки концов зубьев и придания им бочкообразной формы. Бочкообразная форма зуба не только способствует увеличению долговечности передачи, но и уменьшает шум во время работы.

Рассмотрим один из примеров самоорганизации – узлы трения компрессора домашнего холодильника. Компрессор холодильника работает десятки лет в тяжелых условиях (постоянные пуски и остановки) практически без износа. Детали, работающие на трение, выполнены из стали, смазочным материалом служит смесь 50% масла и 50% фреона. В процессе работы на поверхностях трения стальных деталей – шейках коленчатого вала (шатунной и коренных), сопряженных подшипниках, поршне и цилиндре – самопроизвольно образуется тонкая медная пленка толщиной 1 ... 2 мкм. Пленка формируется из ионов меди, образующихся в смазочном материале в результате незначительного коррозионного процесса медных трубок охладителя. Медные трубки растворяются маслофреоновой смесью, и в ней появляются ионы меди. К месту контакта трущихся деталей ионы приносит охлаждающая смесь из фреона и масла, исполняющая также роль смазочного материала.

Активность маслофреоновой смеси по отношению к медным трубкам охладителя повышается в результате образования в зоне трения при начальной работе компрессора слабых кислот (окисление масла). После того, как в зоне контакта образуется пленка меди, условия трения деталей изменяются: снижается давление, уменьшается сила трения и падает температура. В результате процессы, образующие пленку меди (окисление масла и растворение трубок), могут прекратиться. Таким образом, можно отметить следующую цепочку взаимообусловленных явлений, происходящих в смазочной системе компрессора и на поверхностях трения деталей.

Начальный период:

- в паре трения сталь – сталь смазочный материал окисляется, образующиеся кислоты растворяют поверхностные слои медных трубок охладителя и доставляют в смазочную систему ионы меди;

- ионы меди, циркулируя в смазочной системе, осаждаются на поверхности деталей только в зоне трения, узкие щели на деталях по отношению к массе детали представляют собой анодные участки; ионы меди втягиваются в зазоры сопряжений;

- в результате коллективного взаимодействия ионов происходит кристаллизация и образуется тонкая пленка меди, покрывающая поверхности трения деталей.

Установившийся режим:

- после того, как поверхности трения покроются пленкой меди, пара трения сталь – сталь становится парой медь – медь; это приводит к снижению трения и, как результат, к снижению интенсивности окисления масло-фреоновой смеси и прекращению растворения медных трубок;

- в установившемся режиме трения медная пленка не изнашивается. Ее частицы могут переходить с одной поверхности трения на другую. Продукты износа пленки удерживаются в зазоре электрическими силами.

На основании рассмотренного примера можно утверждать, что трение может сопровождаться эволюционными процессами, в результате которых раз-

рушение поверхностей становится второстепенным. Главным выступает созидательный характер трения, который обусловлен обменом узла трения с внешней средой энергией и веществом, а также коллективным поведением ионов меди, из которых формируется тонкая медная пленка, защищающая поверхности трения от изнашивания.

Металлическую медную пленку, образующуюся в процессе трения называют «сервовитной» (от лат. *Servo–mitte* – спасти жизнь). Она представляет собой вещество (в данном случае металл), образованное потоком энергии и существующее в процессе трения. Трение не может уничтожить пленку, оно ее создает. Образование защитной пленки относится к новому классу самоорганизующихся явлений неживой природы. Их изучение только началось.

При деформировании сервовитная пленка не разрушается и не подвергается усталостному разрушению. Она воспринимает все нагрузки, покрывая шероховатость поверхностей стальных деталей, которые практически не участвуют в процессе трения. Структура пленки отличается от структуры обычной меди; она квазижидкая – имеет много вакансий и мало дислокаций, которая образовалась в процессе трения (в естественных условиях).

5.2. ИЗБИРАТЕЛЬНЫЙ ПЕРЕНОС ПРИ ТРЕНИИ

Другой формой самоорганизации в узлах трения является избирательный перенос. Это явление было обнаружено в парах трения сталь – бронза при использовании глицериновой смазки, а также в паре сталь – сталь в узлах трения компрессора домашнего холодильника при смазывании маслофреоновой смесью. Исследования и практика показывают, что медная пленка в паре бронза–сталь образуется в результате анодного растворения бронзы глицерином. Глицерин действует при трении как слабая кислота. Атомы легирующих элементов бронзы (олово, цинк, железо и др.) уносятся в смазочный материал, в результате поверхность бронзы обогащается атомами меди. В то же время стальная поверхность также покрывается тонким слоем меди. После того, как медная плен-

ка покрывает бронзовую и стальную поверхности, молекулы глицерина уже не могут взаимодействовать с бронзой («вытягивать» атомы легирующих элементов), процесс растворения бронзы прекращается и наступает установившийся режим избирательного переноса. В этих условиях медная пленка, ее называют сервовитной, как мягкий материал работает по мягкому. Нагрузка в этом случае распределяется равномерно по поверхности трения и имеет небольшую величину на единицу площади, что способствует резкому снижению интенсивности изнашивания трибосопряжения и, в целом, повышению ресурса узла трения.

Избирательный перенос – вид трения, который обусловлен самопроизвольным образованием в зоне контакта тонкой неокисляющейся металлической пленки с низким сопротивлением сдвигу и не способной накапливать при деформации дислокации. На пленке, образуя с ней химическую связь, может происходить образование координационных соединений из продуктов механической деструкции углеводородов смазки, создавая дополнительный антифрикционный слой. Эта пленка повышает износостойкость поверхности (до 2 порядков) и снижает силы трения (на порядок) по сравнению с аналогичными условиями трения при граничной смазке.

Для нее характерен нелинейный режим взаимодействия вакансий и дислокаций – вакансионно-дислокационный механизм сдвига, задаваемый повышенной концентрацией вакансий при избирательном растворении упрочненных участков поверхности в процессе трения.

При некоторой критической концентрации вакансий в пленке происходит переход от консервативного движения дислокаций к их неконсервативному переползанию к поверхности и выходу на нее. Дислокации переходят на другой уровень взаимодействия с кристаллической решеткой металла с существенно меньшей затратой энергии, что сопровождается релаксацией напряжений.

Поскольку при эффекте безызносности трение сопровождается эволюционными процессами – образованием металлической пленки на трущихся поверхностях, то главным в этом случае становится самоорганизующийся характер трения, который обусловлен обменом трущейся пары с внешней средой энерги-

ей и веществом, а также коллективным поведением ионов металла, из которых формируется металлическая пленка. Она представляет собой металл в особом состоянии, имеющем место только в процессе трения. Трение не может уничтожить пленку, так как оно ее воспроизводит.

Пленка при трении образуется из одного из материалов, участвующих в трении (бронзы, латуни), или другого медного сплава, или же из смазочного материала, содержащего порошки пластичных металлов, их соли, комплексные соединения металлов, металлоорганические соединения.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой сервовитная пленка?
2. Сущность избирательного переноса.
3. Каков процесс самоорганизации в узлах трения?
4. Суть эффекта безызности.
5. Каким образом выбирается материал в узлах трения?
6. Каковы условия для создания сервовитной пленки?

6. КУЗОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Кузов – один из основных и дорогих агрегатов любого автомобиля. Например, стоимость изготовления кузова легкового автомобиля составляет 60-70% стоимости всего автомобиля, а трудоемкость изготовления достигает 60% трудоемкости изготовления автомобиля в целом. На изготовление кузова затрачиваются в большом количестве дорогие материалы.

Кузова по материалу корпуса делятся на металлические, пластиковые и комбинированные.

Основным материалом для изготовления кузовов легковых автомобилей служит тонколистовая сталь. В последнее время все чаще применяются легкие сплавы алюминия.

Пластмассовые кузова используются при изготовлении автомобилей единичного производства.

Комбинированные кузова, состоящие из металла и пластмассы, используют с целью снижения массы и облегчения автомобиля. Последовательно рассмотрим все материалы, применяемые для изготовления деталей и узлов кузова автомобиля.

6.1. ЛИСТОВАЯ СТАЛЬ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КУЗОВА

Производство современных автомобилей должно учитывать сегодня целый ряд экономических факторов. Наряду со снижением производственных затрат возрастают требования к энерго- и материалосбережению.

Выбор материалов также очень важен.

Кузов автомобиля состоит из большого числа узлов и деталей, изготовленных из различных материалов. От их правильного выбора и умелого применения при изготовлении кузова зависят, в последствии, качество его обслуживания и ремонта, затраты труда и расход материалов. При изготовлении авто-

мобильных кузовов применяют листовой металл и сплавы, изделия из стекла и полимерных материалов и т. д.

Все металлы и их сплавы, из которых изготавливают кузова автомобилей, должны отвечать следующим требованиям: высокая усталостная прочность; высокие противокоррозионные свойства; хорошие прочностные качества детали в сочетании с необходимыми пластическими свойствами при штамповке и достижении заданной формы.

Основным материалом, из которого изготавливается большая часть деталей кузовов отечественных и зарубежных автомобилей является листовая сталь. Для изготовления штампованных деталей кузовов отечественных автомобилей используется низкоуглеродистые стали 08Ю и 08КП. Анализ химического состава и механических свойств этих сталей показывает, что они обладают наибольшим относительным удлинением по сравнению со сталями с большим содержанием углерода, что обуславливает их использование для штамповки, так как на этом участке образуются большие, местами различные, растяжения, при которых не должно возникать трещин и складок. Формообразование гладкого места при изготовлении крыльев, капота и других больших и малых фасонных деталей предъявляет высокие требования к пластическим свойствам материала. Кроме того, эти стали не требуют дополнительной термической обработки детали и заготовки, обладают хорошей свариваемостью.

Специальным требованиям к пластичности отвечают тонкие листы стали с содержанием углерода менее 1%. У таких специальных сортов сталей глубокой вытяжки суммарное содержание фосфора и серы составляют менее 0,07%.

При изготовлении кузовов легковых автомобилей обычно используют стальной лист глубокой вытяжки толщиной 0,55-1,5 мм. Меньшая толщина листа применяется для изготовления внешних деталей кузова, а большая – для элементов его несущей части. Преимущества уменьшения толщины листа заключаются в следующем: сокращаются производственные расходы, снижается собственная масса автомобиля, повышается степень безопасности пассажиров при правильно рассчитанной жесткости кузова. Необходимая толщина листов,

определяемая действующими нагрузками, составляет 0,55 ... 0,88 мм – для внешних деталей облицовки и 1,25 ... 1,5 мм – для несущих деталей корпуса (лонжероны, стойки и т. д.).

6.2 КУЗОВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ С АНТИКОРРОЗИОННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

Подверженность стальных кузовов коррозии побудило иностранных производителей уже в конце 1960-х годов применять при изготовлении автомобилей оцинкованный лист. У оцинкованных листов к толщине собственного листа добавляется еще толщина оцинкованного слоя, которая составляет около 10 ... 20 мкм.

Некоторые кузовные детали отечественных автомобилей, наиболее подверженные коррозии (крылья, пороги, панели пола и т. п.) изготавливают также из специальной стали – цинкометалла, имеющей одностороннее или двустороннее двухслойное покрытие, состоящее из неорганического слоя на хромовой основе и цинконасыщенного слоя на эпоксидной основе. Толщина слоя цинкового покрытия определяется толщиной стального листа из которого штампуются детали кузова, и коррозионной нагрузкой отдельных участков кузова. На те места, куда падает особенно много химически разрушающих веществ, наносят более 270 г. цинка на 1 м² площади кузова с каждой стороны.

В серийном производстве применение оцинкованных листов обуславливает изменение технологии штамповки деталей кузова и использование специальной сварочной техники. Сегодня можно утверждать, что оцинкованная сталь с большим успехом применяется в серийном производстве, вследствие чего срок службы кузова современного легкового автомобиля значительно возрос.

В настоящее время применяют в основном два вида панелей кузовов с нанесенными цинковыми покрытиями. Первые имеют гальваническое покрытие с толщиной слоя цинка 7,5 мкм с каждой стороны. Эти детали имеют очень хорошие характеристики качества поверхности и устанавливаются снаружи ку-

зова. Вторые, имеющие покрытие, полученное способом горячего цинкования в ванне при температуре 450°C, толщиной не менее 10 мкм с каждой стороны, используются в основном для изготовления несущих элементов кузова. Их поверхность относительно грубая, т. е. шероховатая и не подходит для получения качественного лакокрасочного покрытия. Но зато этот способ нанесения цинкового покрытия более дешевый, обеспечивает толщину слоя 60 ... 120 мкм и с успехом применяется для рам, лонжеронов и других аналогичных деталей кузова. Кроме того, при последующей сварке этих деталей между собой вокруг сварной зоны образуется защитное кольцо из расплавленного и вновь остывшего цинка. Оцинкованные таким способом детали в последствии не окрашиваются, а необходимую декоративную отделку при необходимости обеспечивают наружные детали из синтетических материалов, покрытых лаком.

Современная зарубежная (Япония) техника и технологии поверхностной обработки кузовных сталей позволяют повышать эксплуатационные свойства кузовов. Листовые кузовные стали, подвергнутые поверхностной обработке, не говоря уже о коррозионной стойкости, одновременно обладают довольно высокими штампуемостью, свариваемостью, теплостойкостью и способностью отражать тепло, демпфирующими свойствами и отделочной окрашиваемостью. В зависимости от назначения применяются стальные материалы, гальванизированные (в основном цинком) с одной стороны, с двух сторон или с разной толщиной покрытий. Кроме того, внедряются листовые стали, гальванизированные разными металлами, а также комбинированная листовая сталь.

Листовая сталь, оцинкованная методом погружения в горячий расплав цинка, приобретает высокую противокоррозионную стойкость и имеет хорошую экономичность. Для деталей с таким цинковым покрытием не предусматривается последующее окрашивание.

Листовая сталь, оцинкованная методом погружения в легированный горячий цинко-железный расплав, обладает высокими противокоррозионными свойствами, хорошей свариваемостью и способностью к последующему окра-

шиванию. Детали, требующие высокой степени отделки окрашиванием, выполняют с покрытием.

Электролитическое цинкование используют для широкого ассортимента сталей, к которым предъявляются высокие требования как по пластичности, так и по прочности. Полученное цинковое покрытие имеет хороший, равномерно покрытый внешний вид и не требует последующего окрашивания (усилители дверей, порогов, крыши и т. п.).

Листовая сталь, гальванизированная цинко-никелевым сплавом, имеет противокоррозионную стойкость в 3 раза большую, чем цинковое покрытие, нанесенное электролитическим способом. Данное покрытие может служить в качестве грунтового слоя для деталей кузова, предназначенных для последующего окрашивания.

Листовая сталь с двухслойным покрытием, состоящим из гальванического слоя, полученного из раствора цинко-никелевого расплава, скомбинированного с органическим покрытием, обладает повышенной противокоррозионной стойкостью в сравнении с покрытием «цинк – никель».

Сталь, алюминированная методом погружения в горячий алюминиево-кремневый расплав, имеет хорошую теплостойкость, способность отражать тепло и противокоррозионные свойства. Оценка свойств стали с данным покрытием на теплостойкость и коррозионную стойкость показала, что они близки к свойствам нержавеющей стали. Коррозионная стойкость, оцениваемая по коэффициенту образования коррозии при нанесении искусственного конденсата выхлопных газов на глушитель автомобиля, изготовленного из различных материалов, составляет для холоднокатаной листовой стали – 1; для электролитически оцинкованной листовой стали – 0,928; для стали с алюминиевым покрытием – 0,301; для нержавеющей стали – 0,275. Оценка теплостойкости покрытий по увеличению массы при непрерывном нагревании в атмосфере до температуры 600°C показала, что глушители, изготовленные из холоднокатаной стали разрушаются за 15 часов, а изготовленные из стали с алюминиевым покрытием – за 4000 ч. Теплостойкость глушителей из нержавеющей стали еще выше,

чем из сталей с алюминированным покрытием. Такие высокие эксплуатационные показатели данного покрытия позволяют использовать его для деталей системы выхлопных газов двигателя: промежуточных и задних труб, наружного и внутреннего кожухов, внутренней трубы и перегородок глушителя.

Листовая сталь с покрытием из свинцово-оловянного сплава имеет хорошую способность к пайке твердым припоем, а также высокие противокоррозионные свойства.

Демпфирующая листовая сталь предназначена для снижения уровня шума, как издаваемого самим автомобилем, так и внутри его салона. Отличная демпфирующая способность объясняется использованием структуры «сендвич» – между двумя стальными листами находится слой упруговязкой смолы толщиной 40-80 мкм. Демпфирующий эффект достигается за счет деформации упруговязкой смолы, как при работе стальных листов на сдвиг, так и на изгиб или кручение. Вариации выбора исходного материала «сендвича» создают широкие возможности для получения различных эксплуатационных свойств демпфирующей стали: пластичности, коррозионной стойкости, свариваемости, теплоустойчивости и т. п. в соответствии с областью использования детали (масляный поддон, капот, внутренние панели кузова, акустические и звукоизоляционные детали и т. п.).

Интенсивно разрабатываются новые материалы для применения в автомобилестроении. Решающим фактором для применения алюминия в кузовостроении стала его малая плотность – $2,7 \text{ г/см}^3$, что составляет около трети плотности стали, а также высокая устойчивость против коррозии (благодаря образованию окисного слоя).

Современная техника позволяет применять алюминиевые сплавы для изготовления передней и задней панелей, облицовки дверей и других подобных деталей кузова. Прогресс в технике изготовления материалов сделал возможным использование специальных термообработанных сплавов алюминия в несущих элементах кузова автомобиля. Эти материалы характеризует не только чрезвычайно высокая прочность, но и очень высокая способность к энергопо-

глащению. Несмотря на неоспоримые преимущества сплавов из алюминия не следует, однако, упускать из виду, что алюминий является «материалом высокой технологии», и работа с ним связана с повышенными технологическими требованиями.

В настоящее время содержание алюминия в европейских автомобилях составляет 130 кг (порядка 10–11% от общего веса). У некоторых марок автомобиля еще больше: Audi A2 – 258 кг; Audi A8 – 546 кг; Renault Laguna – 160 кг и т. д. в новых моделях автомобилей содержание алюминия доходит до 20% от общего веса.

В США создан автомобильный алюминиевый альянс, открыты центры, в которых совместно работают специалисты в области алюминиевого производства и конструкторы автомобилей.

6.3 НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КУЗОВА АВТОМОБИЛЯ

Потенциал снижения массы автомобиля заменой стали и алюминия деформируемыми магниевыми сплавами зависит прежде всего от их плотности, модуля упругости, предела текучести. Магний легче стали на 75%, а алюминия – на 35%. Причиной незначительного использования магниевых сплавов в автостроении является высокая стоимость и недостаточный опыт в технологии изготовления заготовок и конечных изделий.

В настоящее время в Германии реализуется программа «Магний в автостроении», которая охватывает комплекс научно–исследовательских работ, направленных на разработку перспективных технологий изготовления деталей автомобиля из магниевых сплавов марок AZ31 и AZ80. В работе по этой программе участвуют ряд фирм и компаний, а также Высший технический университет в Котбусе (Германия). Исследования показали, что при прокате и вытяжке заготовок из листового материала следует очень точно выдерживать температурный режим; выявлено резкое увеличение пластичности сплава AZ31 име-

ет место при температуре 225 °С. Разработана и создана пилотная установка для получения листового материала из литых заготовок с подогреваемыми валками, которые поддерживают необходимый температурный режим при обработке магниевых сплавов давлением. Установка позволяет получать лист толщиной от 1,0 до 1,5 мм при ширине до 600 мм и длине 1000 мм. После прокатки лист подвергается струйной очистке от остатков смазочных материалов, которая исключает упрочнение его поверхностного слоя. Напротив, при необходимости можно получить упрочнение материала в определенных узлах его поверхности подбором режима струйной обработки и рабочей жидкости.

Одной из вероятных областей применения деформируемых магниевых сплавов в автостроении является изготовление из них несущих деталей кузова. Однако при этом необходимо определить способы соединения этих деталей между собой и с деталями из других материалов. В связи с этим были проведены специальные исследования таких способов соединения, как лазерная сварка и пайка, а также соединения посредством заклепок и винтов. При применении двухсторонней лазерной сварки были получены гладкие швы без провалов, отличающиеся высокой плотностью. Прочность материала в зоне шва только на 7% меньше, чем у основного материала деталей.

Специалистами ОАО «АВТОВАЗ» в сотрудничестве с ведущими институтами и металлургическими заводами разработана сортовая микролегированная сталь в замен дорогостоящей никель – молибденовой стали (улучшаемых сталей 30ХМ, 35ХМ, 38ХГМ, 40ХМ, 40ХГНМ). Большинство из этих марок сталей подвергаются дорогостоящей и энергозатратной термообработке. Широкие производственные и стендовые испытания выявили преимущества микролегированной стали по сравнению с никель-молибденовыми, так как АВТОВАЗ применяет более 50 марок конструкционной стали, в том числе более 20 дорогостоящих никель-молибденовых.

В сообщении «Концепция применения сталей в кузовах перспективных моделей автомобилей ВАЗ» были представлены перспективные проекты внедрения новых материалов, прежде всего на новом семействе автомобилей.

Например, на АВТОВАЗе освоена и используется новая сортовая микролегированная сталь АЦ40ХГАФБ, разработан проект по созданию принципиально новой конструкции кузова с применением широкой гаммы новых марок сталей повышенной прочности, в том числе прогрессивных двухфазных сталей с пределом прочности до 500 ... 700 МПа.

Другим принципиально новым для отечественной автомобильной промышленности техническим решением в конструкции кузова является применении листовых сварных заготовок для штамповки деталей кузова (дверей автомобиля с внедренными панелями из листовых сварных заготовок). Это повышает жесткость дверей без увеличения массы, а также сокращает расход материала и снижает их себестоимость в сборе.

В перспективных моделях планируется увеличить применение горячеоцинкованного проката, имеющего защиту с двух сторон, как для не лицевых, так и для лицевых деталей кузова в целях существенного увеличения стоимости и косметической коррозии, а также использование алюминиевых сплавов для кузовов и широкой номенклатуры силовых элементов и пространственных конструкций.

Среди различных современных материалов широко используются в кузовах автомобилей высокопрочные 1F–стали (стали без свободных атомов внедрения) – сверхнизкоуглеродистые материалы с пределом текучести, равным 340 МПа, высокопрочные марки сталей с TRIP-эффектом (с фазовым превращением остаточного аустенита в бейнит, а также сталей с пределом текучести 780 ... 980 МПа (двухфазные стали с микроструктурой мартенситных островков от 5 до 30% объема в ферритной основе).

Контрольные вопросы

1. Требования, предъявляемые к кузовным материалам.
2. Какую роль играет алюминий в кузовных материалах?
3. Какую роль играет хром, цинк при антикоррозионных покрытиях листового материала?

4. В чем сущность гальванического покрытия?
5. В чем сущность горячецинкового проката?
6. Достоинства микролегированных сталей.
7. Сущность комбинированного кузова?
8. Что собой представляет демпфирующая листовая сталь?

7. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ (КМ)

7.1. СТРУКТУРА И СОСТАВ КМ

Композиционными называют сложные материалы, в состав которых входят отличающиеся по свойствам нерастворимые друг в друге компоненты. Основной композиционных материалов (КМ) является сравнительно пластичный материал, называемый матрицей. В матрице равномерно распределены более твердые и прочные вещества, называемые упрочнителями или наполнителями. Матрица может быть *металлической, полимерной, углеродной и керамической*. По форме упрочнителя КМ делятся на *дисперсно-упрочненные* (с нульмерными упрочнителями), *волокнистые* (с одномерными упрочнителями) и *сложные* (с двумерными упрочнителями).

Нульмерные упрочнители имеют очень малые размеры одного порядка во всех трех измерениях. Ими являются дисперсные частички карбидов, оксидов, нитридов и др. В дисперсно-упрочненных материалах несущим компонентом, воспринимающим нагрузки, является матрица. Дисперсные частицы препятствуют движению дислокаций при деформировании материала, за счет чего и происходит упрочнение. Поэтому дисперсно-упрочненные материалы имеют металлическую матрицу. Эти материалы характеризуются высокими показателями длительной прочности и сопротивления ползучести и применяются в качестве жаропрочных.

Одномерные упрочнители имеют малые размеры в двух измерениях и значительно превосходящий их размер в третьем измерении. Этими упрочнителями являются различные волокна, нитевидные кристаллы тугоплавких соединений, проволока. В волокнистых композиционных материалах несущим компонентом является упрочнитель, а матрица служит для соединения упрочнителя и передачи ему высоких нагрузок. Содержание упрочнителя в волокнистых материалах колеблется в широких пределах – от 15 до 75% (по объему).

Двумерные упрочнители имеют малые размеры в одном измерении и значительные размеры в двух других измерениях. Такими упрочнителями служат ткани, фольга, листы и др., которые чередуются с матричным материалом. Компонентом, воспринимающим нагрузку в слоистых композиционных материалах, также является упрочнитель.

По схеме расположения упрочнителя различают КМ с *одноосным* (линейным), *двухосным* (плоскостным) и *трехосным* (объемным) расположением упрочнителя. При одноосном расположении могут использоваться нульмерные и одномерные упрочнители. Одномерные располагаются параллельно друг другу, а нульмерные так, чтобы расстояние между ними по одной оси было значительно меньше, чем по двум другим.

При двухосном расположении могут использоваться любые формы упрочнителей, которые располагаются в параллельных плоскостях. При трехосном расположении используются нульмерные и одномерные упрочнители, которые распределены равномерно во всех трех направлениях (рис. 7.1, а-г).

Существуют полиматричные и полиармированные композиционные материалы (рис. 7.2). Полиматричные материалы имеют комбинированные матрицы, состоящие из чередующихся слоев матриц с различным химическим составом. Полиармированные материалы имеют одновременно упрочнители различной формы или одной формы, но разного химического состава.

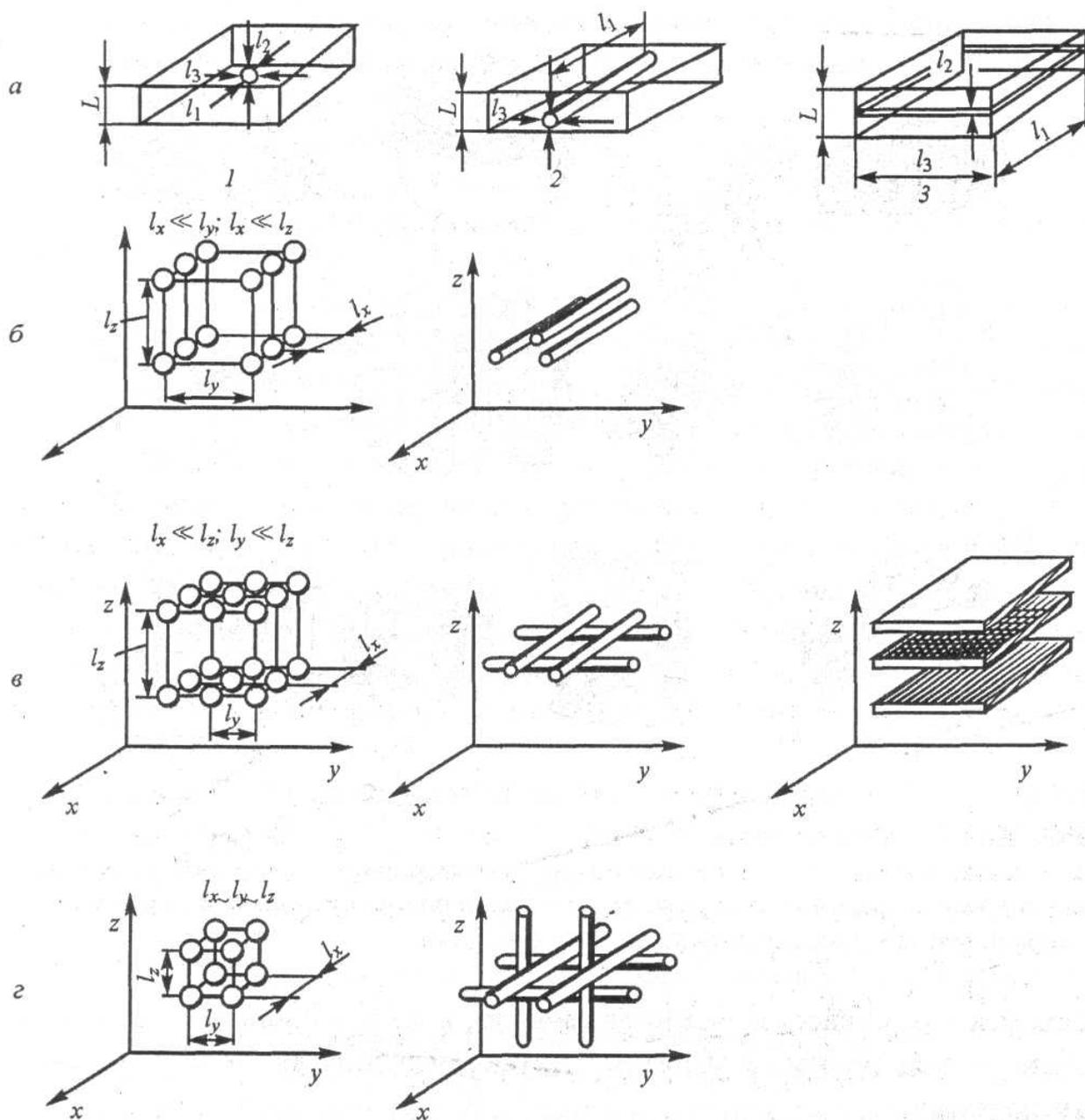


Рис. 7.1. Формы наполнителя (а) и схемы армирования (б – з) КМ

Например, полимерная матрица с нульмерным и одномерным упрочнителем или полимерная матрица, упрочненная одновременно двумя видами волокон. Так, для повышения модуля упругости КМ с полимерной матрицей, армированной стеклянным волокном, дополнительно вводят волокно бора (рис. 7.3).

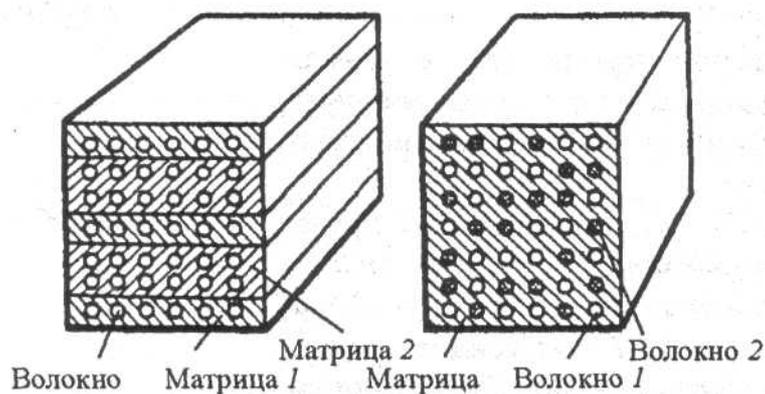


Рис. 7.2. Схема полиматричного и полиармированного КМ

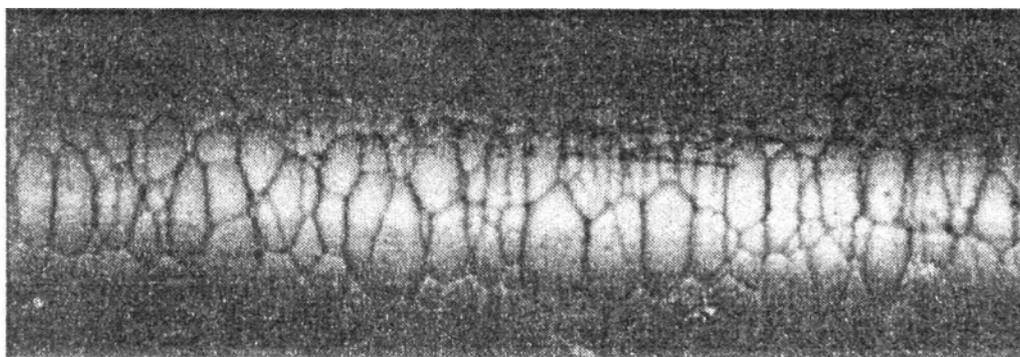


Рис. 7.3. Структура поверхности борного волокна ($\times 100$)

Для расширения комплекса свойств или уяснения какого-либо свойства при армировании КМ одновременно используют наполнители различной формы (рис. 7.4). Например, для увеличения прочности связи между одномерными наполнителями (стеклянным или углеродным волокном) и полимерной матрицей в нее вводят нульмерный упрочнитель (частицы асбеста, карбида кремния и др.).

С этой же целью применяют армирование наполнителями одной формы, но разного состава. Так, для повышения модуля упругости КМ с полимерной матрицей, армированной стеклянным волокном, дополнительно вводят волокно бора. КМ, которые содержат два или более различных наполнителя, называют полиармированными. Если КМ состоят из трех или более компонентов, они называются *гибридными*.

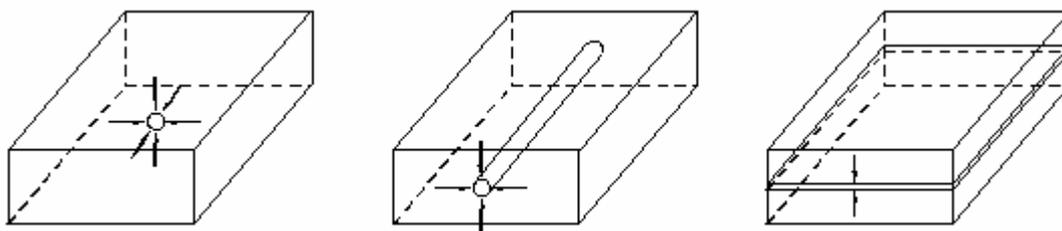


Рис. 7.4. Формы наполнителей.

Схемы армирования КМ: трехосная, двухосная и одноосная

7.2. ГИБРИДНЫЕ КМ

К классу гибридных КМ относятся полиматричные и полиармированные КМ. В зависимости от распределения компонентов гибридные КМ подразделяют на следующие виды:

- однородные – с равномерным распределением каждого компонента по объему КМ;
- с линейной неоднородностью – волокна одного или обоих армирующих компонентов объединены в жгуты, равномерно объединены по объему КМ;
- с плоскостной неоднородностью – волокна каждого компонента образуют чередующиеся слои.
- макронеоднородные – волокна различных компонентов образуют зоны, соизмеримые с размером изделия.

К наиболее технологичным относятся гибридные КМ с плоскостной неоднородностью и макронеоднородные. Возникающие при их изготовлении термические напряжения можно устранить или свести к минимуму оптимальным подбором состава компонентов как матриц, так и наполнителей, что приводит к значительному повышению технологических и эксплуатационных свойств гибридных КМ по сравнению с двухкомпонентными материалами. Например, коэффициент линейного расширения стекло – и углеволоконитов значительно изменяется с увеличением температуры, в то время как у стекловолоконитов и органоволоконитов он остается постоянным в широком интервале

температур. Применение стеклянного и углеродных волокон в гибридных КМ позволяет повысить модуль упругости за счет увеличения объемного содержания углеродного наполнителя. К новому поколению гибридных КМ относятся алюмополимерные КМ, состоящие из чередующихся склеенных тонких листов (0,3-0,8 мм) алюминиевых деформированных сплавов и прослоек полимера (0,2-0,5 мм), армированных стеклянным или органическим волокном. Типичная структура алюмополимерного КМ состоит из двух слоев алюминиевого сплава и прослойки армированного полимера (2:1) или из трех слоев алюминиевого сплава, разделенных прослойками стекло- или органоволокнитов (3:2).

При этом слои алюминиевого сплава всегда расположены на поверхности КМ.

По сравнению с обычными алюминиевыми сплавами эти материалы отличаются пониженной плотностью (на 15-20%), повышенными прочностными и усталостными характеристиками. Скорость развития усталостной трещины у них на порядок ниже, чем у соответствующих алюминиевых сплавов. Кроме того, они имеют высокие акустические и демпфирующие свойства.

Контрольные вопросы

1. Что называют композиционным материалом?
2. Какова структура КМ?
3. Какие существуют упрочнители?
4. Что знаете о полиармированных и полиматричных КМ?
5. Какие КМ называют гибридными?
6. Какие строения и свойства у гибридного алюмополимерного КМ?
7. Особенности КМ с нульмерными упрочнителями.

8. УПРОЧНЕННЫЕ КМ

8.1 ДИСПЕРСНО–УПРОЧНЕННЫЕ И ВОЛОКНИСТЫЕ КМ

В дисперсно-упрочненных КМ наполнителями служат дисперсные частицы тугоплавких фаз-оксидов, баридов, карбидов (Al_2O_3 , SiO_2 , BN , SiC и др.). К достоинствам тугоплавких соединений относятся высокое значение модуля упругости, низкая плотность, пассивность к взаимодействию с материалами матриц, а таких как окислы алюминия и кремния – большая распространенность в природе и невысокая стоимость образующих их элементов.

Дисперсно-упрочненные КМ в основном получают порошковой технологией, но существуют и другие способы, например, метод непосредственного введения наполнителей в жидкий металл или сплав перед разливкой. В последнем случае для очистки от жировых и других загрязнений, улучшения смачиваемости частиц жидким металлом и равномерного распределения их в матрице применяют ультразвуковую обработку жидкого расплава.

В дисперсно-упрочненных КМ основную нагрузку воспринимает матрица, а дисперсные частицы упрочнителя оказывают сопротивление движению дислокаций при нагружении металла, мешают развитию пластической деформации. Чем больше это сопротивление, тем выше прочность. Прочность зависит также от дислокационной структуры, формирующейся в процессе пластической деформации при изготовлении изделий из КМ. Кроме того, дисперсные частицы наполнителя оказывают «косвенное» упрочняющее действие, способствующее образованию структуры с большей степенью неравномерности зерен (волокнутой). Такая структура формируется при сочетании пластической деформации и отжигов. При этом дисперсное включение частично или полностью препятствует рекристаллизационным процессам.

Уровень прочности зависит от объемного содержания упрочняющей фазы, равномерности ее распределения, степени дисперсности и расстояния между частицами. Согласно формуле Орована, сопротивление сдвигу увеличивается с уменьшением расстояния между частицами:

$$\sigma = \frac{Gb}{l},$$

где G – модуль сдвига;

b – межатомное расстояние;

l – расстояние между частицами.

Большое упрочнение достигается при размере частиц 0,01-0,1 мкм и расстояния между ними 0,05-0,5 мкм. Объемное содержание частиц зависит от схемы армирования.

Преимущество дисперсно-упрочненных КМ по сравнению с волокнистыми – изотропность свойств.

К дисперсно-упрочненным КМ на алюминиевой основе, нашедшим промышленное применение, относится материал из спеченной алюминиевой пудры (САП). Материал САП характеризуется высокой прочностью, жаростойкостью, коррозионной стойкостью и термической стабильностью свойств.

САП состоит из алюминия и его оксида. Получают САП путем последовательного брикетирования, спекания и прессования окисленных с поверхности алюминиевой пудры. Исходным материалом при получении пудры служит порошок – пульверизат, который изготавливают распылением расплавленного алюминия А6 (ГОСТ 11069–74). Порошок размельчают в шаровых мельницах в атмосфере азота с добавлением 2-3% O_2 и 0,25-1,2% стеариновой кислоты. Кислород используется для окисления вновь образованных поверхностей пудры, стеарин – для облегчения скольжения и препятствия свариванию частиц пудры. Частицы пудры имеют форму чешуек толщиной менее 1 мкм. Длина и ширина частиц одного порядка, толщина оксидной пленки составляет 0,01-0,1 мкм. Размер частиц зависит от длительности разлома: чем продолжительнее время разлома, тем мельче частицы пудры, больше их общая поверхность и, следовательно, выше содержание оксида алюминия. Например, пудра марки АПС-1 с размером частиц 30-50 мкм содержит 6-8% Al_2O_3 , а пудра АПС-2, имеющая размер частиц 10-15 мкм, уже 9-12% Al_2O_3 . В настоящее время освоена технология

получения алюминиевой пудры четырех марок и соответствующих им марок САП (табл. 8.1).

Таблица 8.1

Механические свойства САП

Материал	Содержание Al_2O_3 , %	σ_b , МПа	$\frac{\sigma_b}{\rho d}$, км	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ ,%	E , ГПа	$\frac{E}{\rho d} \cdot 10^{-3}$, км
САП-1	6-8	300	11	220	7	67	2,1
САП-2	9-12	350	13	280	5	71	2,6
САП-3	13-17	400	15	320	3	76	2,8
САП-4	18-22	450	17	370	1,5	80	2,9

Структура САП представляет собой алюминиевую основу с равномерными дисперсными включениями Al_2O_3 . С увеличением содержания Al_2O_3 повышаются прочность (рис. 8.1). Высокая прочность САП объясняется большой дисперсностью оксидной фазы, малым расстоянием между ее частицами. Нерастворимость в алюминии и отсутствие склонности к коагуляции тонкодисперсных частиц Al_2O_3 обеспечивает стабильность структуры и высокую прочность при температуре до 500 °С.

САП хорошо деформируется в горячем состоянии, хуже – в холодном, легко обрабатывается резанием и удовлетворительно сваривается контактной и аргонодуговой сваркой. В настоящее время в основном применяют САП-1, САП-2 и САП-3, из них производят все виды полуфабрикатов: листы, профили, штамповые заготовки, трубы, фольгу.

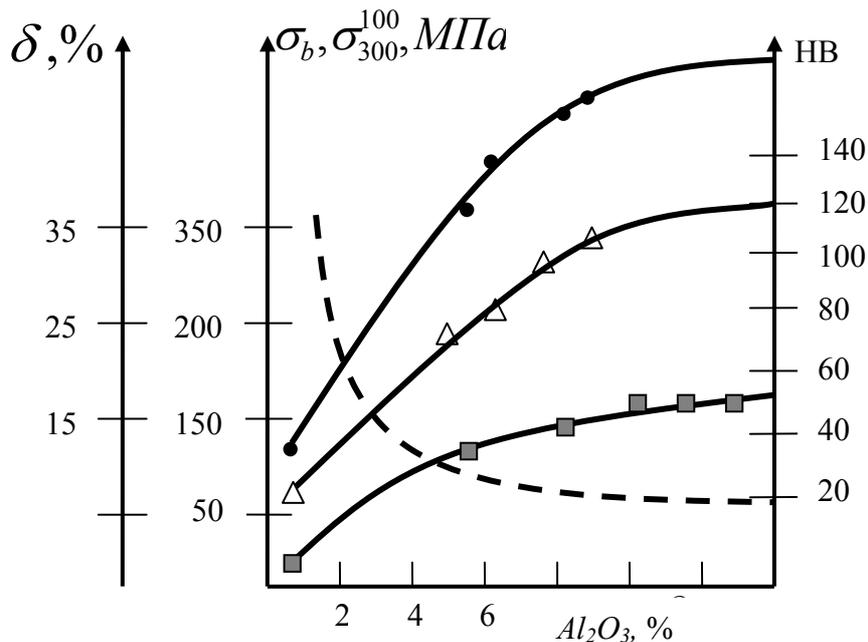


Рис. 8.1. Зависимость механических свойств САП от содержания Al_2O_3

САП используют для деталей, работающих при 300-500°C, от которых требуются высокая удельная прочность и коррозионная стойкость (поршневые штоки, лопатки компрессоров, лопатки вентиляторов и турбин, конденсаторы, обмотки трансформаторов и т. д.)

Спеченные алюминиевые сплавы (САС) изготавливают в основном по той же технологии, что и САП – из порошков, полученных распылением сплавов заданных составов.

Практическое значение имеют сплавы с низким температурным коэффициентом линейного расширения, близким к коэффициенту линейного расширения стали, и высоким модулем упругости. Так, АСА, содержащий 25-30% Si , 5-7% Ni , остальное Al , имеет $\alpha = (14,5 - 15,5) \times 10^{-6} K^{-1}$; $E = 100$ ГПа.

Эти сплавы заменяют более тяжелые стали при изготовлении отдельных деталей. Механические свойства САС характеризуются достаточно высокой прочностью, твердостью ($\sigma_b = 260$ МПа, 120 НВ) и низкой пластичностью ($\delta = 1,5 \dots 1$ %). Преимущества спекаемых алюминиевых сплавов по сравнению с обычными аналогичного состава – отсутствие линейных дефектов (ликвации,

шлаковых включений и т. д.) и мелкозернистая структура с равномерным распределением фаз.

Высокими механическими свойствами при комнатной и повышенной температурах обладают КМ на основе алюминия и его сплавов, упрочненные частицами карбида алюминия Al_4C_3 . Их получают методом механического легирования углеродом порошка алюминия с последующим компактированием, прессованием и прокаткой. В процессе нагрева алюминий образует с углеродом карбид Al_4C_3 . КМ $Al - Al_4C_3$ имеет $\sigma_b = 450...500 \text{ МПа}$, $\sigma_{0,2} = 430...470 \text{ МПа}$, $\delta = 4\%$. По длительной прочности ($\sigma_{100}^{500} = 60 \text{ МПа}$) он превосходит все стандартные алюминиевые сплавы.

К перспективным относятся КМ с малой плотностью на основе бериллия и магнезия: $Be - BeO$, $Be - Be_2C$ и $Mg - MgO$. Однако они не нашли большего применения из-за технологических сложностей и низкой коррозионной стойкости.

В качестве матриц жаропрочных КМ используют никель, кобальт и их сплавы. КМ с кобальтовой матрицей, обладая незначительным преимуществом перед никелевым КМ в жаропрочности, нашли ограниченное применение из-за высокой стоимости.

Существуют дисперсно-упрочненные КМ на никелевой основе.

В качестве матрицы в этих материалах используют никель и его сплавы с хромом (~20%) со структурой твердых растворов. Сплавы с хромоникелевой матрицей обладают более высокой жаростойкостью. Упрочнителями служат частицы оксидов тория, гафния и др. Временное сопротивление в зависимости от объемного содержания упрочняющей фазы изменяется по кривой с максимумом. Наибольшее упрочнение достигается при 3,5-4% HfO_2 ($\sigma_b = 750...850 \text{ МПа}$, $\frac{\sigma_b}{\rho} = 9...10 \text{ км}$, $\delta = 8...12\%$). Легирование никелевой матрицы W , Ti , Al , обладающими переменной растворимостью в никеле, дополнительно упрочняет материалы в результате дисперсионного твердения матрицы, происходящего в процессе охлаждения с температур спекания. Методы получения этих материалов

довольно сложны. Они сводятся к смешиванию порошков металлического хрома и легирующих элементов с заранее приготовленным (методом химического охлаждения) порошком никеля, содержащим дисперсный оксид гафния или другого элемента.

После холодного прессования смеси порошков проводят горячую экструзию брикетов.

В волокнистых КМ упрочнителями служат волокна или нитевидные кристаллы чистых элементов и тугоплавких соединений (В, С, Al_2O_3 , SiC и др.), а также проволока из металлов и сплавов (Мо, W, Ве, высокопрочная сталь и др.).

Для армирования КМ используют непрерывные дискретные волокна диаметром от долей до сотен микрометров.

При упрочнении волокнами конечной длины нагрузка на них передается через матрицу с помощью касательных напряжений. В условиях прочного (без проскальзывания) соединения волокна с матрицей нагрузка на волокна при растяжении равна $\tau \cdot \pi \cdot d \cdot l$, где τ – касательное напряжение, возникающее в матрице в месте контакта с волокном; d – диаметр волокна; l – длина волокна. С увеличением длины волокна повышается возникающее в нем напряжение. При определенной длине, называемой критической, напряжение достигает максимального значения. Оно не меняется при дальнейшем увеличении длины волокна. Определяют $l_{кр}$ из равенства усилий в матрице на границе с волокном и в волокне с учетом симметричного распределения в нем напряжений:

$$\tau \pi d / 2 = \sigma_{\epsilon} \pi d^2 / 4; l_{кр} = \sigma_{\epsilon} d / (2\tau), \text{ или } l_{кр} / d = \sigma_{\epsilon} / (2\tau).$$

Теоретические расчеты, подтвержденные практикой, показывают, что чем тоньше и длиннее волокно, а точнее, чем больше отношение длины к диаметру, тем выше степень упрочнения ($\sigma_{\epsilon, КМ} / \sigma_{\epsilon, \epsilon}$) КМ (рис. 8.2).

В качестве матриц металлических КМ используют металлы: алюминий, магний и титан, жаропрочный никель и сплавы на их основе; для неметаллических КМ – полимерные, углеродистые, керамические материалы.

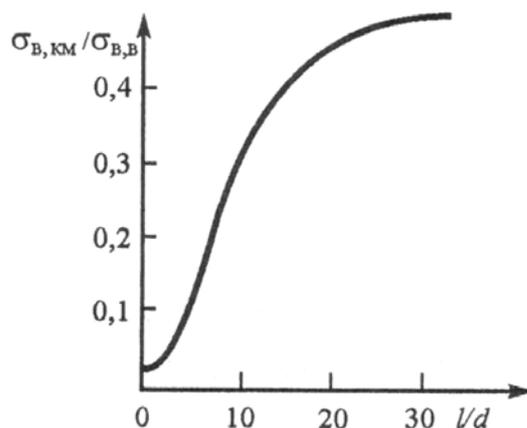


Рис. 8.2. Теоретическая зависимость эффективного упрочнения КМ от соотношения l/d упрочнителя

Свойства волокнистых КМ в большей степени зависят от схемы армирования (рис. 8.3). Ввиду значительного различия в свойствах волокон и матрицы при одноосном армировании физическим и механическим свойствам КМ присуща анизотропия. При растяжении временное сопротивление и модуль упругости КМ достигают наибольших значений в направлении расположения волокон, наименьших – в поперечном направлении. Например КМ с матрицей из технического АД1, упрочненный волокнами бора, в направлении волокон имеет $\sigma_{\sigma} = 1000 \dots 1200$ МПа, а в поперечном направлении – всего $60 \dots 90$ МПа. Анизотропия свойств не наблюдается при двухосном армировании с взаимно перпендикулярным расположением упрочняющих волокон (рис. 8.3). Однако по сравнению с одноосным армированием прочность вдоль оси волокон уменьшается почти в 3 раза – с 1000 до 350 МПа (рис. 8.4). Остаются низкими характеристики при сжатии и сдвиге. При растяжении материала вдоль волокон нагрузки в основном воспринимают высокопрочные волокна, а матрица служит средой для передачи усилий. Нагрузки, воспринимаемые волокнами (P_{σ}) и матрицей (P_M), выражаются через возникающие в них напряжения σ_{σ} и σ_M следующим образом

$$P_{\sigma} / P_M = \sigma_{\sigma} V_{\sigma} / [\sigma_M (1 - V_{\sigma})],$$

где V_{σ} – объем волокна.

Согласно закону Гука, напряжения можно выразить через модули упругости. Тогда

$$P_{\epsilon} / P_M = E_{\epsilon} \epsilon_{\epsilon} V_{\epsilon} / [E_M \epsilon_M (1 - V_{\epsilon})].$$

При условии прочного (без проскальзывания) соединения волокон с матрицей в момент приложения нагрузки в них возникает одинаковая деформация, т. е. $\epsilon_{\epsilon} = \epsilon_M$. Следовательно

$$P_{\epsilon} / P_M = E_{\epsilon} Y_{\epsilon} / [E_M (1 - V_{\epsilon})],$$

т. е. чем выше модуль упругости волокон E_{ϵ} и больше их объем, тем в большей степени они воспринимают приложенную нагрузку.

Объемная доля упрочнителя колеблется в широких пределах – от нескольких единиц до 80-90%. При этом КМ с ориентированными непрерывными волокнами содержат их, как правило, в количестве 60-70%. Содержание хаотически расположенных дискретных волокон и нитевидных кристаллов ограничивается 20-30%, поскольку различие в их длине и диаметре создает технологические трудности в получении плотноупакованных материалов.

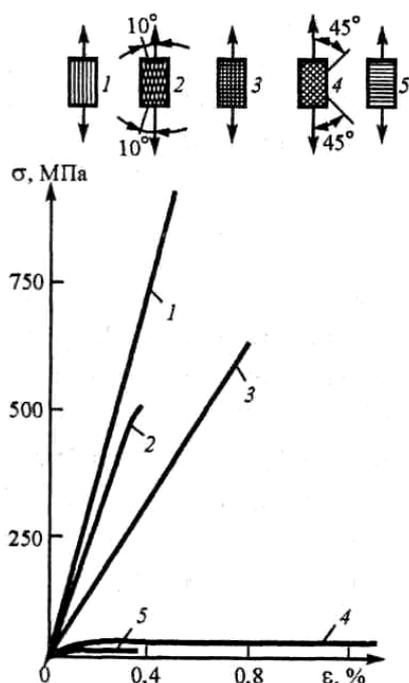


Рис. 8.3. Схемы армирования (1–5) КМ и их влияние на напряжения при растяжении эпоксидных углепластиков

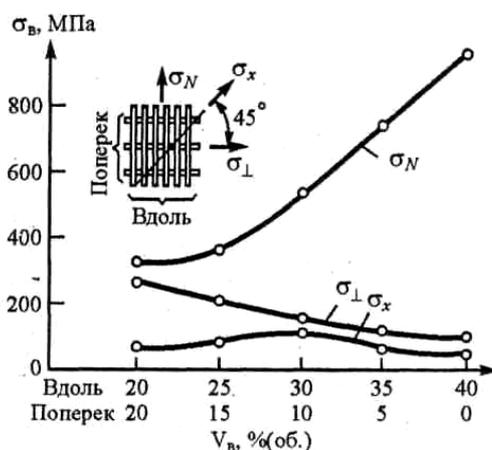


Рис. 8.4. Зависимость временного сопротивления КМ ВКА-1 от содержания и ориентации волокон

Модуль упругости КМ сравнительно достоверно подсчитывают, исходя из свойств и объемного содержания волокон и матрицы

$$E_{KM} = E_s V_s + E_M (1 - V_s)$$

Например, модуль упругости упрочненных материалов с алюминиевой матрицей ($E=70$ МПа), упрочненного 50% (об) волокон бора ($E=420$ МПа), равен $70 \cdot 0,5 + 420 \cdot 0,5 = 245$ ГПа, что хорошо согласуется с модулем упругости реального КМ ВКА–1 ($E = 240$ ГПа, табл. 8.2).

Таблица 8.2

Механические свойства одноосно-армированных КМ с металлической матрицей

КМ	Матрица	Наполнитель		ρ , г/м ³	E , МПа	$E/(\rho g) \cdot 10^{-3}$, км	σ_B , МПа (20°C)	σ_{-1} , МПа (на базе 10^7 циклов)
		Материал	Количество, % (об.)					
ВКА–1	Алюминий	Борное волокно	50	2,65	240	9	1200	600
ВКУ–1	–/–	Углеродное волокно	30–40	2,2–2,3	270	12	900–1000	200
КАС–1	–/–	Стальная проволока	40	4,8	120	2	1600	350
ВКМ–3	Магний	Борное волокно	45	2,2	200	9	1250	–

Временное сопротивление КМ изменяется в зависимости от объемного содержания наполнителя также по закону аддитивности (рис. 8.5). Исключение составляют материалы с очень малым (< 5% (об)) или очень большим (> 80% (об)) содержанием волокна.

Временное сопротивление КМ подсчитывают по формуле

$$\sigma_{s,KM} = \sigma_{s,s} V_s + \sigma_{s,M} (1 - V_s),$$

где $\sigma_{\epsilon,\epsilon}$ и $\sigma_{\epsilon,M}$ – соответственно временное сопротивление волокна и матрицы.

Малые значения прочности и жесткости КМ в направлении, перпендикулярном расположению волокон, при растяжении объясняются тем, что в этом случае, так же, как и при сжатии и сдвиге, они определяются свойствами матрицы. Большую роль играет матрица в сопротивлении КМ усталостному разрушению, которое начинается с матрицы. Гетерогенная структура поверхности раздела между волокном и матрицей затрудняют распространения трещины в направлении, перпендикулярном оси волокон. В связи с этим КМ характеризуются высокими значениями предела выносливости. Так, по пределу выносливости КМ на алюминиевой основе превосходит лучшие алюминиевые сплавы в 3-4 раза.

При изготовлении деталей из КМ волокна ориентируют так, чтобы с максимальной выгодой использовать их свойства с учетом действующих в конструкции нагрузок.

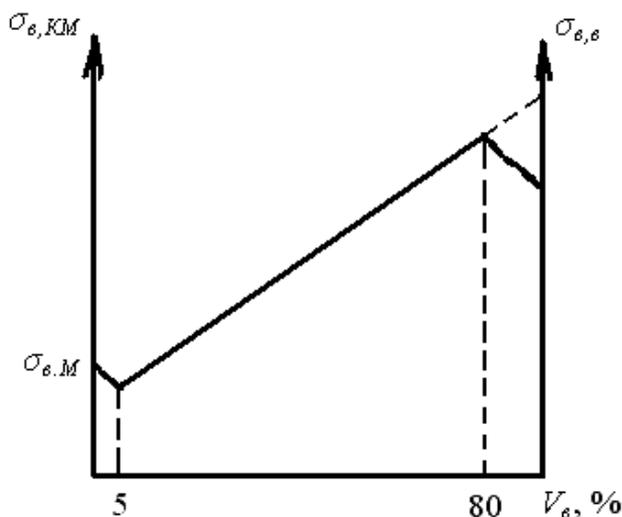


Рис. 8.5. Схема изменения прочности волоконистого материала в зависимости от содержания упрочнителя

Прочность КМ в большей степени зависит от прочности сцепления волокон с матрицей. Между матрицей и наполнителем в КМ возможны различные типы связи:

1. Механическая связь, возникающая благодаря зацеплению неровностей поверхностей матрицы и наполнителя, а также действию трения между ними. КМ с механическим типом связи (например, Cu–W) имеют низкую прочность при поперечном растяжении и продольном сжатии;

2. Связь, обеспечиваемая силами поверхностного натяжения при пропитке волокон жидкой матрицей вследствие смачивания и небольшого растворения компонентов (например, Mg–B до 400 °C).

3. Реакционная связь, обусловленная химическим взаимодействием компонентов (Ti и B, Ti и SiC) на границе раздела, в результате чего образуются новые химические соединения (TiB₂, Ti₅Si₃).

4. Обменно–реакционная связь, возникающая при протекании двух и более стадийных химических реакций. Например алюминий из твердого раствора матрицы титанового сплава образует с борным волокном AlB₂, который затем вступает в реакцию с титаном, образуя TiB₂ и твердый раствор алюминия.

5. Оксидная связь, возникающая на границе раздела металлической матрицы и оксидного наполнителя (Ni–Al₂O₃) благодаря образованию сложных оксидов типа шпинели и др.

6. Смешанная связь, реализуемая при разрушении оксидных пленок и возникновении химического и диффузионного взаимодействий компонентов (Al–B, Al–сталь).

Для качественного соединения волокон с матрицей необходимо прежде всего обеспечить хороший контакт (без загрязнений, газовых и других включений) по всей поверхности соединений. КМ относятся в основном к термодинамически неравновесным системам, что является главной причиной диффузионных процессов и химических реакций, происходящих на границе раздела между волокном и матрицей. Эти процессы протекают в КМ при их использовании. Некоторое взаимодействие между компонентами необходимо для обеспечения прочной связи между ними, передачи напряжений.

Для металлических КМ прочная связь между волокном и матрицей осуществляется благодаря их взаимодействию и образованию очень тонкого слоя

(1-2 мкм) интерметаллидных фаз. Если между волокнами и матрицей нет взаимодействия, то на волокна наносят специальные покрытия для его обеспечения, но прослойки, образующиеся при этой фазе, должны быть очень тонкими.

Связь между компонентами в КМ на неметаллической основе осуществляется с помощью адгезии. Плохой адгезией к матрице обладают высокопрочные борные, углеродные, керамические волокна. Улучшение сцепления достигается травлением, поверхностной обработкой волокон, называемой вискеризацией. *Вискеризация* – это выращивание монокристаллов карбида кремния на поверхности углеродных, борных и других волокон перпендикулярно их длине. Полученные таким образом «мохнатые» волокна бора называют «*борсик*». Вискеризация способствует повышению сдвиговых характеристик, модуля упругости и прочности при сжатии без снижения свойств вдоль оси волокна. Так, увеличение объемного содержания нитевидных кристаллов до 4-8% повышает сдвиговую прочность в 1,5-2 раза, модуль упругости и прочность при сжатии на 40-50%.

На поверхности соединения компонентов не должно происходить химических реакций, приводящих к повреждению волокон, ухудшению их свойств и свойств КМ. При сильном взаимодействии компонентов временное сопротивление волокон и КМ в целом значительно снижается. Например, временное сопротивление волокон карбида кремния в КМ с титановой матрицей в результате такого взаимодействия снизилось с 320 до 210 МПа, что вызвало снижение временного сопротивления КМ на 30%. Для уменьшения взаимодействия применяют легирование как матриц, так и волокон, защитные покрытия волокон, низкотемпературные и высокоскоростные способы изготовления КМ.

Кроме того, прочность сцепления между компонентами зависит от механической совместимости, на которую влияет разница в пластических свойствах, в коэффициентах Пуассона и линейного расширения, модулей упругости. Механическая несовместимость приводит к возникновению остаточных напряжений на границе раздела компонентов, которые при достижении определенного значения вызывают нарушение связи между компонентами.

8.2. КМ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ

Из металлических упрочнителей широко применяют стальную проволоку, которая является наиболее дешевым и технологичным упрочнителем. В настоящее время в основном используют проволоку из коррозионностойких сталей аустенитного, аустенитно–мартенситного и мартенситного классов. Высокая степень пластической деформации при получении проволоки обуславливает большую пластичность структурных дефектов и высокие прочностные характеристики. Например, проволока из стали 18X15H5AM3 диаметром 0,16-0,3 мм. имеет $\sigma_g = 3500 \dots 4000$ МПа. Высокая температура рекристаллизации обеспечивает стальной проволоке сохранение прочности при высокой температуре (до 500°C), особенно из сталей аустенитного класса.

При изготовлении КМ с алюминиевой матрицей, армированной стальной проволокой, температура не должна превышать 550°C во избежание активного взаимодействия между компонентами. КМ получают сваркой взрывом, прокаткой в вакууме, диффузионным спеканием.

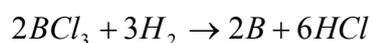
Для надежного сцепления компонентов при использовании твердофазных методов необходимо обновление контактных поверхностей, разрушение оксидных пленок.

Более высокой жаропрочностью обладает проволока из тугоплавких металлов (Mo, W, Ta). Высокие прочностные свойства такой проволоки сохраняются до 1200-1500°C и поэтому ее применяют для армирования жаропрочных матриц.

Для повышения длительной прочности на поверхность проволоки наносят методом напыления тонкие (4-12 мкм) барьерные покрытия, например, из карбидов титана и гафния, оксидов алюминия и гафния. Это увеличивает рабочие температуры и срок службы жаропрочных сплавов. Недостатком напылителя является их высокая плотность.

Малой плотностью и большой удельной прочностью обладает проволока из бериллия. Механические свойства проволоки высоко зависят от качества ее поверхности. Бериллиевую проволоку получают выдавливанием из литой или порошковой заготовки, заключенной в оболочку. Лучшим материалом оболочки является никель. После волочения оболочку с проволоки удаляют и для улучшения поверхности проволоку подвергают электрохимическому полированию. При волочении проволоки, предназначенной для получения КМ в качестве оболочки, используют материал матрицы, и в этом случае отпадают операции правки и полирования. Ценным свойством сильнодеформируемой бериллиевой проволоки является высокая температура рекристаллизации (700°C). Бериллиевую проволоку целесообразно применять для армирования матриц, обладающих малой плотностью, т. е. на алюминиевой, титановой или магниевой основах.

Для армирования металлических и полимерных матриц широко используют борные волокна. Они характеризуются высокой прочностью, твердостью, малой склонностью к разрушению при повышении температуры. Борные волокна получают разложением хлорида и бромидов бора в среде водорода по реакции



с последующим осаждением бора из газовой среды на горячей вольфрамовой нити ($d = 12$ мкм). В результате взаимодействия бора с вольфрамом сердцевина борных волокон состоит из боридов вольфрама различного состава: WB , W_2B_5 , WB_5 . При продолжительном нагреве сохраняется в основном WB_4 . Волокна бора имеют ромбическую кристаллическую решетку и диаметр $d = 70 \dots 200$ мкм.

Прочность сердцевины значительно ниже прочности волокна в целом. В сердцевине возникают напряжения растяжения. Это приводит к появлению остаточных напряжений и возникновению радиальных трещин. При небольшой плотности волокна бора обладают высокой прочностью и жесткостью. Высокая прочность борных волокон объясняется мелкокристаллической структурой. Большое влияние на прочность оказывает и структура их поверхности. Поверхность имеет ячеистое строение, напоминающее по внешнему виду початок ку-

курузы (см. рис. 7.3). Наличие крупных зерен на поверхности, а также включений, трещин, пустот снижают прочность борных волокон. При температуре выше 400°C борные волокна окисляются, а выше 500°C вступают в химическое взаимодействие с алюминиевой матрицей. Для повышения жаростойкости и предохранения от взаимодействия с матрицей на борные волокна наносят покрытия из карбида кремния, карбида и нитрида бора толщиной 3-5 мкм.

В настоящее время наряду с чисто борными волокнами выпускают волокна бора, оплетенные стекловолокном. Такие комбинированные волокна обладают более высокой устойчивостью. Основным недостатком борных волокон – высокая стоимость, которую можно снизить путем увеличения диаметра, а также заменой вольфрамовой основы на углеродную.

Высокими прочностью, удельной прочностью и термической стабильностью механических свойств отличаются высокомодульные углеродные волокна. Их получают путем высокотемпературной термической обработки в инертной среде из синтетических и органических волокон.

В зависимости от вида исходного продукта углеродные волокна могут быть в виде нитей, жгута, тканых материалов, лент, войлока. Наиболее широко для производства углеродных волокон используют вискозу, полиакрилат натрия (ПАН).

При нагреве синтетическое волокно разлагается с образованием лентообразных слоев углерода с гексагональной структурой, называемых *микрофибриллами* (рис. 8.6, а-в). Группы одинаково ориентированных микрофибрилл, разделенных узкими порами, образуют *фибриллы*. Поперечные размеры фибрилл лежат в широких пределах. Каждое углеродное волокно состоит из тысяч фибрилл. Структура углеродного волокна, в частности, взаимное расположение фибрилл и степень их ориентации зависят от исходного сырья: состава макромолекул, степени вытяжки волокон, технологии их получения и др. В связи с этим углеродные волокна, полученные из разных синтетических волокон, имеют различные свойства и даже различный характер соотношения между прочностью и жесткостью (рис. 8.6).

Структура и свойства углеродных волокон в большей степени зависят также от температуры термической обработки синтетических волокон (рис 8.8). Кроме того, прочность углеродных волокон сильно зависит от наличия таких дефектов, как пустоты, трещины. Она значительно снижается, если размеры дефектов превышают 0,05 мкм. При нагреве выше 450°C на воздухе углеродные волокна окисляются, в восстановительной и нейтральной среде сохраняют свои механические свойства до 2200°C.

К другим достоинствам углеродных волокон относятся высокая теплопроводность, электрическая проводимость, коррозионная стойкость, стойкость к тепловым ударам, низкие коэффициенты трения и линейного расширения; к недостаткам относится плохая смачиваемость расплавленными материалами, используемыми в качестве матриц. Для улучшения смачиваемости и уменьшения химического взаимодействия с матрицей на углеродные волокна наносят покрытия.

Хорошие результаты в контакте с алюминиевой матрицей показывают покрытия из боридов титана и циркония.

Керамические волокна оксидов, нитридов, карбидов характеризуются высокими твердостью, прочностью, модулем упругости, относительно небольшой плотностью и высокой термической стабильностью.

Из табл. 8.3 видно, что особо высокие прочность и жесткость присущи нитевидным монокристаллам («усам»). Высокая прочность объясняется совершенством их структуры, для которой характерна очень малая плотность дислокаций. Доказано, что скручивание усов в процессе образования монокристаллов Al_2O_3 и SiO_2 вызвано наличием в них единственной винтовой дислокации, расположенной вдоль оси роста кристаллов.

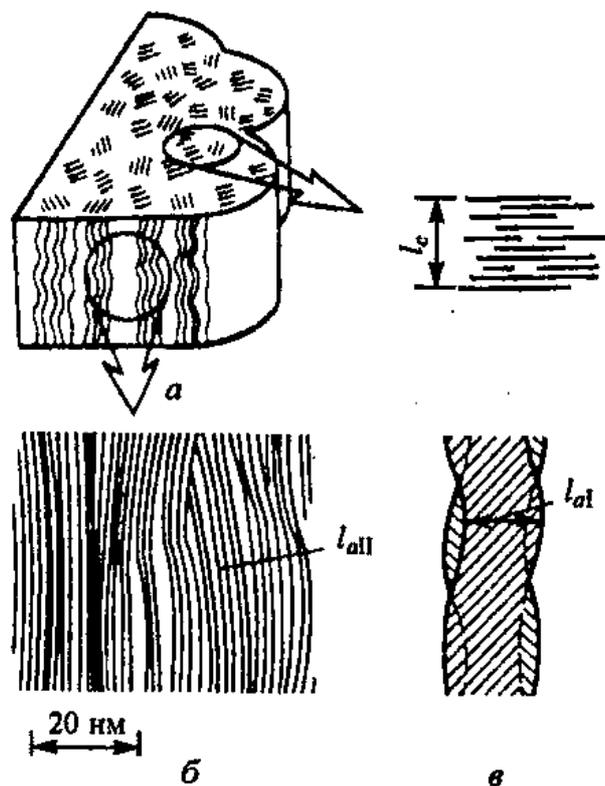


Рис. 8.6. Строение углеродных волокон (схема):

a – общий вид; *b* – продольное сечение фибриллы; *в* – поперечное сечение микрофибриллы; l_a и l_c – поперечные размеры микрофибрилл

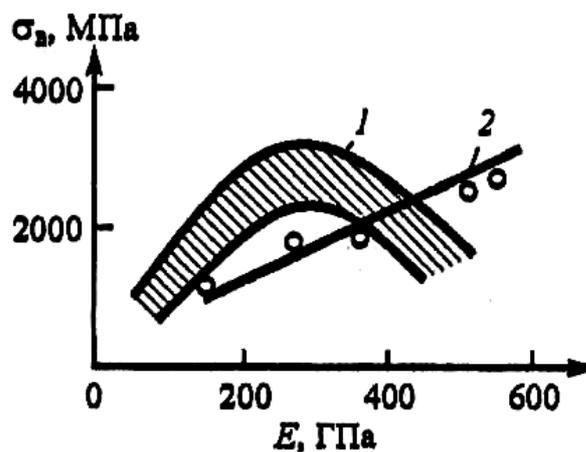


Рис. 8.7. Связь между временным сопротивлением и модулем упругости углеродных волокон при различном исходном сырье:

1 – ПАН; 2 – вискоза

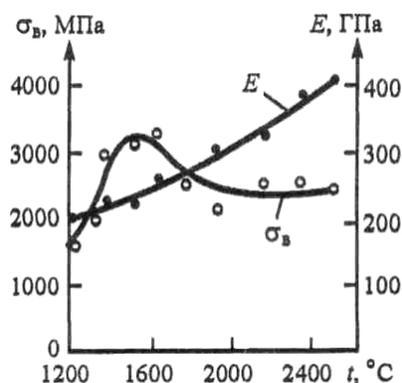


Рис. 8.8. Влияние температуры графитизации на свойства углеродного волокна

Таблица 8.3

Свойства волокон и нитевидных монокристаллов

Материал	Температура плавления или размягчения, °C	ρ , т/м ³	σ_v , МПа	$\sigma_v/(\rho g)$, км	E , ГПа	Средний диаметр волокна, мкм
Волокна						
Углерод или графит	3650	1,6–2	1687–3374	110–210	216–677	5,8–7,6
Бор на вольфрамовой проволоке	2300	2,63	2707–4060	110–160	373–402	102–142
Борсик на вольфрамовой проволоке	2300	2,77	2707–4060	100–160	373–412	104
Карбид кремния на вольфрамовой проволоке	2200	3,35–3,46	2236–3893	67–120	492–471	102
Оксид алюминия Al ₂ O ₃	2040	3,14	2030	66	169	3
Стекло	–	2,5	4482	183	89,3	–
Бериллий	1284	1,85	981–1100	38–54	295	125–130
Вольфрам	3410	19,3	1657–3207	9–17	420	51–1270
Сталь 18X15H5AM3	–	7,8	3500–3800	48	200	150
Нитевидные монокристаллы						
Сапфир, Al ₂ O ₃	2040*	3,96	4021–23634	110–620	402–1010	0,51–11
Карбид кремния	2690*	3,22	13533–40600	440–1320	441–1010	0,51–11

*Температура разложения

Стекловолокно характеризуется сочетанием высокой прочности ($\sigma_s = 3000 \dots 5000$ МПа), теплостойкости, диэлектрических свойств, низкой теплопроводности, высокой коррозионной стойкости. Стекловолокно получают продавливанием стекломассы через специальные фильтры или вытягиванием из расплава. Изготавливаются два вида стекловолокна: *непрерывное* – диаметром 3-100 мкм, длиной 20 км и более и *штательное* – диаметром 0,5-20 мкм, длиной 0,01-0,5 м. *Штательные* волокна применяют для изготовления конструкционных материалов КМ с однородными свойствами, а также теплоизоляционных КМ; *непрерывные* – в основном для высокопрочных КМ на неметаллической основе. Выпускаемые в настоящее время непрерывные профильные волокна с квадратной, прямоугольной, шестиугольной формой поперечного сечения повышают прочность и жесткость КМ благодаря более плотной упаковке в материале.

Применение полых профильных волокон уменьшает пластичность, повышает жесткость при изгибе и прочность при сжатии КМ, улучшает их изоляционные свойства.

Преимуществом КМ на металлической основе являются более высокие значения характеристик, зависящих от свойств матрицы. Это прежде всего временное сопротивление и модуль упругости при растяжении в направлении, перпендикулярном оси армирующих волокон, прочность при сжатии и изгибе, пластичность, вязкость разрушения. Кроме того, КМ с металлической матрицей сохраняют свои прочностные характеристики до более высоких температур, чем многие материалы с неметаллической основой. Они более влагостойки, негорючи, обладают электрической проводимостью.

Наиболее перспективными материалами для матриц металлических КМ являются металлы, обладающие небольшой плотностью (Al, Mg, Ti), и сплавы на их основе, а также никель – широко применяемый в настоящее время в качестве основного компонента жаропрочных сплавов. Свойства некоторых КМ на металлической основе приведены в табл. 8.4.

Нашедшие промышленное применение КМ с алюминиевой матрицей в основном армируют стальной проволокой, борным и углеродными волокнами.

В качестве матрицы используют как технический алюминий (например, АД1), так и сплавы (АМг6, В95, Д20 и др.).

Применение в качестве матрицы сплава (например, В95), упроченного термообработкой (закалка и старение), дает дополнительный эффект упрочнения КМ.

Таблица 8.4

Механические свойства односно-армированных КМ
с металлической матрицей

КМ	Матрица	Наполнитель		ρ , т/м ³	$\sigma_b/(\rho g)$, км	E , ГПа	$E/(\rho g) \cdot 10^{-3}$, км	σ_b , МПа (20°C)	σ_{-1} , МПа (на базе 10^7)
		Материал	Количество, % (об.)						
ВКА-1	Алюминий	Борное волокно	50	2,65	45	240	9	1200	600
ВКУ-1	--	Углеродное волокно	30-40	2,2- 2,3	42	270	12	900- 1000	200
КАС-1	--	Стальная проволока	40	4,8	33	120	2	1600	350
ВКМ-3	Магний	Борное волокно	45	2,2	57	200	9	1250	—

Механические свойства КМ алюминиевый сплав – 50% объема борные волокна без термической обработки (числитель) и после нее (знаменатель) приведены ниже:

	Вдоль волокон	Поперек волокон
σ , МПа	1580/1670	137/259
E , ГПа	232/239	141/148

Примечание. Временное сопротивление матрицы (Al – 1%, Mg – 0,6%, Si – 0,2% Cr) до термической обработки составляло 130 МПа, после – 320 МПа.

Видно, что в направлении оси волокон эффект упрочнения невелик, тогда как в поперечном направлении, где свойства определяются в основном свойствами матрицы, он достигает 50%.

Наиболее дешевым, достаточно эффективным и доступным армирующим материалом является высокопрочная стальная проволока. Например, армирование технического алюминия проволокой из стали ВНС9 диаметром 0,15 мм ($\sigma_g = 3600$ МПа) увеличивает его σ_g в 10-12 раз при содержании волокна 25% объема, после чего σ_g достигает соответственно 1000-1200 и 1450 МПа. Если для армирования использовать проволоку меньшего диаметра, т. е. большей прочности ($\sigma_g = 4200$ МПа) σ_g КМ увеличится до 1750 МПа. Таким образом, алюминий, армированный стальной проволокой (25-40% объема), по основным свойствам значительно превосходит даже высокопрочные алюминиевые сплавы и выходит на уровень соответствующих свойств титановых сплавов. При этом плотность композиций находится в пределах 3,9 ... 4,8 т/м³.

Упрочнение алюминия и его сплавов более дорогими волокнами В, С, Al₂O₃ повышает стоимость КМ, но при этом улучшаются некоторые его свойства. Например, при армировании борными волокнами модуль упругости увеличивается в 3-4 раза, углеводородные волокна способствуют снижению плотности. На рис. 8.9 показано влияние объемного содержания волокон бора V_g на прочность и жесткость композиции «алюминий – бор»:

$V_g, \%$ (объемн.)	0	10	20	30	40	50
$\sigma_g, \text{МПа}$	70-140	300-380	500-650	700-900	900-1140	1100-1400
$E, \text{ГПа}$	70	105	135	180	190-200	200-257

Бор мало разупрочняется с повышением температуры, поэтому КМ, армированные борными волокнами, сохраняют высокую прочность до 400-500°С. Промышленное применение нашел материал ВКА-1, содержащий 50% объема непрерывных высокопрочных и высокомодульных волокон бора. По модулю упругости и временному сопротивлению в интервале 20-500 °С он превосходит

все стандартные алюминиевые сплавы, в том числе высокопрочные В95, и сплавы, специально предназначенные для работы при высоких температурах (например, АК4-1). Наглядно это представлено на рис. 8.10. Высокая демпфирующая способность материала обеспечивает вибропрочность изготовленных из него конструкций. Плотность КМ ВК4-1 равна $2,65 \text{ т/м}^3$, а удельная прочность – 45 км. Это значительно выше, чем у высокопрочных сталей и титановых сплавов.

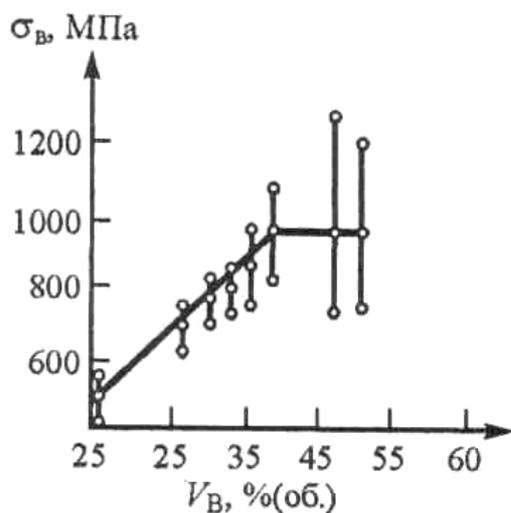


Рис. 8.9. Зависимость временного сопротивления борноалюминиевых листов от объемного содержания борных волокон

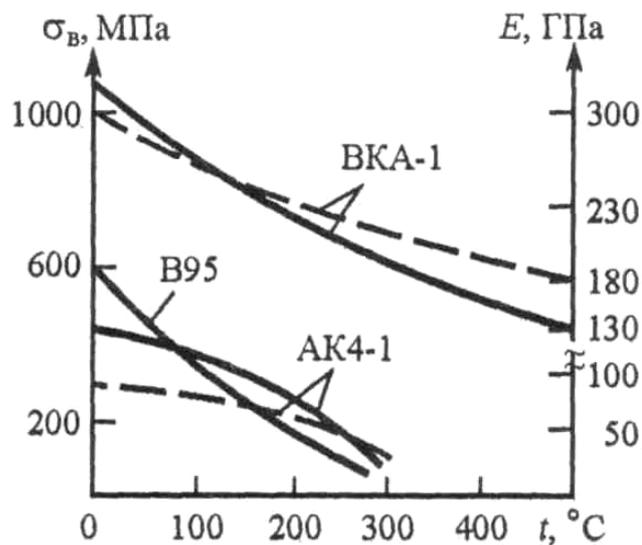


Рис. 8.10. Зависимость временного сопротивления (сплошные линии) и модуля упругости (штриховые линии)

Расчеты показали, что замена сплава В95 на титановый сплав при изготовлении лонжерона крыла самолета с подкрепляющими элементами из ВКА-1 увеличивает его жесткость на 45% и дает экономию в массе около 42%. КМ на алюминиевой основе, армированные углеродными волокнами (ВКУ), дешевле и легче, чем материалы с борными волокнами. И, хотя они уступают последним по прочности, их удельные прочности близки. Однако изготовление КМ с углеродным упрочнителем связано с большими технологическими трудностями вследствие взаимодействия углерода с металлическими матрицами при нагреве,

вызывающего снижение прочности материала. Для устранения этого недостатка применяют специальные покрытия углеродных волокон.

Материалы с магниевой матрицей характеризуются меньшей плотностью (1,8-2,2 т/м³), чем с алюминиевой, при почти такой же высокой прочности (1000-1200 МПа) и поэтому более высокой удельной прочностью. Деформируемые магниевые сплавы (МА2 и др.), армированные борным волокном (50% объема), имеют более высокую прочность. Хорошая совместимость магния и его сплавов с борным волокном, с одной стороны, позволяет изготовить детали методом пропитки практически без последующей механической обработки, с другой – обеспечивает большой ресурс работы деталей при повышенных температурах. Удельная прочность этих материалов повышается благодаря применению в качестве матрицы сплавов, легированных легким литием, а также в результате использования более легкого углеродного волокна. Как уже отмечалось, введение углеродного волокна усложняет технологию производства сплавов. Как известно, магний и его сплавы обладают низкой технологической пластичностью, склонностью к образованию рыхлой оксидной пленки.

При создании КМ на титановой основе встречаются трудности, вызванные необходимостью нагрева до высоких температур. При таких температурах титановая матрица становится очень активной; она приобретает способность к газопоглощению, взаимодействию с многими упрочнителями: бором, карбидом кремния, оксидом алюминия и др. В результате образуются реакционные зоны, снижается прочность как самих волокон, так и КМ в целом. Кроме того, высокие температуры приводят к рекристаллизации и разупрочнению многих армирующих материалов, что снижает эффект от армирования. Поэтому для упрочнения материалов с титановой матрицей используют проволоку из бериллия и керамических волокон тугоплавких оксидов (Al₂O₃), карбидов (SiC), а также тугоплавких металлов, обладающих большим модулем упругости и высокой температурой рекристаллизации (Mo, W). Причем целью армирования является в основном не повышение и без того высокой удельной прочности, а увеличение модуля упругости и рабочих температур. Механические свойства титанового

сплава ВТ6 (6 % Al, 4 %V, остальное Ti), армированного волокнами Mo, Be и SiC представлены в табл. 8.5. Видно, что наиболее эффективно удельная жесткость повышается при армировании волокнами карбида кремния.

Таблица 8.5

Механические свойства КМ на основе сплава ВТ6

Упрочнитель	Содержание упрочнителя, % (об)	ρ , т/м ³	σ_B , МПа в скобках σ_B упрочнителя	$\sigma_B/(pg)$, км	E, ГПа	E/(pg)·10 ⁻³ , км
Mo	30	6,25	1400 (2300)	22	200	3,2
Be	33	–	1050 (1050)	–	168	–
SiC	25	4,3	910 (2550)	23	210	5

Армирование сплава ВТ6 молибденовой проволокой способствует сохранению высоких значений модуля упругости до 800°C. Его значение при этой температуре соответствует 124 ГПа, т. е. снижается на 33%, тогда как временное сопротивление при этом уменьшается до 420 МПа, т. е. более чем в 3 раза.

Основная задача при создании КМ на никелевой основе заключается в повышении рабочих температур до 1000°C и более. И одним из лучших металлических упрочнителей, способных обеспечить хорошие показатели прочности при столь высоких температурах, является вольфрамовая проволока. Введение вольфрамовой проволоки в количестве от 40 до 70% объема в сплав никеля с хромом обеспечивает σ_{100}^{1000} в пределах 130-250 МПа, тогда как лучший неармированный никелевый сплав, предназначенный для работы в аналогичных условиях, имеет $\sigma_{100}^{1000} = 75$ МПа. Использование для армирования проволоки из сплавов вольфрама с рением или гафнием увеличивает этот показатель на 30-50%.

Контрольные вопросы

1. Каким образом получают ДУКМ?
2. Достоинства и недостатки ДУКМ.
3. Что такое САП и какова его структура?
4. Что такое САС и технология его получения?
5. Какими волокнами армируют КМ?
6. Как изменяется степень упрочнения при изменении отношения длины к диаметру?
7. Какова роль матрицы КМ при усталостных нагрузках?
8. Что такое «вискеризация» и какова ее роль?

9. КМ НА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ

9.1. СТРУКТУРА КМ НА НЕМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ

По сравнению с КМ на металлической основе эти материалы отличает хорошая технологичность, низкая плотность и в ряде случаев более высокие удельные прочность и жесткость. Кроме того, КМ на неметаллической основе имеют высокую коррозионную стойкость, хорошие теплозащитные и амортизационные свойства и т. д.

Для большинства КМ с неметаллической матрицей характерны следующие недостатки: низкая прочность связи волокна с матрицей, резкая потеря прочности при повышении температуры выше 100-200°C, плохая свариваемость.

Среди неметаллических КМ наибольшее распространение получили композиции с полимерной матрицей: эпоксидной, фенолоформальдегидной и полиамидной.

В настоящее время для КМ особо высокой теплостойкости используют керамические и углеродные матрицы. В качестве упрочнителей применяют вы-

сокопрочные и высокомодульные углеродные и борные, стеклянные и органические волокна в виде нитей, жгутов, лент и нетканых материалов.

Группы КМ, армированных однотипными волокнами, имеет специальные названия, данные им по названию волокна. Композиции с углеродными волокнами называются *углеволокнитами*, с борными – *бороволокнитами*, стеклянными – *стекловолокнитами*, органическими – *оргоноволокнитами*. Для оргоноволокнитов используют эластичные (лавсан, капрон, нитрон) и жесткие (ароматический полиамид, винил) синтетические волокна.

Из-за быстрого отверждения и низкого коэффициента диффузии в неметаллической матрице (исключение составляют оргоноволокниты) в КМ нет переходного слоя между компонентами. Связь между волокнами и матрицей носит адгезионный характер, т. е. осуществляется путем молекулярного взаимодействия. Прочность связи, характеризуемая параметром $\tau_0 \xi$ (τ_0 – прочность сцепления, ξ – коэффициент контакта), повышается с увеличением критического поверхностного натяжения волокна (σ_c).

Для обеспечения высокой прочности связи между компонентами необходимо полное смачивание волокон (которая достигается, например, растеканием жидкого связующего по поверхности волокон); при этом поверхностная энергия волокон должна быть больше поверхностного натяжения жидкой матрицы. Однако для жидких смол, обладающих лучшей адгезией к наполнителям среди других полимеров, поверхностное натяжение составляет $5,0 \cdot 10^{-5}$ Дж/м², тогда как для углеродных волокон оно находится в интервале $(2,7 \dots 5,8) \cdot 10^{-5}$ Дж/м², а для борных равно $2,0 \cdot 10^{-5}$ Дж/м². Поверхностную энергию волокон повышают различными методами обработки их поверхности: травлением, окислением, вискеризацией. Например, после травления борных волокон в азотной кислоте их критическое поверхностное натяжение достигает сотен джоулей на квадратный метр. На рис. 9.1 видно, что благодаря травлению поверхностное натяжение борного волокна увеличивается и параметр $\tau_0 \xi$ резко возрастает. Это свидетельствует об увеличении прочности связи между волокнами и матрицей.

По сравнению с другими полимерами, применяемыми в качестве матриц КМ, эпоксидные обладают более высокими механическими свойствами в интервале от -60 до 180°C , что обеспечивает КМ более высокие механические характеристики при сжатии и сдвиге. Эпоксидные матрицы отверждаются при сравнительно невысоких температурах с небольшой усадкой, позволяющей изготавливать из КМ на их основе крупногабаритные детали. При этом не требуется больших давлений, что особенно важно при использовании для армирования высокопрочных хрупких волокон, так как уменьшается вероятность их повреждения.

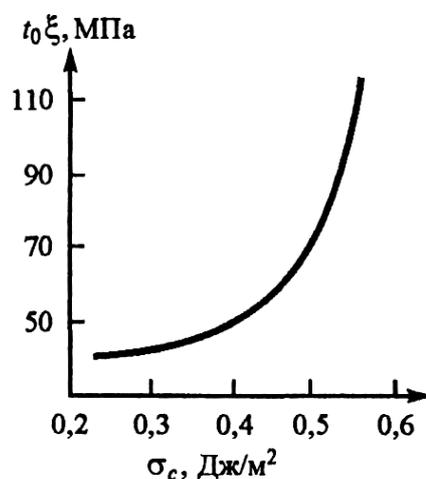


Рис. 9.1. Зависимость параметра $\tau_0\xi$ боропластика от критического натяжения борных волокон

Эпоксидные матрицы уступают фенолоформальдегидным и особенно полиамидным в теплостойкости.

9.2. СПОСОБЫ УЛУЧШЕНИЯ СВОЙСТВ КМ

Одним из способов улучшения свойств КМ является увеличение жесткости матрицы с помощью введения в их структуру ионов металлов, которые усиливают взаимосвязь между полимерными молекулами. Как видно из табл. 9.1, введение в матрицу 15% Ba^{2+} или Ni^{2+} повышает модуль упругости при изгибе полиметилефенольной матрицы соответственно на 25 и 50%. При этом

предел прочности при изгибе матрицы, армированной стеклянным волокном, возрастает более чем в 14 раз, а матрицы, армированной углеродным волокном, – более чем в 16 раз. Увеличение прочности КМ объясняется не столько повышением прочности самой матрицы (она изменяется мало), сколько увеличением жесткости и адгезионной прочности ее сцепления с волокнами.

Таблица 9.1

Влияние добавок Ba^{2+} и Ni^{2+} на свойства одноосно–армированных КМ

Материал	$E_{и}, \text{МПа}$			$\sigma_{и}, \text{МПа}$			$\tau_{0\xi}, \text{МПа}$		
	Без добавок	Ba^{2+}	Ni^{2+}	Без добавок	Ba^{2+}	Ni^{2+}	Без добавок	Ba^{2+}	Ni^{2+}
Полиметилен–фенольная матрица	2060	2580	3100	81	87	90	–	–	–
То же + стеклянное волокно	44 500	45 000	45 600	89	1260	1330	1580	2160	2280
То же + углеродное волокно	106 000	107 000	108 000	87	1370	1520	–	–	–

Примечание. Значения модуля упругости и разрушающего напряжения определены при испытании на изгиб.

Механические свойства некоторых одноосно–армированных волокнистых КМ представлены в табл. 9.2. Самую высокую прочность и удельную прочность имеют стекловолокниты. Их временное сопротивление повышается приблизительно в три раза по мере увеличения объемного содержания наполнителя до 80% и достигает 700 МПа при армировании непрерывными нитями (рис. 9.2).

Свойства одноосно-армированных композиционных материалов
с полимерной матрицей

КМ	ρ , МПа	σ_b , МПа	$\sigma_b/(\rho g)$, км	δ , %	E , ГПа	$E/(\rho g) \cdot 10^{-3}$, км	σ_{-1} , МПа (на базе 10^7 циклов)
Углеволокниты:							
КМУ–1л	1,4	650	46	0,5	120	8,6	300
КМУ–1у	1,47	1020	70	0,6	180	12,2	500
КМУ–1в	1,55	1000	65	0,6	180	11,5	350
КМУ–2в	1,3	380	30	0,4	81	6,2	135
Бороволокниты:							
КМБ–1к	2	900	43	0,4	214	10,7	350
КМБ–2к	2	1000	50	0,3	260	13	400
КМБ–3к	2	1300	65	0,3	260	12,5	420
Органоволокниты с упрочнителем:							
эластичным	1,15– 1,3	100–190	8–15	10–20	2,5–8,0	0,22–0,6	100
жестким	1,2–1,4	650–700	50	2–5	35	2,7	–
Стекловолокниты	2,2	2100	96	–	70	3,2	–

Уменьшение диаметра непрерывных волокон, нанесение на них специальных покрытий, дополнительное введение в матрицу монокристаллов оксида алюминия способствует повышению временного сопротивления стекловолоконитов до 2000-2400 МПа. Они обладают хладостойкостью (до -196°C) и хорошей теплостойкостью; способны длительное время работать в диапазоне температур 200-400 $^\circ\text{C}$. Кроме того, благодаря демпфирующей способности их используют для работы в условиях вибрационных нагрузок.

Достоинствами стекловолоконитов являются недефицитность и низкая стоимость упрочнителя, недостатком – сравнительно низкий модуль упругости. Однако по удельной жесткости они превосходят легированные стали и сплавы алюминия, магния и титана (2500-2800 км).

Частичная замена стеклянных волокон на углеродные и увеличение доли последних вплоть до полной замены при общем постоянном содержании наполнителя вызывают повышение жесткости КМ (рис. 9.3). При полной замене модуль упругости увеличивается приблизительно в 3 раза и у углеволокнитов достигает 180 ГПа. Однако временное сопротивление и удельная прочность при любом содержании волокон не достигают уровня стекловолокнитов.

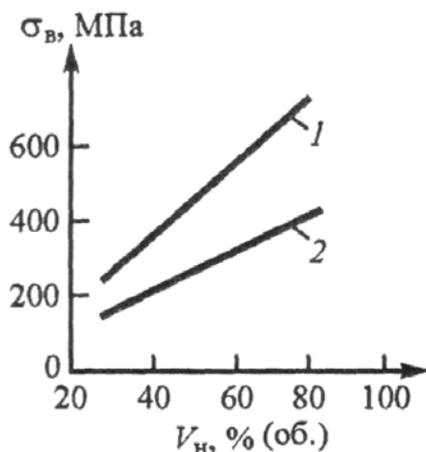


Рис. 9.2. Зависимость прочности стекловолокнитов от содержания и вида наполнителя:
 1 – непрерывное ориентированное волокно; 2 – короткое неориентированное волокно

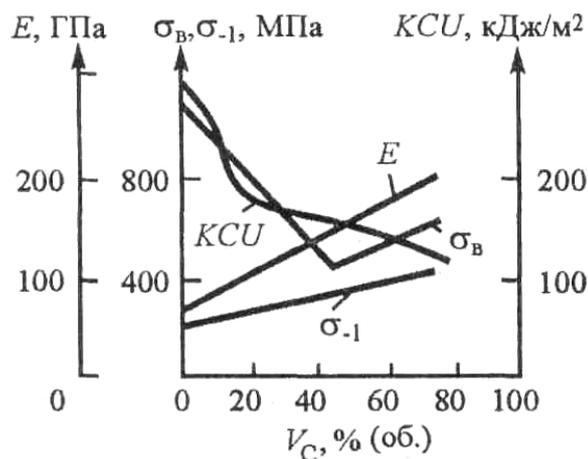


Рис. 9.3. Зависимость механических свойств волокнита при разном соотношении армирующих стеклянных и углеродных волокон (общее содержание наполнителя 62 % (об.))

Углеволокниты обладают низкими теплопроводностью и электрической проводимостью, но все же их теплопроводность в 1,5-2 раза выше, чем у стекловолокнитов. Они имеют малый и стабильный коэффициент трения и обладают хорошей износостойкостью. Температурный коэффициент линейного расширения углеволокнитов в интервале 20-120 °С близок к нулю.

К недостаткам углеволокнитов относят низкую прочность при сжатии и межслойном сдвиге. Специальная обработка поверхности волокон (окисление, травление, вискеризация) повышает эти характеристики.

Бороволокниты характеризуются высокими временным сопротивлением, пределами прочности при сжатии и сдвиге, твердостью и модулем упругости.

Зависимости механических свойств бороволокнитов от объемного содержания волокон представлены на рис. 9.4.

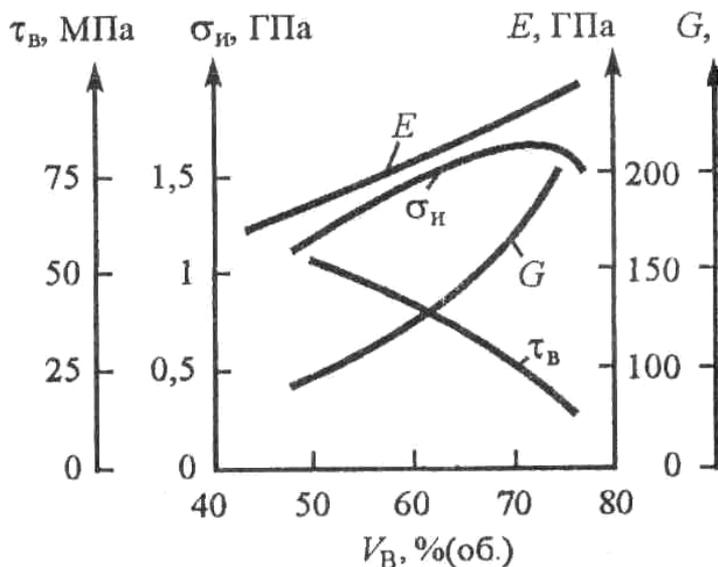


Рис. 9.4. Зависимость механических свойств бороволокнита КМБ-1 от объемного содержания борных волокон

Однако свойства бороволокнитов зависят не только от свойств волокон и их объемного содержания, но и в большей степени от их геометрии и диаметра. Так, ячеистая структура волокна обеспечивает высокую прочность при сдвиге и срезе. Большой диаметр волокон и высокий модуль упругости придают устойчивость бороволокниту и способствуют повышению прочности при сжатии. Вместе с тем большой диаметр вызывает необходимость увеличения эффективной длины волокон, повышает чувствительность к разрушению отдельных волокон, уменьшает временное сопротивление по сравнению с тонковолокнистым материалом.

Органоволокниты обладают высокой удельной прочностью в сочетании с хорошими пластичностью и ударной вязкостью. Их характерной особенностью являются единая полимерная природа матриц и волокон. Матрица и наполнитель имеют близкие значения коэффициента линейного расширения, им свойственны химическое взаимодействие и прочная связь. Органоволокниты имеют бездефектную и практически безпористую структуру (пористость 1-3%), хорошую стабильность механических свойств. Слабым местом при нагружении материала-

ла является не только граница раздела между волокном и матрицей, сколько межмолекулярные связи в самом волокне.

Структура орговолокна неоднородна. Большая степень ориентации фибрилл в направлении оси волокон обеспечивает им высокие прочность и жесткость при растяжении в этом направлении. Однако неоднородность структуры волокон обуславливает различные напряженные состояния в отдельных ее элементах. Между этими элементами возникают напряжения сдвига, которые приводят сначала к расщиплению волокна вдоль оси, а затем – к разрушению. Такой механизм разрыва волокон вызывает большую работу разрушения в целом. Это характеризует высокую прочность при статическом и динамическом нагружении. Органоволокниты, особенно с эластичным наполнителем, имеют очень высокую ударную вязкость (0,6-0,7 Мдж/м²). Слабые межмолекулярные связи являются причиной низкой прочности и жесткости при сжатии. При этом предельная деформация при сжатии определяется не разрушением волокон, а их искривлением. Дополнительное армирование органоволокнитов волокнами, затрудняющими это искривление, например, углеродными и борными, повышает прочность при сжатии.

Существуют керамические КМ, в состав которых входит керамическая матрица и металлические и не металлические наполнители. Керамические КМ обладают высокими температурой плавления, стойкостью к окислению, термоударами и вибрации. Их получают порошковой технологией, гидростатическим, изостатическим и горячим прессованием, а также центробежным, геликерным и вакуумным литьем. В качестве матриц используют силикатные (SiO₂), алюмосиликатные (Al₂O₃-SiO₂), алюмоборосиликатные (Al₂O₃-B₂O₃-SiO₂) и другие стекла, тугоплавкие оксиды (ThO₂, BeO, Al₂O₃, ZrO₂, и т. д.), нитрид Si₃N₄, бориды (TiB₂, ZrB₂) и карбиды (SiC, TiC).

Керамические КМ на основе карбидов и оксидов с добавками металлического порошка (< 50% (об)) называют *кирметами*. Они не нашли широкого применения из-за высокой хрупкости. Помимо порошков для армирования керамических КМ используют металлическую проволоку из жаропрочной стали,

вольфрама, молибдена, ниобия, а также неметаллические волокна (углеродные, керамические). Ориентация волокон в зависимости от условий нагружения может быть направленной или хаотичной.

Использование металлической проволоки из тугоплавких металлов и жаропрочных сталей имеет целью создать пластичный каркас, предохраняющий КМ от преждевременного разрушения при растрескивании керамической матрицы. Ударная вязкость и термостойкость керамических КМ повышаются при увеличении содержания волокна не более чем на 25% объема, затем возрастающая пористость вызывает снижение прочности этих КМ. Недостатком керамических КМ, армированных металлическими волокнами, является низкая жаростойкость.

Перспективным наполнителем для керамических КМ является высокомодульное углеродное волокно. Для обеспечения максимальной прочности доля углеродного волокна должна составлять 50-60% объема при оптимальном отношении модулей упругости матрицы и волокна, равном 0,1. Однако свойства и температура эксплуатации этих КМ в большей степени зависят от материала матрицы. Рабочие температуры для углекерамических КМ со стеклянной матрицей, отличающихся высокой стабильностью механических свойств практически до температур размягчения (600-800°C), не должны превышать эти температуры. КМ с матрицей из тугоплавких оксидов можно использовать до 1000°C, из боридов и нитридов – до 2000°C, из карбидов – свыше 2000°C. Кроме того, свойства керамических КМ зависят от способа формования.

Преимуществом керамических КМ, армированных волокнами SiC, является химическое сродство матрицы и наполнителя в этих КМ, которое обеспечивает высокую прочность связи между ними, что в сочетании со стойкостью к окислению при высоких температурах позволяет их использовать для ответственных тяжело нагруженных изделий (высокотемпературные подшипники уплотнений, направляющие и рабочие лопатки газотурбинных двигателей, носовые обтекатели ракет и т. д.)

Углерод-углеродными называются КМ, представляющие собой углеродную матрицу, армированную углеродными волокнами или тканями. Одинаковая природа и близкие физико-химические свойства обеспечивают прочную связь волокон с матрицей и уникальные свойства этим КМ. Механические свойства упомянутых КМ в большей степени зависят от схемы армирования (σ_b может меняться от 100 до 1000 МПа). Наиболее предпочтительным является многоосное армирование, при котором армирующие волокна расположены в трех и более направлениях (рис. 9.5).

9.3 УГЛЕРОД-УГЛЕРОДНЫЕ КМ

Достоинствами углерод-углеродных КМ являются малая плотность (1,3-2,1 т/м³); высокие теплоемкость, сопротивление тепловому удару, эрозии и облучению; низкие коэффициенты трения и линейного расширения; высокая коррозионная стойкость; широкий диапазон электрических свойств (от проводников до полупроводников); высокие прочность и жесткость. Уникальной особенностью углерод-углеродных КМ является увеличение прочности в 1,5-2,0 раза и модуля упругости при повышении температуры. К их недостаткам относят склонность к окислению при нагреве до температур выше 500°C в окислительной среде. В инертной среде и вакууме изделия из углерод-углеродных КМ работают до 3000°C.

Исходным материалом для матриц служат синтетические органические смолы с высоким коксовым остатком (феноло-формальдегидные, фурановые, эпоксидные и др.).

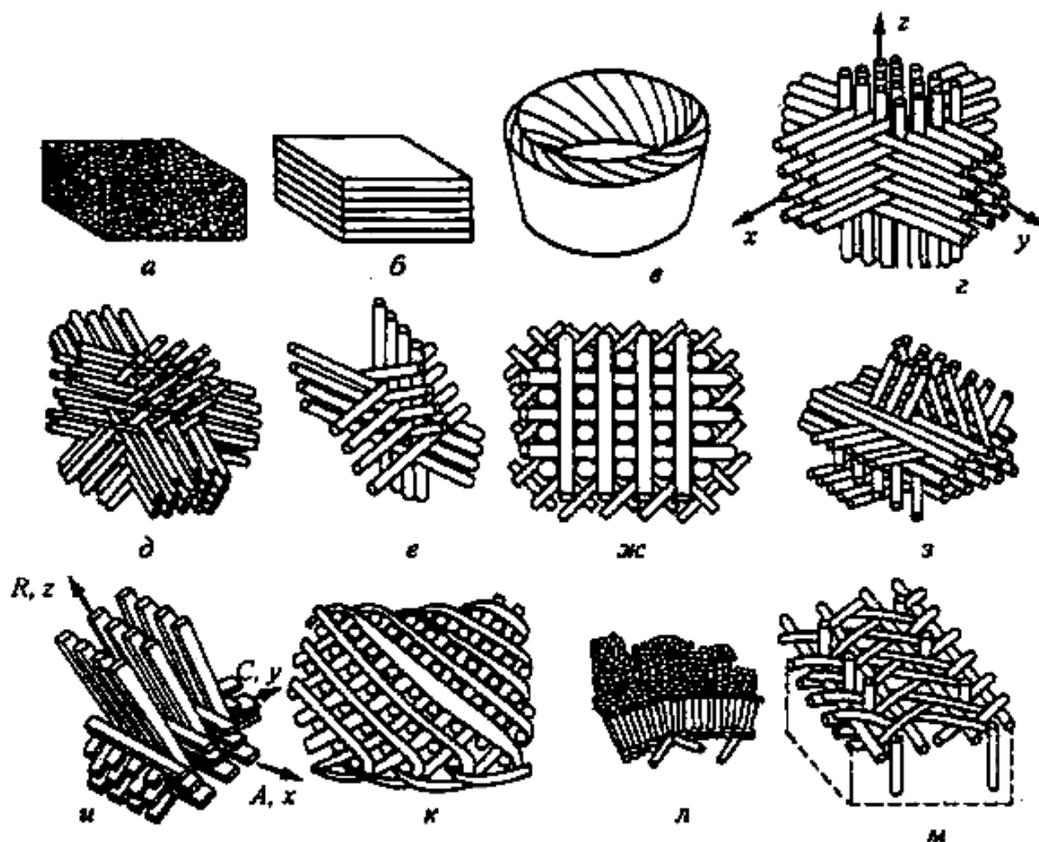


Рис. 9.5. Схемы армирования:

а – хаотическая; *б* – слоистая; *в* – розеточная; *г*–*з* – ортогональная;
и – аксиально– радиально–окружная; *к* – аксиально–спиральная;
л – радиально–спиральная; *м* – аксиально–радиально–спиральная

Термоактивные смолы обладают хорошей пропитывающей способностью. Большинство из них отверждается при относительно низких температурах (до 200-250 °С) и содержат 50-56% кокса. При перомезе они образуют стекловидный углерод, который не подвержен графитизации до 3000 °С.

Кроме того, в качестве матриц используют каменноугольные и нефтяные пропитывающие пекивязкие остатки перегонки дегтей, смол, образующихся при термической обработке твердых топлив (угля, торфа и др.) или при пиролизе нефти. Они представляют собой сложную смесь полциклических ароматических углеводородов, характеризующихся невысокой стоимостью, доступностью, низкой температурой размягчения (80-100 °С), небольшой вязкостью и высоким содержанием кокса (62-95% объема). К недостаткам пеков относится неоднородный химический состав, способствующий образованию пористости;

термопластичность, вызывающая миграцию связующих и деформацию изделия; наличие концеровенных соединений, требующих дополнительных мер безопасности.

Наполнителями углерод-углеродных КМ служат углеграфитовые волокна, жгуты, нити, тканые материалы. Структура и свойства КМ в большей степени зависят от способа их получения. Наибольшее распространение получили следующие два способа.

Первый способ состоит из протяжки графитовых волокон смолой или пеками, намотки заготовки, ее отверждения и механической обработки на заданный размер, карбонизация (800-1500°C) в неокислительной или нейтральной среде, упрочнение пиролитическим углеродом, графитизации при 2500-3000°C и нанесении противоокислительных покрытий из карбидов кремния и циркония. Для получения материала высокой плотности цикл «пропитка–отверждение–карбонизация» многократно повторяют. Весь процесс повторяется около 75 часов. В зависимости от режимов проведения, плотность КМ, полученного этим методом, 1,3-2,0 т/м³. Свойства полученного при этом углерод-углеродного КМ зависят от многих факторов: вида исходного волокна и связующего, условий пропитки, степени напряжения матрицы, свойства кокса и прочности связи с волокном, режимов отверждения, карбонизации, графитизации, многократности цикла «пропитка–отверждение–карбонизация». Так, при пропитке феноло-формальдегидной смолой плотность КМ не превышает 1,65 т/м³, при пропитке фурановыми смолами она достигает до 1,85 т/м³, а при использовании пеков – составляет 2,1 т/м³. Нагрев карбонизированного материала до 2500-3000°C вызывает его графитизацию.

Второй способ получения углеро-углеродного КМ состоит в осаждении углерода из газовой среды, образующейся при термическом разложении углеводородов (например, метана), на волокнах каркаса заготовки (изделия) и заполнения пор между ними. Углерод образует соединительные мостики между волокнами. Метод осаждения из газовой среды более дорог, но обеспечивает более прочное сцепление волокон с матрицей, более высокое содержание углерода в

матрице и большую плотность КМ. Кроме того, он дает возможность создания гибридных КМ с различной структурой благодаря многослойному осаждению углерода и других материалов (например, Zn, Ta, Cu), а также много направленному пространственному армированию (рис. 9.5). Этот метод позволяет получить КМ с различными свойствами, в том числе и с заданными.

Существуют также технологии, сочетающие эти два способа.

Контрольные вопросы

1. Расскажите о достоинствах и недостатках КМ с неметаллической матрицей.
2. Какими свойствами и структурами обладают углеволокниты и боро-волокниты?
3. Для чего вводят в матрицу ионы металлов?
4. Каковы свойства стекловолокнитов?
5. Какими свойствами обладают органо-волокниты?
6. Расскажите достоинства и недостатки керамических КМ.
7. Каковы достоинства и недостатки эпоксидных матриц?
8. Что такое «керметы»?

10. ПЛАСТМАССЫ

10.1. СОСТАВ И СВОЙСТВА

Совершенствование конструкции автомобиля связано с постоянным расширением применения различных видов пластмасс в качестве конструктивных материалов.

В российской автомобильной промышленности в соответствии с мировой тенденцией, неуклонно возрастает объем применения пластмасс конструктивных материалов. Наибольшее применение находят разнообразные композиции полиэтилена, полипропилена, их блоксополимера, а также полиамидов 6 и 66, пенополиуретаны.

Пластические массы относятся к полимерным высокомолекулярным синтетическим материалам. Их можно сваривать, прессовать и прокатывать как металл. Из них можно отливать детали самой сложной формы.

Наиболее быстрыми темпами растет применение таких пластмасс, как полиэтилен, сополимер этилена с винилацетатом, полипропилен, полиамид, поликарбонат. Ожидается резкий рост использования пластмасс для изготовления кузовных деталей. Пластмассы используют для изготовления бамперов, в конструкциях дверей, багажников, капотов. Планируется почти полный переход к пластмассовым топливным бакам.

Применение пластмасс резко увеличилось с выпуском автомобиля «Жигули». С учетом опыта ВАЗа объем применения пластмасс на АЗЛК увеличен в 1,4 раза. На автомобилях семейства КамАЗ также нашли применение пластмассы в объеме в 3-5 раз выше, чем на автомобилях ГАЗ и ЗИЛ. Это имеет особое значение для грузовых автомобилей, используемых в сельском хозяйстве, где практически нет гаражей, ниже уровень технического обслуживания. Целесообразно также изготавливать пластмассовые кабины и для автомобилей, работающих в условиях Крайнего Севера, так как их теплоизоляционные свойства значительно лучше чем металлических кабин. Снижение веса цельнопластмассовых бескаркасных кабин, созданных для автомобилей БелАЗ и УАЗ, состав-

ляет соответственно 64 и 39 кг. В 3-4 раза снижается трудоемкость их изготовления, в 2,5–3 раза сокращается количество деталей. Такие кабины коррозионно-стойкие, их легко восстанавливать при повреждениях. На автомобилях семейства МАЗ в среднем (в зависимости от модификации) применяется от 150-200 деталей из полимерных материалов, причем их масса на одном АТС составляет 125-150 кг. Это сказывается на общей массе автомобиля, а, следовательно, на снижении нагрузки на ось, экономии топлива, тягово-динамических показателей и конкурентоспособности. Очень важно и то, что пластмассы экономят дорогостоящие и дефицитные цветные металлы. Типичный пример – замена металлических трубопроводов тормозных систем на полиамидные. В настоящее время внедрение пластмасс на МАЗ и предприятиях, входящих в состав ПО «БелоавтоМАЗ», продолжается – организуется производство многослойных деталей внутренней обивки салона кабин автомобилей, а также крупногабаритных деталей наружного пояса кабины (бампер, облицовка, крылья, подножки и др.).

Поставщиками конструкционных пластмасс являются российские фирмы, такие как «Томскполимер» (Томск), «Карболит» (Орехово-Зуево) и НПП «Полипластик» (Москва), а также различные зарубежные фирмы. Так, для изготовления топливных баков автомобилей используются композиции на основе полиэтилена; для изготовления брызговиков и ковриков поддонов используются полиолефиновые композиции «Армлен ПЭ СК 40». Панели приборов, консоль, кожух рулевой колонки, панель клавишных переключателей, корпуса фонарей, плафонов и приборов изготавливают из композиций полипропилена с минеральными наполнителями и различными усиливающими модификаторами.

К числу общих положительных технико-экономических качеств пластических масс относятся следующие:

- более низкая стоимость пластмассовых изделий по сравнению со стоимостью изделий из металлов или других материалов;
- малая плотность, как правило, не превышающая 1500 кг/м^3 , что примерно в 5-8 раз ниже, чем у стали;

- высокое отношение прочности к плотности, т. е. значительная удельная объемная прочность;
- хорошие электро-, тепло- и звукоизоляционные свойства;
- легкая перерабатываемость в изделия, что указывает на высокую технологичность;
- высокая стойкость к различным агрессивным средам;
- возможность придания выраженных антифрикционных или выраженных фрикционных свойств;
- хорошие прозрачность и способность окрашиваться;
- устойчивость к вибрациям.

В целом применение пластмасс в автомобилестроении обеспечивает:

- снижение материалоемкости конструкций за счет применения крупногабаритных и других деталей;
- повышение безопасности за счет применения полужестких, эластичных пенополиуретанов для сидений, рулевых колес, подлокотников, потолка, панелей приборов бамперов и других деталей;
- повышение долговечности за счет применения покрытий деталей, обращенных к полотну дороги, применения крыльев, фартуков, бамперов и других деталей из пластмасс;
- сокращение трудоемкости за счет высокой технологической податливости пластмасс при переработке их в изделия.

Так, заменяя черные металлы литьевыми пластмассами, достигают снижения трудоемкости изготовления деталей примерно в 5-6 раз.

Характерной особенностью пластмасс является то, что в зависимости от используемых для их производства компонентов соотношения этих компонентов и технологического режима можно получить материалы с ярко выраженными свойствами. Они надежно защищают металл от коррозии, из-за которой ежегодно выходит из строя 8-10% всего производимого в стране металла. Кроме того, пластмассовые покрытия придают изделиям красивый внешний вид.

Пластмассами называют такие материалы, которые содержат в качестве основного связующего компонента полимер.

Пластмассы разнообразны по своему составу. В общем виде они включают полимеры, наполнители, пластификаторы, антистарители и красители. В зависимости от типа пластмассы в ее состав входят все перечисленные компоненты или только некоторые из них. Нередки случаи, когда изделия изготавливают из одного лишь полимера и тогда понятия пластмасса и полимер становятся тождественными.

Полимер. Полимер – это основной элемент пластмассы, выполняющий роль связующего вещества. Полимерные соединения могут быть синтетическими (полиэтиленфенолоформальдегидные смолы и др.) и естественными (натуральный каучук, целлюлоза, смолы и др.).

Характерной чертой как синтетических, так и естественных полимеров является пластичность, способность материала принимать придаваемую ему форму под воздействием тепла и давления и устойчиво ее сохранять.

Макромолекулы с линейным строением образуются при реакции полимеризации, когда несколько одинаковых молекул соединяются вместе без выделения побочных продуктов. В реакцию полимеризации могут вступать не только одинаковые мономеры, но и различные в количестве 2-3 и более. Такие сложные полимеры называют *сополимерами*. Схемы строения указанных разновидностей полимеров показаны на рис. 10.1.

Полимеры по своим свойствам подразделяются на *термопластические* (пластмассы на их основе относят к группе термопластов) и на *терморективные* (пластмассы на их основе относят к группе терморективных). В некоторые пластмассы входят одновременно терморективные и термопластичные полимеры.



Рис. 10.1 Схемы строения полимеров:
 А и Б – различные звенья макромолекул

Для улучшения свойств пластмасс в них вводят следующие добавки – наполнители, антистарители, красители.

Наполнители. Наполнители служат для увеличения объема и улучшения физико–механических и других свойств пластмасс, а также для уменьшения усадки при отверждении пластмасс, которая в некоторых случаях достигает 10–20% по объему. В качестве наполнителей применяют древесную муку, кварцевый или асбестовый порошок, очесы хлопка, стеклянные волокна. Для получения особо прочных пластмасс в качестве наполнителя используют хлопчатобумажные и стеклянные ткани, бумагу или древесный шпон (тонкий лист древесины). Такие пластмассы называют слоистыми пластиками.

Пластификаторы. Пластификаторы служат для понижения хрупкости пластмасс. К ним относятся жидкости (дибутилфталат, диоктилфталат и др.) или низкоплавкие воскоподобные вещества, хорошо совмещающиеся с полимерами. Хрупкость пластмассы уменьшается в результате проникновения пластификатора в межцепное пространство полимера.

Антистарители. Антистарители (антиокислители) замедляют процесс окисления пластмасс в процессе их применения, особенно при повышенной температуре и воздействии света.

Красители. Красители служат для придания пластмассам требуемого декоративного вида, а также для уменьшения влаго- и светопоглощения.

Кроме того, в пластмассы вводят стабилизаторы, которые связывают низкомолекулярные продукты разложения полимеров; ускорители или замедлите-

ли процесса отверждения пластмасс, а также смазывающие вещества, которые предотвращают прилипание пластмасс к стенкам пресс-формы.

Низкая плотность пластмасс позволяет уменьшить массу изготавливаемых деталей. Так как с повышением температуры прочность пластмасс снижается, часто пластмассы армируют металлом.

Пластические массы в зависимости от химической природы полимеров разделены на четыре класса.

Класс А. Пластические массы на основе высокомолекулярных соединений, получаемых цепной полимеризацией: полиэтилен ВД, полиэтилен НД, пропилен, винипласт и пластикаты на основе полвинилхлорида; полиизобутилен; фторопласты; полистирол и его сополимеры; этинопласты (поливинилбутироль и др.), акрилопласты и др.

Класс Б. Пластические массы на основе полимеров, получаемых поликонденсацией и ступенчатой полимеризацией: фенопласты с различными наполнителями (пресс-порошки, волокниты, текстолиты, стекловолокниты, фаолит и др.); аминопласты, мелалит; эфиропласты; полиамиды (капрон и др.); уретанопласты; эпоксиопласты и др.

Класс В. Пластические массы на основе химически модифицированных природных полимеров. К ним относятся пластические массы на основе производных целлюлозы (целлулоид, этролы), галолит.

Класс Г. Пластические массы на основе природных и нефтяных асфальтов и смол: битумопласты с различными наполнителями.

Кроме этой классификации, пластмассы делятся на две основные группы – *терморективные* и *термопластичные* и на подгруппы по физико-механическим свойствам.

Плотность. Плотность для большинства пластмасс составляет 900-2200 кг/м³. Невысокая плотность является одним из преимуществ пластмасс перед другими материалами, которое позволяет уменьшить массу изделия.

Прочность. В отличие от металлов прочностные свойства пластмасс зависят от формы и размеров изделия, от времени эксплуатации. Характерной

особенностью пластмасс является их способность изменять размеры под постоянной нагрузкой.

После длительного действия постоянной нагрузки понижается прочность пластмасс. Вследствие этого пластмассы не пригодны там, где на них действуют в процессе эксплуатации постоянные (хотя и допускаемые) нагрузки. В то же время пластмассы благодаря своей эластичности лучше, чем металл, выдерживают переменные нагрузки.

Рабочий температурный интервал у пластмасс значительно уже, чем у сталей. И влияние температуры внутри этого интервала на размеры деталей и прочностные свойства пластмасс значительно выше (рис. 10.2)

Величины пределов прочности и модулей упругости у пластмасс значительно меньше, чем у сталей. По этой причине пластмассы не пригодны там, где требуется высокая жесткость изделий.

Для повышения жесткости пластмассовые детали иногда армируют металлом. У наиболее прочной пластмассы – стеклопластика – предел прочности при растяжении достигает 700 МПа.

Теплостойкость. Большинство пластмасс могут работать в следующем интервале температур: термопласты от -50° до $+80^{\circ}$ и реактопласты до 120°C . Пластмассы на основе кремнийорганических полимеров и фторопласты работают при температурах до $+500^{\circ}\text{C}$. Большинство же пластмасс при температурах $250\text{-}350^{\circ}\text{C}$ подвергается деструкции, т. е. процессу разложения полимера на мономеры и другие вещества (воду, углекислый газ, альдегиды и т. п.). Недостаточная теплостойкость является главным недостатком пластмасс как конструкционных материалов.

Морозостойкость. Морозостойкость отражает характер изменения механических свойств пластмасс в области отрицательных температур. Большинст-

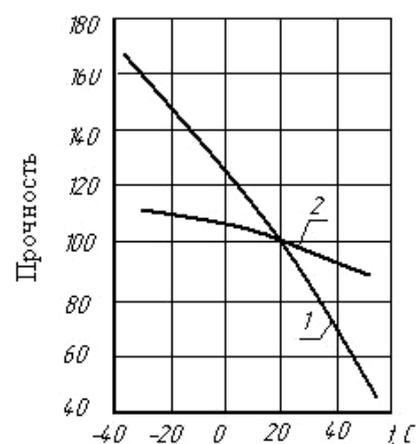


Рис. 10.2. Зависимость прочности пластмассы от температуры:
1 – термопласты; 2 – реактопласты

во пластмасс при отрицательных температурах, особенно термопласты, теряют свою пластичность, становятся хрупкими.

Теплопроводность. Пластмассы обладают значительно меньшей теплопроводностью, чем металлы, у которых она в 500-600 раз выше.

Оптические свойства. Органическое стекло, бесцветный, прозрачный пластик, по сравнению с силикатным стеклом особенно хорошо пропускает ультрафиолетовые лучи.

Коррозионная стойкость. Как правило, пластические массы в отличие от металлов обладают повышенной стойкостью к воздействию кислот, щелочей, солей и растворителей.

Диэлектрические свойства. Пластичные массы относятся к диэлектрикам.

Фрикционные свойства. Слоистые пластики (капрон) характеризуются низким коэффициентом трения и большой износостойкостью, поэтому применяются в подшипниках и других узлах трения. Пластики на базе фенольных смол с асбестовым наполнителем – асболокниты – имеют большой коэффициент трения и применяются в тормозных устройствах.

Устойчивость к атмосферным воздействиям. Пластмассы изменяют свои свойства под воздействием влаги, света и воды. Основной причиной старения пластмасс является деструкция полимеров под действием солнечных лучей и тепла, а также одновременно протекающие процессы окисления полимеров. Относительная недолговечность пластмасс является их серьезным недостатком по сравнению с металлом и вызывает необходимость проведения мер, предотвращающих старение.

10.2. ТЕРМОПЛАСТИЧНЫЕ ПЛАСТМАССЫ

Термопластичные полимерные соединения при нагревании приобретают пластичность, при охлаждении возвращаются в твердое состояние, повторно и неоднократно плавятся без изменения свойств материала. К ним относятся все

пластмассы класса «А» и частично класса «Б» (полистирол, полиэтилен, винилпласт и др.).

Термопластичные пластмассы (термопласты) получают полимеризацией низкомолекулярных органических веществ. Термопласты выпускаются с наполнителем и без наполнителя. Для улучшения антифрикционных свойств, повышения теплопроводности, износостойчивости в полиамиды и фторопласты вводят наполнители: графит, молотый кокс, свинец, бронзу, дисульфид молибдена, стекловолокно и др.

Ненаполненные товарные термопласты бывают пластифицированные и неластифицированные. Различные синтетические органические и неорганические вещества применяются как стабилизаторы и противостарители. Причем каждый полимер стабилизируется определенными веществами.

Большинство термопластов обладает высокой ударной вязкостью, водостойкостью и хорошими диэлектрическими свойствами и в то же время низкой теплостойкостью и значительной хладотекучестью. Поэтому многие из термопластичных пластмасс могут быть использованы при температуре не выше 60-80°C. Для некоторых из этих пластмасс она может достигать до 150-160 и даже 250°C (например, для фторопласта). Термопластичные пластмассы (особенно фторопласты) подвержены значительному изменению линейных размеров и объема с изменением температуры.

Среди пластмасс на основе термопластичных смол наиболее широкое применение в автомобилестроении получили: полиамиды, акрилопласты (полиметилметакрилат), поливинилхлорид (винилпласты), фторопласты, полиэтилен, полистирол, этролы (термопластические эфиры целлюлозы).

Из полиамидов, и в том числе капрона (поликапролактама), может изготавливаться большое количество разнообразных автомобильных деталей: втулки (педалей, дверных петель, рессор и др.), подшипники (дверей автобусов, педалей сцепления и др.), вкладыши, корпуса сальников, шестерни (привода спидометра и др.), манжеты, стеклодержатели, патроны ламп, выключатели, корпуса и крышки карбюратора и др.

Из полиэтиленаВД изготавливают крышки, кнопки, осветительные плафоны, трубки, прокладки и другие детали, а также пленку, на основе которой получают драпировочные и обивочные ткани для сидений и спинок.

Поливинилхлорид (винилпласт) применяют для изготовления банок аккумуляторных батарей, прокладок, уплотнителей внутренней обшивки кузова. Пластифицированный поливинилхлорид используется для получения обивочных материалов путем нанесения пленки на хлопчатобумажную ткань, изготовления трубок масло- и топливопроводов и других деталей.

Фторопласты используют для деталей, работающих в химических средах и при повышенной температуре.

Из акрилопластов изготавливают пылезащитные линзы, внутренние плафоны, стекла габаритных фонарей, оконные стекла и другие детали.

Из этола методом литья под давлением изготавливают: щиток панели для приборов, облицовку рулевого колеса и другие профильные детали.

10.3. ТЕРМОРЕАКТИВНЫЕ ПЛАСТМАССЫ

Термореактивные пластмассы (реактопласты) при повторном нагревании вследствие протекания необратимых химических реакций превращаются в твердые труднорастворимые и неразмьгчающиеся (неплавкие) вещества. Поэтому формирование деталей из термореактивных пластмасс должно опережать процесс образования самой пластмассы, так как в противном случае оно будет затруднено или невозможно. Термореактивные пластмассы получают поликонденсацией низкотемпературных веществ при повышенной температуре, сопровождающейся отщеплением побочных продуктов (воды, спирта и др.).

Термореактивная смола переходит в термостабильное состояние при температуре 160-200 °С. Из числа термореактивных смол наиболее часто применяют в качестве связующих фенольно-формальдегидные, полиэфирные, эпоксидные, кремнийорганические (полисилоксановые) меламино-формальдегидные и др.

В отвержденном состоянии большинство терморезактивных смол по сравнению с термопластичными меньше изменяют физические и механические свойства при нагреве, обладают малой хладотекучестью, т. е. ползучестью под влиянием постоянно действующей нагрузки.

К терморезактивным пластмассам относят фенопласты, аминопласты, пресс-композиции на основе кремнийорганических и полиэфирных смол.

Фенопласты – давно известный и широко распространенный вид пластических масс. В чистом виде фенолоальдегидные пластики (литой резит) используют очень редко из-за повышенной хрупкости; их усиливают наполнителями, а также модифицируют совмещением с синтетическим каучуком и некоторыми термопластами. Классифицируют фенопласты по наполнителю. При изготовлении автомобильных деталей из фенопластов наиболее часто применяют так называемые слоистые пластики: асботекстолит, текстолит, карболит.

Накладки дисков сцепления и тормозов могут быть изготовлены из асботекстолита с добавкой каолина.

Из специального текстолита изготавливают шестерни распределительного вала двигателей, опорные шайбы крыльчатки водяных насосов двигателей, опорные шайбы распределительных валов и другие детали.

Из карболита изготавливают крышку и ротор прерывателя распределителя, изоляторы катушки зажигания и другие детали.

В автомобилестроении из стеклопластиков изготавливают кузова и другие крупногабаритные и высоконагруженные детали.

На основе термопластичных и терморезактивных смол изготавливают пенопласты и поропласты, обладающие высокой эластичностью. Пенопласты, например, пенополиуретан ПУ–101 используется для изготовления автомобильных подушек и спинок. Пластические массы используют при ремонте автомобилей. Для выравнивания поверхности кузовов применяют пластмассы в виде паст и порошков.

Эпоксидные пасты применяют для выравнивания поверхности кузовов. Они обладают высокой адгезией к металлам, значительной механической проч-

ностью, эластичностью, малой усадкой, химической стойкостью к нефтепродуктам, воде, растворам солей, щелочам, кислотам, некоторым растворителям.

Эпоксидные смолы используют также как конструкционный, электроизоляционный материал и как связующее при изготовлении стеклопластиков и пресс-композиций. Они применяются в качестве клеев холодного и горячего отверждения, а также используются для противокоррозионных и водостойких покрытий, обладающих хорошей атмосферо- и светостойкостью, взамен сварки при ремонте кузовов, трещин на рубашке охлаждения и в клапанной коробке блока цилиндров, пробоев (до 25 мм) стенок рубашки охлаждения блока цилиндров, трещин головки цилиндров, обломов в головке цилиндров в месте крепления датчика и указателя температуры воды, пробоев до 70 мм в поддоне картера двигателя и др. Отремонтированные детали надежно работают при температуре, не превышающей 100-120 °С.

Пластмассовые порошки (ПФН-12 и ТПФ-37) применяются для выравнивания поверхности кузовов и кабин путем газопламенного напыления при температуре 210-220 °С. Покрытия из порошков ПФН-12 и ТПФ-37 стойки к действию органических кислот, масел, имеют высокий предел прочности на разрыв.

Полиамидные (капроновые) порошки используют для получения антифрикционных слоев подшипников скольжения. Капрон, особенно в сочетании с закаленной сталью, обладает исключительной износостойкостью и практически исключает износ сопряженной детали, он имеет незначительный коэффициент трения и поэтому частично допускает работу без смазки. Капроновое покрытие защищает металл от коррозии и действия щелочей, слабых кислот, бензина, ацетона. Обладает низкой температурной стойкостью – температура в узле трения с капроном должна быть от -30° до +80°С. Более жестко ограничиваются и удельное давление, и скорость скольжения.

Полиамидную массу – капрон используют при ремонте автомобилей для изготовления методом литья под давлением декоративных и конструктивных деталей. Номенклатура изготавливаемых деталей широка, назовем втулки рессор,

крестовин карданного шарнира и шкворня поворотной цапфы; шестерню привода спидометра, масляный подшипник выключения сцепления, сливные краны, кнопки сигнала, рукоятки рычага переключения передач и др.

Контрольные вопросы

1. Какие материалы называют пластмассами?
2. Какие компоненты входят в их состав?
3. Как классифицируются пластмассы?
4. Какие пластмассы нашли наибольшее применение в конструкции автомобилей?
5. Что такое реактопласты?
6. Каковы их свойства?
7. Чем отличаются между собой термопластичные и термореактивные пластмассы?

11. ЛАКОКРАСОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

11.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

При изготовлении, обслуживании и ремонте автомобильных кузовов применяются лакокрасочные материалы, которые подразделяются на основные (эмали, краски, грунты и шпатлевки) и вспомогательные (растворители, разбавители, отвердители, добавки, смывки, материалы для подготовки поверхностей к окрашиванию, средства для ухода за покрытиями и др.).

Практически любой ремонт кузова сопровождается последующей его окраской, которая выполняется с использованием эмалей, грунтовок, шпатлевок, растворителей, шлифовальных шкурок и других материалов.

Обозначения основных лакокрасочных материалов отечественного производства, указываемые на торговых этикетках, в соответствии с существующей классификацией делятся на пять групп:

первая группа определяет название материала полным словом – грунтовка, шпатлевка, эмаль и т. п.;

вторая группа условно обозначает буквами состав пленкообразующего вещества лакокрасочного материала: МЛ – меламиноалкидные, АК – акриловые, ГФ – глифталевые, НЦ – нитроцеллюлозные, ПФ – пентафталевые, МС – алкидно-стирольные, УР – уретановые, ПЭ – полиэфирные, ФЛ – фенольные, ФА – фенолоалкидные, ЭП – эпоксидные, ВЛ – поливинилацетатные, БТ – битумные, МА – масляные густотертые (готовые к употреблению) и др.;

третья группа указывает основное назначение материала и обозначается через тире цифрами: 1 и 5 – атмосферостойкий, 2 и 3 – стойкий внутри помещения, 4 – водостойкий, 6 – маслобензостойкий, 7 – стойкий к агрессивным средам, 8 – термостойкий, 9 – электроизоляционный и др. Для обозначения грунтовок после буквенного индекса через тире ставят «0», а для обозначения шпатлевок – «00»;

четвертая группа указывает порядковый номер, присвоенный данному материалу, из одной, двух или трех цифр;

пятая группа указывает полным словом цвет материала (красный, зеленый, оранжевый, синий и т. п.).

При приобретении эмали для окраски кузова лучше использовать эмаль одной и той же партии, номер которой указан на этикетке, чтобы избежать расхождений в цвете различных участков окрашенной поверхности.

11.2. ЭМАЛИ

Эмали, применяемые для окраски современных легковых автомобилей, отличаются разнообразием красивых цветов и оттенков, повышенным блеском и способностью длительно сохранять красивый внешний вид при длительной эксплуатации покрытий в различных климатических условиях. При окраске кузовов легковых автомобилей для внешних слоев покрытия на предприятиях-изготовителях применяют эмали различных цветов и оттенков, главным образом, меламиноалкидные, акриловые, водно-дисперсионные и, очень редко, нитроцеллюлозные.

Меламиноалкидные эмали изготовляют на основе смесей меламиноформальдегидной и алкидной смол. Высыхание эмалей происходит за счет испарения растворителей и поликонденсации смол. Для полного высыхания эмалей требуется повышенная температура до +120...+140°C (горячая сушка), при которой образуется необратимая пленка.

После горячей сушки покрытие из меламиноалкидных эмалей приобретает глянец, который можно усилить полированием, высокую атмосферостойкость, эластичность и твердость, стойкость к изменению температуры в пределах от -40 до +60°C, высокую стойкость к воздействию воды, топлив и масел. Эмали наносят пневматическим распылением, а также распылением в электростатическом поле.

Меламиноалкидные эмали марок МЛ-12, МЛ-197, МЛ-1110, МЛ-1121 и МЛ-1198 применяют для окраски практически всех отечественных автомобилей.

Акриловые эмали изготавливают на основе акриловых и метакриловых смол, а также сополимеров, в которых основную часть составляют акриловые компоненты.

Характерные свойства всех акриловых лакокрасочных материалов – быстрое высыхание и высокая свето- и атмосферостойкость покрытия.

Для наружной окраски кузовов пневмораспылением эмали разбавляют до вязкости 18-22 с (по ВЗ–4) смесью сольвента с бутилацетатом в соотношении 1:1. Покрытие высыхает при температуре 150°С в течение 0,5 ч.

В автомобильный комплект ремонтной отечественной акриловой эмали Vika–акрил входят двухкомпонентные материалы на акриловой основе низкотемпературной сушки: эмаль АК–1301 и лак АК–1112, отвердитель 1301. Эмаль АК–1301 и лак АК–1112 смешиваются с отвердителем и разбавителем (по объему или по массе) в следующих соотношениях: эмаль АК–1301 (4 части) + отвердитель 1301 (1 часть) + разбавитель 1301 (1,5–1,6 части); лак АК–1112 (4 части) + отвердитель 1301 (1 часть) + разбавитель 1301 (1,8–1,9 части).

Режимы отверждения эмали АК– 1301 и лака АК–1112 составляют при температуре 20°С – 24 ч, при температуре 80°С – 0,5 ч. Для последующей полировки покрытия время сушки необходимо увеличить в 2 раза.

Водорастворимые эмали получают на основе водорастворимых специально синтезированных алкидных, феноло- и меламиноформальдегидных акриловых и других смол.

Эмали на водной основе представляют собой суспензии пигментов, полученные в результате перетира пигментов на водных эмульсиях различных пленкообразующих. Эмульсии состоят из мельчайших частичек пленкообразующих, находящихся в воде во взвешенном состоянии. В процессе нанесения эмали по мере удаления воды из нее происходит разрушение эмульсии, частицы пигмента и смолы начинают сближаться и соприкасаться. По мере слияния частиц смолы происходит образование сплошного покрытия.

Перед применением краски разбавляют дистиллированной водой или конденсатом до вязкости 20-30 с (по ВЗ–4) при нанесении пневмораспылением

и до 40-80 с – валиком или кистью. После нанесения покрытие сушат при повышенной температуре.

Водорастворимые краски позволяют заменить значительную часть органических растворителей на воду, что удешевляет стоимость материалов, улучшает условия труда и экологию.

Нитроцеллюлозные эмали являются суспензиями пигментов в нитролаках с добавлением пластификаторов и смол. Высыхание нитроэмалей происходит вследствие испарения летучих растворителей при комнатной температуре 18-20°C. При высыхании образуется обратимая пленка, способная вновь растворяться в растворителях. Из-за низкой адгезии по отношению к металлам нитроэмали наносят на хорошие грунты.

Покрытия из нитроэмалей относительно стойки к воздействию минеральных масел, бензина, а также слабых щелочных растворов. Длительное воздействие воды приводит к отслаиванию покрытия. Покрытия стойки к действию температур в пределах от – 40 до +60°C, а при температурах выше 90 °C разрушаются и могут самовоспламениться.

При высыхании нитроэмалей образуется полуглянцевая поверхность, которую можно довести до зеркального блеска полированием. Для повышения способности нитропленок к полированию последний слой эмали покрытия сушат при температуре +50 ... 60°C.

Нитроэмали наносят на окрашиваемую поверхность кузова с помощью краскораспылителей, реже – кистью. Быстрота высыхания нитроэмалей обуславливает их широкое применение для окраски кузовов при отсутствии устройств для горячей сушки покрытий. Основные свойства отечественных эмалей приведены в прил. А.

При ремонтной окраске кузовов применяют эмали МЛ–152, МЛ–1195 и НЦ– 11. Покрытия из эмали МЛ–1198 обладают металлическим эффектом.

Эмаль МЛ-152 рекомендуется использовать для ремонтной окраски небольших участков поверхности кузова. Покрытия из нее стойки к перепаду температур от –50 до +50°C, а также к действию минеральных масел и бензина.

Эмаль наносят краскораспылителем или кистью на поверхность, предварительно покрытую грунтовкой ГФ–021. При первичной окраске эмаль наносят в два слоя, по старой краске – один слой. Первый слой эмали наносят на предварительно высушенный слой грунтовки, второй слой – на недосушенный первый слой после 5-7 мин выдержки при температуре 18–22°С. Для сушки покрытия может быть использован рефлектор с лампой.

Эмаль МЛ–1195 – ремонтная, ее применяют для составления эмалей различных расцветок при ремонтной окраске легковых автомобилей, используемых в умеренном и холодном климате. Промышленность выпускает эмали одиннадцати основных цветов: белую, синюю, зеленую, красную, вишневую, оранжевую, лимонную, желтую, красно-коричневую, горчичную, черную. Смешивая компоненты составляющих цветов в заданной массовой пропорции, добиваются необходимого цвета эмали.

Перед нанесением эмали поверхность покрывают грунтовкой ГФ–021, а дефекты выправляют шпатлевкой МС–006.

Эмаль НЦ–11 разных цветов предназначена для ремонтной окраски небольших дефектов покрытий автомобилей. Покрытие из цветных эмалей устойчиво в условиях окружающей среды умеренного и холодного климата в течение двух лет, из черной эмали – трех лет.

Наносить эмаль следует пневмораспылителем. Однако для устранения мелких дефектов можно наносить эмаль и кистью. На поверхность с грунтовкой ГФ–021 или ГФ–031, или ФЛ–03К наносят пять-шесть слоев эмали. Для придания блеска покрытие шлифуют шкуркой с зернистостью М63, М50 или М40 и полируют пастой №291 и полировочной водой №1.

Эмаль МЛ–1198, с помощью которой можно получить высококачественные покрытия с металлическим эффектом, поставляется в комплекте с лаком МЛ–198.

Эмаль выпускают серебристого, золотистого, сине-зеленого цветов и цвета «страдивари». Покрытия толщиной 75-85 мкм обладают высокими физико-механическими и защитными свойствами.

11.3. КРАСКИ И ПРОЗРАЧНЫЕ ЛАКИ

Краски и прозрачные лаки немецкой фирмы «Spies Hecker» предназначены для восстановления лицевых поверхностей кузова любого класса легковых автомобилей.

Краска серии 257 (Permacron) – покровная двухкомпонентная краска, относящаяся к 2К-акриловой системе; обеспечивает высокую стойкость лакокрасочного покрытия к любым атмосферным воздействиям, а также масло- и бензостойкость. Материал быстро сохнет, удобен в нанесении, а возможность комбинирования его с различными отвердителями и растворителями позволяет применять эту краску в любых производственных условиях.

Краска пригодна для нанесения на отвердевшее, хорошо сохранившееся и отшлифованное старое лакокрасочное покрытие, а также на загрунтованные или обработанные наполнителем поверхности.

Краска серии 270 (Permosolid HS) – покровная краска, относящаяся к 2К-акриловой системе с высоким содержанием твердого вещества. Обладает превосходными наполняющими способностями, блеском и стойкостью к любым атмосферным воздействиям. Низкое содержание вредных веществ делает применение этой краски оптимальным с экологической точки зрения.

Краска пригодна для нанесения на отвердевшее, стойкое к растворителям, хорошо сохранившееся и отшлифованное старое лакокрасочное покрытие, а также на загрунтованные или обработанные наполнителем поверхности.

Люминисцентная краска серии 8568 (Permacron) содержит флуоресцентные красители, которые преобразуют часть ультрафиолетового излучения в видимом спектре, что придает лакокрасочному покрытию особенно сильный светящийся эффект. Эта краска применяется для нанесения на специальные автомобили, такие как скорая помощь, милицейские, пожарные, дорожной службы и т. п.

Краска пригодна для нанесения на отвердевшее, хорошо сохранившееся и отшлифованное старое лакокрасочное покрытие, а также на загрунтованные или обработанные наполнителем поверхности.

В прил. Б приведены основные технологические параметры описанных красок фирмы «Spies Hecker».

Краска серии 293 (Permacron) используется при двухслойной системе окрашивания всех легковых автомобилей. Она не содержит примесей свинца, обладает хорошей укрывистостью, удобна в применении. После нанесения на нее прозрачного лака создается блестящее, стойкое к атмосферным воздействиям, прочное лакокрасочное покрытие.

Краска пригодна для нанесения на отвердевшее, стойкое к растворителям, хорошо сохранившееся и отшлифованное старое лакокрасочное покрытие, а также на загрунтованные или обработанные наполнителем поверхности.

Перламутровая краска серии 295 (Permacron) используется при двух- или трехслойной системе окрашивания всех легковых автомобилей. Она не содержит примесей свинца, легка и удобна в применении. После нанесения на нее прозрачного лака создается блестящее, стойкое к атмосферным воздействиям, прочное лакокрасочное покрытие.

Краска пригодна для нанесения на отвердевшее, стойкое к растворителям, хорошо сохранившееся и отшлифованное старое лакокрасочное покрытие, а также на загрунтованные или обработанные наполнителем поверхности.

Водорастворимая краска серии 280/285 (Permahyd) применяется при двухслойном окрашивании легковых автомобилей. Краска содержит менее 10% органических растворителей и является экологически чистым продуктом. Смешивание красок Permahyd позволяет получить практически любой оттенок цвета, в том числе с металлическим и перламутровым эффектами. После нанесения на нее прозрачного лака Permacron создается блестящее, стойкое к атмосферным воздействиям лакокрасочное покрытие.

Краска пригодна для нанесения на следующие поверхности: обработанные наполнителем 5110 (Permacron HS) или другими наполнителями из двух-

компонентной (2К) акриловой системы Permacron или однокомпонентным (1 К) грунт–наполнителем 4100 (Permahyd); старые лакокрасочные покрытия в хорошем состоянии; покрытия из искусственных материалов, обработанные эластик–отвердителем 3300 Permacron 1:1.

В прил. В приведены основные технологические параметры красок типа «металлик» и «перламутр» фирмы «Spies Hecker».

Прозрачные лак 8100 (Permacron MS) и лак Т 30 (Permacron MS) относятся к 2К-акриловой системе. Они хорошо заполняют поры и мелкие неровности, отлично растекаются и обладают прекрасным блеском. Лаки пригодны как для мелкого восстановления лакокрасочного покрытия, так и для полной окраски автомобиля в любых производственных условиях.

Лаки также пригодны для нанесения на поверхности, окрашенные (в качестве первого покрытия) красками серий 293/295 Permacron, серий 280/285 Permahyd, эффектной серии Permacron.

Прозрачный лак 8005 (Permacron 3:1 Rapid) относится к 2К-акриловой системе. Он оптимален для быстрого восстановления лакокрасочного покрытия и обладает устойчивостью к образованию пузырьков в окрасочном слое. Лак предназначен прежде всего для восстановительной окраски небольших поверхностей кузова, так как отличается простотой обработки.

Лак пригоден для нанесения на поверхности, окрашенные (в качестве первого покрытия) красками серий 293/295 Permacron, серий 280/285 Permahyd, эффектной серии Permacron.

Прозрачный лак 8030 (Permacron HS) относится к 2К-акриловой системе и обеспечивает качество «High Solid». Он хорошо заполняет поры и мелкие неровности, обладает прекрасным блеском, отличной масло- и бензостойкостью, а также стойкостью к атмосферным воздействиям. Благодаря высокому содержанию твердых частиц и отсутствию необходимости добавления растворителей лак удобен в применении, экономичен в использовании, а также экологически безопасен в работе.

Лак пригоден для нанесения на поверхности, окрашенные (в качестве первого покрытия) красками серий 293/295 Permacron, серий 280/285 Permahyd, эффектной серии Permacron.

Прозрачный лак 8000 (Permacron MS Vario) относится к 2К-акриловой системе. Благодаря быстрому высыханию он является хорошим материалом для быстрого восстановления лакокрасочного покрытия. Лак может наноситься в полтора слоя без промежуточной выдержки или в два слоя напыления с различной вязкостью. Лак хорошо заполняет поры и мелкие неровности, отлично растекается и обладает прекрасным блеском. Низкое содержание растворителей делает выбор этого лака предпочтительным и с экологической точки зрения.

Лак пригоден для нанесения на поверхности, окрашенные (в качестве первого покрытия) красками серий 293/295 Permacron, серий 280/285 Permahyd, эффектной серии Permacron.

Прозрачный лак 8070 (Permacron Elastic) с пониженным блеском, относящийся к 2К-акриловой системе, отличается высокой пластичностью и удобством в работе. Он предназначен специально для двухслойной окраски деталей автомобилей из искусственных материалов.

Лак пригоден для нанесения на поверхности, окрашенные (в качестве первого покрытия) красками серий 293/295 Permacron, серий 280/285 Permahyd, эффектной серии Permacron.

Структурный лак 8304 (Permacron) – эластичный двухкомпонентный покровный лак, относящийся к 2К-акриловой системе, с особым структурным эффектом для бамперов. Лак поставляется различных цветов, а требуемые оттенки цвета могут быть получены смешиванием.

Лак пригоден для нанесения на загрунтованные бамперы, изготовленные из поликарбоната.

В прил. Г приведены основные технологические параметры покровных лаков фирмы «Spies Hecker».

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой эмаль.
2. Состав и структура эмали.
3. Лак и его структура.
4. Аэрозольные эмали и лаки.
5. Роль керамики в составе лаков.
6. Технология нанесения лаков на поверхность изделия.
7. Какова роль лакокрасочных материалов в автомобилестроении?

12. ГРУНТОВКИ, РАЗБАВИТЕЛИ, ОТВЕРДИТЕЛИ

12.1. ГРУНТОВКИ

Грунтовки наносят первыми на подготовленную к окрашиванию поверхность. Они выполняют роль связующего покрытия между металлом и последующими слоями эмали. Поэтому грунтовки обладают хорошей сцепляемостью.

Грунтовки наносят распылением или кистью. Толщина грунтовочного слоя обычно составляет 15-20 мкм.

Грунтовку ГФ–021 используют при проведении ремонтной окраски кузова. По технологичности нанесения и сушки, а также по защитным свойствам она может быть использована для грунтования металлической поверхности кузова для последующего покрытия различными эмалями. Покрытие грунтовкой ГФ–021 имеет хорошую адгезию (сцепление) к металлу, хорошо шлифуется шкуркой и стойко к перепаду температур от –40 до + 60°C. Нитроэмали не вызывают сморщивания и растрескивания хорошо просушенной пленки грунтовок. Сушат грунтовку под нитроэмали при температуре 100-110°C, так как в этом случае она устойчива к растворителям 646, 647.

Грунты и грунт–наполнители фирмы «Spies Hecker» предназначены для восстановления поверхностей кузова легковых автомобилей любого класса.

Грунт реактивный 3255 (Priomat) – красно-коричневый материал, однокомпонентный, не содержащий хроматов цинка на поливинилбутиленовой основе. Благодаря содержанию в нем в определенной пропорции специальных пигментных и связующих веществ, обеспечивает первоклассную защиту от коррозии и отличную адгезию. Этот грунт используют на участках с оставшейся ржавчиной, на выступах и изгибах, а также на зашлифованных до голого металла участках для предварительного грунтования перед двухкомпонентными акриловыми наполнителями Permacron.

Грунт пригоден для нанесения на поверхности деталей кузова, изготовленных из стали, алюминия, оцинкованной стали; с оставшимся отшлифованным заводским грунтом или лаковым покрытием (за исключением термопла-

стичных лаковых покрытий), а также шпатлеванные поверхности с применением двухкомпонентных полиэфирных материалов Raderal и хорошо шлифованные.

Грунт-наполнитель 4080 (Priomat) – серый однокомпонентный материал, не содержащий хроматов цинка, относящийся к поливинилбутиленовой системе; обладает хорошей адгезией, обеспечивает надежную защиту от коррозии, является хорошим порозаполнителем, удобен и безопасен при использовании. Грунт пригоден для быстрого ремонта лакокрасочного покрытия методом «мокрый по мокрому» или с промежуточным шлифованием. Его светлый нейтральный цвет позволяет наносить на него любые малоукрывистые краски.

Грунт пригоден для нанесения на поверхности деталей кузова, изготовленных из стали, алюминия, оцинкованной стали, с оставшимся отшлифованным заводским грунтом или лаковым покрытием (за исключением термопластичных лаковых покрытий), а также шпатлеванные поверхности с применением двухкомпонентных полиэфирных материалов Raderal и хорошо шлифованные.

Грунт–эластик 3304 (Priomat) – универсальный однокомпонентный материал, обеспечивающий адгезию к деталям из искусственных материалов на наружной поверхности автомобильных кузовов. Материал отличается высокой пластичностью и легкостью обработки.

Грунт пригоден для нанесения на поверхности наружных деталей кузова автомобиля, изготовленных из искусственных материалов.

Грунт реактивный 8583 (Permacron 4:1) – красно-коричневый материал, относящийся к 2К-акриловой системе, применяется наряду с 2К-полиэфирными материалами для улучшения защиты чистого металла от коррозии.

Грунт пригоден для нанесения на отшлифованные поверхности деталей кузова из чистой стали, с оставшимся отшлифованным старым лакокрасочным покрытием (за исключением термопластичных лаковых покрытий), а также на загрунтованные грунтом 3688 (Priomat 1:1) алюминий или оцинкованную сталь.

Применение грунта 8583 (Permacron 4:1) в качестве средства противокоррозионной защиты под двухкомпонентные акриловые наполнители Per-

macron/Permasolid недопустимо. Наилучшая противокоррозионная защита достигается при использовании кислотоотверждаемых грунтов Priomat.

Эластик-наполнитель 3300 (Permacron 1:1) – универсальный двухкомпонентный наполнитель для всех деталей из обычных искусственных материалов на наружной поверхности автомобилей. Наполнитель наносится на восстанавливаемую поверхность в виде двух слоев: первый, грунтующий слой, наносится непосредственно на пластмассовую деталь, второй, красящий слой, содержит эластичную добавку. Материал отличается хорошей адгезией, высокой пластичностью и простотой в применении.

Эластик-наполнитель выпускается белого и черного цветов. Смешиванием наполнителей этих цветов между собой в различной пропорции можно получить нейтрально-серый цвет для малоукрывистых покровных красок.

Грунт 3688 (Priomat 1:1) кислотоотверждаемый двухкомпонентный противокоррозионный материал на поливинилбутиленовой основе. Материал служит для пассивирующей предварительной обработки металлических поверхностей, особенно алюминиевых. В комбинации с высококачественными 2К-акриловыми наполнителями Permacron и покровными красками фирмы «Spies Nocker» достигается оптимальная ремонтная окраска автомобилей.

Грунт пригоден для нанесения на поверхности деталей кузова, изготовленных из стали, алюминия, оцинкованной стали, с оставшимся отшлифованным заводским грунтом, лаковым покрытием (за исключением термопластичных лаковых покрытий), а также шпатлеванные поверхности с применением двухкомпонентных полиэфирных материалов Raderal и хорошо шлифованные.

Противокоррозионный грунт 4130 (Priomat 1:1) – двухкомпонентный кислотоотверждаемый материал, содержащий хроматы цинка на поливинилбутиленовой основе. Применяется для ремонта уже подвергшихся коррозии поверхностей. Из-за высокого содержания хроматов цинка грунт целесообразно наносить на восстанавливаемые поверхности кистью.

Грунт пригоден для нанесения на поверхности деталей кузова, изготовленных из стали, алюминия, оцинкованной стали, с оставшимся отшлифован-

ным заводским грунтом или лаковым покрытием (за исключением термопластичных лаковых покрытий), а также шпатлеванные поверхности с применением двухкомпонентных полиэфирных материалов Raderal и хорошо шлифованные.

Грунт-наполнитель 4090 (Priomat ЭП) – материал серого цвета, двухкомпонентный, из 2К-эпоксидной системы, не содержащий хроматов цинка.

Грунт пригоден для нанесения на отшлифованные поверхности деталей кузова из чистой стали, алюминия, оцинкованной стали, с оставшимся отшлифованным заводским или старым лаковым покрытием (за исключением термопластичных лаковых покрытий), а также на поверхности с заводским грунтом, шпатлеванные с применением двухкомпонентных полиэфирных материалов Raderal и хорошо шлифованные, тщательно обезжиренные и отшлифованные стеклопластики.

Этот грунт-наполнитель нельзя наносить на поливинилбутиленовые (кислотоотверждаемые) реактивные грунты или 1К-грунты (например, искусственная смола).

В прил. Д приведены основные технологические параметры описанных грунтов и грунт-наполнителей фирмы «Spies Hecker».

Грунтовки-преобразователи ржавчины используют для подготовки поверхности кузова под окраску без удаления продуктов коррозии. Выпускаются грунтовки-преобразователи ржавчины марок Э-ВА-01, Э-ВА-0112 и др. Их наносят на поверхность кузова при температуре не ниже 15°C распылением или кистью в один-два слоя.

Преобразователь ржавчины Э-ВА-0112 применяют при комнатной температуре при толщине слоя коррозии до 100 мкм. Вязкость по вискозиметру ВЗ-4 для нанесения материала распылением составляет 30-50 с. Полное высыхание происходит в течение 24 ч.

Грунтовку-преобразователь Э-ВА-01 используют при толщине ржавчины до 100 мкм. Рабочая вязкость при комнатной температуре должна составлять 30-50 с. Состав высыхает при комнатной температуре 10-22°C за 2 ч, при

70-80°C – в течение 0,5-1,0 ч. В качестве растворителя применяют ортофосфорную кислоту.

Грунтовку–преобразователь П-1Т в отличие от рассмотренных выше используют при толщине ржавчины до 60 мкм. Полное высыхание при температуре 18-21°C происходит за 48 ч.

При использовании преобразователей ржавчины следует знать, что защитные свойства покрытий, нанесенных по поверхности, обработанной преобразователем ржавчины, как правило, хуже, чем покрытий, нанесенных на защищенный от ржавчины металл.

12.2. РАЗБАВИТЕЛИ И РАСТВОРИТЕЛИ

Разбавители растворители применяют для того, чтобы лакокрасочные материалы имели необходимую рабочую вязкость. Они представляют собой однокомпонентные органические летучие и бесцветные жидкости или их смеси в различном сочетании компонентов. При смешивании с лакокрасочными материалами растворители не должны вызывать коагуляцию (свертывание) пленкообразователя, расслоение и помутнение раствора. Состав растворителей подбирают таким образом, чтобы обеспечить оптимальные условия для высыхания лакокрасочного материала, достаточные розлив и плотность нанесенной пленки. Ввиду повышенной токсичности бензола его применение как растворителя ограничено.

Растворители группы Permacron фирмы «Spies Hecker» рекомендуется применять для ремонтной окраски легковых автомобилей. С помощью этих растворителей представляется возможным довести вязкость любых основных материалов до рабочей. Все рассматриваемые ниже растворители этой фирмы имеют температуру воспламенения выше +23 °C.

Растворитель 6020 (Permacron Multicrul) – универсальное средство для всех 2К–акриловых материалов и для всех красок имеет плотность 0,87 г/см³. Применяется для разбавления до рекомендуемой вязкости красок серий 293/295 и 257 (Permacron), а также грунтов, наполнителей и прозрачных лаков.

Растворитель 3055 (Permacron Supercrul) – ускоряющее универсальное средство для всех красок первого покрытия имеет плотность 0,87 г/см³. Применяется для разбавления до рекомендуемой вязкости красок серий 293/295 (Permacron) при низкой и средней температуре обработки или для небольших поверхностей.

Растворитель 3056 (Permacron Supercrul) – замедляющее универсальное средство для всех красок имеет плотность 0,87 г/см³. Применяется для разбавления до рекомендуемой вязкости красок серий 293/295 (Permacron) при температуре обработки в помещении свыше +25 °С и для больших поверхностей.

Растворитель 3364 (Permacron) – универсальное средство для всех 2К-акриловых материалов имеет плотность 0,87 г/см³. Применяется для разбавления до рабочей вязкости грунтов, наполнителей и покровных красок (кроме красок первого покрытия).

Растворитель 3365 (Permacron) – замедляющее универсальное средство для всех 2К-акриловых материалов имеет плотность 0,92 г/см³. Применяется для улучшения растекания материала и поглощения лакокрасочного тумана при температуре в помещении свыше +25 °С и большой площади ремонта.

Растворитель 3366 (Permacron) – сильно замедляющее универсальное средство для всех 2К-акриловых материалов имеет плотность 0,94 г/см³. Применяется для улучшения растекания материала и поглощения тумана при температуре в помещении свыше +35 °С и большой площади ремонта.

Растворитель 8580 (Permacron MS) – универсальное средство с ускорителем высыхания для всех двухкомпонентных материалов на основе акриловых смол имеет плотность 0,88 г/см³. Препарат сокращает время сушки краски серии 257 (Permacron), а также двухкомпонентных акриловых прозрачных лаков и наполнителей (Permacron). Применяется для разбавления до рабочей вязкости грунтов, наполнителей и покровных красок (кроме красок первого покрытия). По мерной линейке 5-10% растворителя 8580 (Permacron MS) добавляется в краску серии 257 (Permacron) или прозрачный лак Т30, 8010, 8025, 8100 (Permacron MS), прозрачный лак 8000 (Permacron Vario). Для 2К-акриловых напол-

нителей количество добавления определяется по инструкции для соответствующего наполнителя. В 2К–покровные краски Permacron нельзя добавлять более 10% растворителя.

Ускорить местную окраску кузова можно одновременным применением для всех 2К–покровных красок Permacron и 2К–акриловых наполнителей Permacron MS отвердителя 3050 (сверхбыстрого) и растворителя 8580 (Permacron MS).

Растворитель 1031 (Permacron) используется для частичной подкраски однослойными красками серии 257 и двухслойными серий 293/295, имеет плотность 0,88 г/см³. Применяется для создания незаметного для глаза перехода от ремонтного лакокрасочного покрытия к оригиналу.

В табл. 12.1 представлена область использования растворителей Permacron.

Отвердители обеспечивают полимеризацию различных лакокрасочных материалов в любых производственных условиях. Они отличаются легкостью и простотой в использовании, высокой химической активностью и обеспечивают быстрое высыхание красок, лаков, наполнителей, грунтов и др. лакокрасочных материалов даже на воздухе при невысоких температурах и в окрасочных камерах с невысокой производительностью и недостаточным воздухообменом.

Отвердители 3030, 3040 (быстрый), 3050 (сверхбыстрый) Permacron MS выполнены на основе полиизоцианатов для двухкомпонентных материалов, относящихся к 2К–акриловой системе. Эти отвердители являются неотъемлемой частью 2К–акриловой системы и обеспечивают качественное и экономичное применение следующих материалов: краски серии 257 (Permacron), прозрачных лаков (Permacron MS) и всех 2К-акриловых наполнителей (Permacron).

Область использования растворителей Permacron

Номер растворителя	Наименование лакокрасочного материала						
	Краска серии 293/295	Краска серии 257	Краска серии 270	2К – акриловые прозрачные лаки	2К – акриловые грунты/наполнители	Поливинил – бутиленовые грунты/наполнители	НК – наполнители
6020	+	+	+	+	+	+	+
3055	++	--	--	--	--	--	--
3056	++	--	--	--	--	--	--
3364	--	++	+	++	++	++	+
3365	--	+	+	+	+	-	--
3366	--	+	+	+	-	--	--
8580	--	++	--	++	++	++	+
1031	+	+	+	+	0	0	0

Условные обозначения: ++ рекомендуемый растворитель;

+ допустимый;

- нежелательный;

-- недопустимый;

0 не используется.

Возможность выбора отвердителей с различной скоростью полимеризации материалов позволяет использовать 2К-акриловую систему ремонта лакокрасочного покрытия фирмы «Spies Hecker» в любых производственных условиях.

Отвердители могут быть совместно использованы со следующими компонентами: краской серии 257 (Permacron), прозрачным лаком Т 30, 8025, 8010, 8100 (Permacron MS), прозрачным лаком 8000 (Permacron Vario), прозрачным лаком 8070 (Permacron Elastic), структурным лаком 8304 (Permacron), люминисцентной краской 8568 (Permacron), 2К-акриловыми наполнителями (Permacron).

Отвердитель 3030 пригоден для любого полного и местного восстановления лакокрасочного покрытия при нормальной и высокой температуре.

Отвердитель 3040 (быстрый) пригоден для любого полного и местного восстановления лакокрасочного покрытия при нормальной температуре.

Отвердитель 3050 (сверхбыстрый) пригоден для местного восстановления лакокрасочного покрытия при низкой температуре и недостаточном обмене воздуха в окрасочной камере.

Критерии выбора отвердителя исходя из площади окрашивания, наличия лакокрасочных материалов и производственных условий приведены в табл. 12.2.

Таблица 12.2

Критерии возможности использования отвердителей

Критерии выбора отвердителя	Номер отвердителя		
	3030	3040	3050
Характеристика окрашиваемой поверхности кузова:			
полная значительная площадь окрашивания	++	+	--
местное или частичное окрашивание	+	++	++
Условия сушки:			
воздушная	+	++	++
в печи	++	++	+
Температурный режим:			
от +15 до +20 °С	-	+	++
от +20 до +25 °С	++	++	-
свыше +25 °С	++	-	--
Возможность использования:			
с отвердителем 8580	+	+	+
с растворителем 3364	+	+	+

Условные обозначения: ++ рекомендуемый отвердитель;

+ допустимый;

- нежелательный;

-- недопустимый

При использовании данных отвердителей следует иметь в виду, что готовые для нанесения лакокрасочные материалы, содержащие изоцианаты, могут оказывать раздражающее воздействие на слизистую оболочку, особенно на органы дыхания, и вызывать аллергические реакции.

Нельзя привлекать к работе с такими лакокрасочными материалами людей, страдающих аллергией, астмой, а также предрасположенных к заболеваниям дыхательных путей.

Отвердители 3333, 3344 (быстрый), 3355 (сверхбыстрый) Permacron MS Express выполнены на основе полиизоцианатов для двухкомпонентных материалов, относящихся к 2К-акриловой системе. Эти отвердители отличаются легкостью и простотой обработки, высокой химической активностью и обеспечивают быстрое высыхание следующих материалов: краски серии 257 (Permacron), прозрачных лаков (Permacron MS) и всех 2К-акриловых наполнителей (Permacron). Возможность выбора отвердителей с различной скоростью полимеризации позволяет использовать 2К-акриловую систему ремонта лакокрасочного покрытия фирмы «Spies Hecker» в любых производственных условиях.

Компоненты для совместного использования, область применения и критерии для выбора типа отвердителя исходя из размеров площади окрашивания, наличия лакокрасочных материалов и производственных условий, а также указания по технике безопасности и условиям хранения аналогичны ранее рассмотренным отвердителям из группы 3030, 3040, 3050.

Специальный отвердитель 3368 (Permacron MS) выполнен на основе полиизоцианатов для двухкомпонентных материалов, относящихся к 2К-акриловой системе. Он обеспечивает качественное и экономичное применение следующих материалов: краски серии 257 (Permacron), прозрачных лаков (Permacron MS) и всех 2К-акриловых наполнителей (Permacron).

Отвердитель может быть использован совместно со следующими компонентами: краской серии 257 (Permacron), прозрачным лаком Т 30, 8025, 8010, 8100 (Permacron MS), прозрачным лаком 8000 (Permacron Vario), прозрачным лаком 8070 (Permacron Elastic), структурным лаком 8304 (Permacron), люминисцентной краской 8568 (Permacron), 2К-акриловыми наполнителями (Permacron).

Отвердитель применяется для любого полного или местного восстановления лакокрасочного покрытия при нормальной и высокой температуре, особенно для покровных лаков.

Указания по технике безопасности и условиям хранения данного отвердителя, ввиду наличия в нем изоцианатов, аналогичны приведенным ранее для группы отвердителей 3030, 3040, 3050.

Отвердитель 3100 для наполнителей (Permacron) выполнен на основе полиизоцианатов для двухкомпонентных грунтов и наполнителей, относящихся к 2К-акриловой системе. Отвердитель обеспечивает качественную и быструю полимеризацию грунтов и наполнителей даже на воздухе при невысоких температурах и в окрасочных камерах с невысокой производительностью и недостаточным воздухообменом.

Отвердитель может быть совместно использован с 2К-акриловыми наполнителями (Permacron) и 2К-акриловыми грунтами (Permacron).

Нельзя использовать данный отвердитель с красками серии 257 (Permacron) и прозрачными лаками (Permacron).

Отвердитель применяется в диапазоне температур от +8 до +22°C, а также для окраски в окрасочных камерах с небольшим воздухообменом.

Разбавление отвердителя до рабочей вязкости осуществляется растворителем 8580 (Permacron MS) или растворителем 3364. При использовании данного отвердителя для 2К-акриловых наполнителей указанные сведения по пригодности приготовленной смеси для напыления сокращаются на 30-50%, а при использовании с реактивным грунтом 8583 (Permacron 4:1) – с 4 до 1 ч.

Указания по технике безопасности и условиям хранения данного отвердителя, ввиду наличия в нем изоцианатов, аналогичны приведенным ранее для группы отвердителей 3030, 3040, 3050.

Отвердитель 8580 (Permacron MS) – специальный состав с ускорителем высыхания для всех двухкомпонентных материалов на основе акриловых смол. Препарат сокращает время сушки краски серии 257 (Permacron MS), а также двухкомпонентных акриловых прозрачных лаков и наполнителей (Permacron).

При приготовлении смеси для пневмораспыления добавляется 5-10% по мерной линейке отвердителя 8580 в краску серии 257 (Permacron) или прозрачные лаки Т 30, 8025, 8010, 8100 (Permacron MS), прозрачный лак 8000 (Per-

macron Vario). Для 2К-акриловых наполнителей количество добавления определяется по инструкции для соответствующего наполнителя. В 2К-покровные краски (Permacron) нельзя добавлять отвердителя 8580 более 10%.

В результате добавления отвердителя 8580 может сократиться время сушки 2К-покровных красок и наполнителей (Permacron). Продолжительность местного окрашивания можно сократить путем одновременного применения для всех 2К-покровных красок (Permacron) и 2К-акриловых наполнителей Permacron MS сверхбыстрого отвердителя 3050 и отвердителя 8580.

Контрольные вопросы

1. Что представляют собой растворители и отвердители?
2. Какие предъявляют требования к растворителям и отвердителям?
3. Для каких целей используют отвердители?
4. Каков состав отвердителей?
5. Какими свойствами обладают растворители?
6. Каков состав растворителей?

13. ШПАТЛЕВКИ И КЛЕИ

13.1. ВИДЫ ШПАТЛЕВОК

Шпатлевки и наполнители используют для устранения вмятин, рисок и царапин на окрашиваемой поверхности кузова. Они представляют собой пастообразный состав из лака (олифы), пигментов и наполнителя (мела). Основные технологические показатели отечественных шпатлевок, применяемых при ремонтной окраске кузовов, приведены в табл. 13.1.

Шпатлевки НЦ–007, НЦ–008, НЦ–009 предназначены для выравнивания загрунтованных металлических поверхностей, а также для исправления кузовов по выявительному слою эмали.

Шпатлевку ПФ–002 используют для общего и местного шпатлевания поверхностей кузова при отсутствии горячей сушки последующих слоев покрытия.

Шпатлевка МС–006 служит для исправления мелких дефектов на загрунтованной поверхности, а также на поверхностях, покрытых эмалью.

Шпатлевки ЭП–0010, ЭП–0020 являются грунт-шпатлевками и предназначены для выравнивания как загрунтованных, так и незагрунтованных поверхностей с глубиной дефектов до 15 мм. Для нанесения распылителем шпатлевку ЭП–0010 разводят разбавителем. Перед употреблением на 100 массовых частей шпатлевки добавляют 8,5 частей отвердителя №1 (50%-ный раствор гексаметилендиамина в этиловом спирте).

Для увеличения консистенции в эпоксидную шпатлевку добавляют асбестовый или железный порошок, тщательно перемешивают и только после этого вводят отвердитель. Технологическая способность подготовленной эпоксидной шпатлевочной пасты сохраняется 1-2 ч, а разведенной разбавителем – до 24 ч.

Полиэфирная двухкомпонентная быстротвердеющая универсальная автомобильная шпатлевка предназначена для выравнивания металлических окрашенных и неокрашенных поверхностей кузова, заделки стыков, швов, трещин, раковин с возможным последующим воздействием температуры до 100°С

в течение не более 2 ч и при горячей сушке окрашенного кузова. Шпатлевку можно использовать также для исправления дефектов неметаллических поверхностей – дерева, керамики, отдельных видов пластмасс, а также для склеивания их как между собой, так и в сочетании друг с другом.

Таблица 13.1

Отечественные шпатлевки, используемые при восстановлении кузовов

Параметр	Марка шпатлевки					
	НЦ-007	НЦ-008	НЦ-009	МС-006	ЭП-0010	ПФ-002
Цвет	Красно-коричневый	Защитный	Желтый	Розовый	Красно-коричневый	
Содержание сухого остатка, %	65	70	56	80	85	75
Растворитель или разбавитель	№646			Ксилол или №646 (для распыления)	Ацетон, толуол, Р;	Сольвент, Уайт – спирт
Рабочая вязкость по вискозиметру ВЗ-4 при 20 °С, с	Не определяют			Не менее 18	20–30	–
Продолжительность сушки, ч, при влажности не более 65% и температуре, °С:						
18–22	2	2,5–3	3–3,5	0,25–0,3	24	24
65–70	–	–	–	–	7	–
Мокрое шлифование	Водостойкой шкуркой №8–№4					Пемзой

Шпатлевочную пасту готовят порциями перед непосредственным употреблением, что обусловлено быстрым временем желатинизации (10-15 мин) и отверждения (30–40 мин). Массовое соотношение полуфабриката шпатлевки и отвердителя при приготовлении шпатлевочной пасты должно быть 100:3,2. Недостаточная дозировка или передозировка отвердителя приводит к увеличению времени отверждения шпатлевки. Оставшееся количество приготовленной шпатлевочной пасты ни в коем случае нельзя возвращать в банку, в которой нахо-

дятся остатки полуфабриката. Температура воздуха в помещении, где производят ремонтные работы с применением этой шпатлевки, должна быть не ниже 18°C. Отвердевшую шпатлевку через 30-40 мин с момента нанесения можно механически обрабатывать как сухим, так и мокрым способом с применением шлифовальных шкурочек сначала крупной зернистости, а затем мелкой. Срок годности шпатлевки – один год.

Шпатлевки и наполнители фирмы «SpiesHecker» предназначены для восстановления лицевых поверхностей кузова легкового автомобиля любого класса.

Волокнистая шпатлевка 2507 (Raderal) представляет собой двухкомпонентный материал, относящийся к 2К-полиэфирной системе. Она обладает хорошей пластичностью и высокой прочностью. Благодаря содержанию в шпатлевке стекловолокна, она пригодна для ремонта проржавевших частей кузова с ослабленной несущей способностью.

Состав самой шпатлевки и ее отвердителя вредны для здоровья человека.

Шпатлевка пригодна для нанесения на поверхности деталей кузова, изготовленных из стали, алюминия, оцинкованной стали, стеклопластика. Ее нельзя наносить на поливинилбутиленовые (кислотоотверждаемые) реактивные грунты или 1К-грунты (например, искусственная смола), на термопластичные или вязкоэластичные лаковые покрытия. В особых случаях можно наносить шпатлевку на указанные покрытия, но при этом обрабатываемая поверхность должна быть обязательно зачищена до голого металла.

Полиэфирная шпатлевка 2030 (Raderal Vario) – материал универсального применения, относится к 2К-полиэфирной системе, которая пригодна также и для оцинкованных поверхностей. Шпатлевка пластична, легко шлифуется и обладает высокой прочностью и особенно хорошо подходит для коротковолновой и средневолновой инфракрасной сушки. Может применяться как в качестве наполняющей, так и тонкой шпатлевки. Шпатлевочное покрытие устойчиво к температуре до +80°C.

Состав самой шпатлевки вреден для здоровья человека, а отвердитель оказывает раздражающее действие на нервную систему человека.

Шпатлевка пригодна для нанесения на поверхности деталей кузова, изготовленные из стали, алюминия, оцинкованной стали, стеклопластика, имеющие старое лакокрасочное покрытие, отвердевший 2К-наполнитель или 2К-грунт. Ее нельзя наносить на поливинилбутиленовые (кислотоотверждаемые) реактивные грунты или 1К-грунты (например, искусственную смолу), на термопластичные или вязкоэластичные лаковые покрытия. В особых случаях можно наносить шпатлевку и на указанные покрытия, но при этом обрабатываемая поверхность должна быть обязательно зачищена до металла.

Полиэфирная шпатлевка 2511 (Raderal Vario) – материал универсального применения, относится к 2К-полиэфирной системе, особенно пригодна для оцинкованных поверхностей кузовов. Шпатлевка пластична, легко шлифуется, обладает высокой прочностью и устойчива к температуре до +80°C. Хорошо подходит для коротковолновой и средневолновой инфракрасной сушки. Может применяться как в качестве наполняющей так и тонкой шпатлевки.

Состав самой шпатлевки вреден для здоровья человека, а отвердитель оказывает раздражающее действие на нервную систему человека.

Шпатлевка применяется для нанесения на поверхности деталей кузова, изготовленных из стали, алюминия, оцинкованной стали, стеклопластика, имеющие старое лакокрасочное покрытие, отвердевший 2К-наполнитель или 2К-грунт. Ее нельзя наносить на поливинилбутиленовые (кислотоотверждаемые) реактивные грунты или 1К-грунты (например, искусственную смолу), на термопластичные или вязкоэластичные лаковые покрытия. В особых случаях можно наносить шпатлевку и на указанные покрытия, но при этом обрабатываемая поверхность должна быть обязательно зачищена до голого металла.

Шпатлевка 0911 (Raderal) является тиксотропной, полиэфирной, относящейся к 2К-полиэфирной системе. Она пригодна для нанесения на уже подготовленную поверхность для исправления небольших повреждений и заполнения пор. Шпатлевка пластична при нанесении, покрытие хорошо шлифуется и устойчиво к температуре до +80°C.

Состав шпатлевки вреден для здоровья человека, а отвердитель оказывает раздражающее действие на нервную систему человека. Шпатлевка поставляется в виде пастообразной массы, имеющей температуру воспламенения выше +23°C.

Шпатлевка пригодна для нанесения на поверхности деталей кузова, изготовленных из стали, алюминия, стеклопластика, имеющие старое лаковое покрытие и отвердевший 2К-наполнитель. Возможно шпатлевание пластмассовых деталей, загрунтованных с применением эластичного наполнителя 3300 (Permacron 1:1) или эластичного грунта 3304 (Priomat), а также поверхностей, предварительно обработанных с применением 2К-полиэфирных шпатлевок (Raderal).

Шпатлевку нельзя наносить на поливинилбутиленовые реактивные грунты или 1К-грунты (например, искусственную смолу), на термопластичные или вязкоэластичные лаковые покрытия. В особых случаях можно наносить шпатлевку и на указанные покрытия, но при этом обрабатываемая поверхность должна быть обязательно зачищена до голого металла.

Шпатлевка жидкая 3508 (Raderal) серо-бежевая является двухкомпонентным материалом на основе ненасыщенных полиэфирных смол, относящихся к 2К-полиэфирной системе. Обладает сильными наполняющими свойствами, наносится распылением, особенно пригодна для заполнения пор и неровностей грубо обработанных поверхностей деталей кузова. Покрытие быстро высыхает и легко шлифуется.

Шпатлевка пригодна для нанесения: на зачищенные до голого металла сталь и алюминий; на оцинкованную сталь, загрунтованную с применением реактивного грунта 8583 (Permacron 4:1); на отвердевшее, плохо поддающееся растворению старое лакокрасочное покрытие; на поверхности, шпатлеваемые 2К-полиэфирными шпатлевками (Raderal); на стеклопластики, тщательно обезжиренные и отшлифованные.

Шпатлевку нельзя наносить на поливинилбутиленовые реактивные грунты или 1К-грунты, а также на термопластичные лакокрасочные покрытия.

Штрейхпластик 2521 (Raderal) – материал на основе полиэфирных смол, относящийся к 2К-полиэфирной системе, может наноситься кистью. Материал

пригоден для заполнения небольших неровностей, царапин и пор, в частности, на выступах, ребрах, в пазах и изгибах деталей. Отличается быстрым высыханием, хорошей шлифуемостью и длительной жизнеспособностью. Устойчив к температуре до +80°C.

Материал пригоден для нанесения: на сталь и алюминий; на отвердевшее, плохо поддающееся растворению старое лакокрасочное покрытие; на грубо зашпатлеванные поверхности; на поверхности, загрунтованные с помощью красно-коричневого реактивного грунта 8583 (Permacron 4:1).

Материал нельзя наносить на поливинилбутиленовые (кислотоотверждаемые) реактивные грунты или 1К-грунты (например, искусственную смолу), на термопластичные или вязкоэластичные лаковые покрытия, на оцинкованные поверхности.

Шпатлевка 7715 (Permacron) – однокомпонентная шпатлевка, на основе специальной комбинации акриловых смол, не требующая дополнительных компонентов для высыхания. Шпатлевка имеет нейтральный светло-бежевый цвет и пригодна для последующей обработки подготовленной поверхности, а также для шпатлевания небольших повреждений, в том числе на зачищенном голом металле. Она пластична при нанесении, не имеет пор и очень хорошо шлифуется по истечении короткого времени высыхания.

Шпатлевка пригодна для нанесения: на зашлифованную до голого металла сталь; на хорошо отшлифованное старое лакокрасочное покрытие, шпатлевку Raderal, высохшие грунты или наполнители.

Ее нельзя наносить непосредственно на голый алюминий или голую оцинкованную сталь, а также на термопластичные лакокрасочные покрытия.

Порозаполнитель 3311 (Priomat) представляет собой специальную однокомпонентную наполняющую шпатлевку для устранения небольших пор на поверхностях деталей автомобиля, изготовленных из полиуретановых материалов. Она надежно закрывает поры и обеспечивает требуемое качество лакокрасочного покрытия.

Шпатлевка пригодна для нанесения на детали из пенопластика на основе полиуретана, имеющие поры на наружной поверхности.

В прил. Е приведены основные технологические параметры описанных шпатлевок фирмы «SpiesHecker».

13.2. КЛЕИ

Клеями называют жидкие или пастообразные многокомпонентные системы, основой (связующим) которых являются высокомолекулярные вещества, обладающие высокой адгезией к твердым поверхностям.

Склеивание уже давно применяется для соединения деревянных и резиновых деталей. В последние годы созданы клеи, обеспечивающие надежное соединение тканевых материалов, пластмассовых деталей и, наконец, металлических деталей, а также металлических с неметаллическими.

Клеевые и клеесварные соединения деталей, как известно, за рубежом давно уже стали важной составной частью технологии изготовления автомобильной техники, а также ее ремонта. У нас этот процесс несколько затянулся. Однако в последние годы положение меняется: многие автозаводы (АЗЛК, ВАЗ, ГАЗ, КамАЗ, ЛиАЗ, УАЗ и др.) уже приступили к их внедрению. В частности, используют для приклеивания ветровых стекол, некоторых панелей и т. п.

Клеевые соединения не только весьма технологичны, но и обеспечивают высокие потребительские качества автомобильной техники.

При склеивании конструкция деталей или механизмов не ослабляется за счет отверстий для болтов и заклепок и не утяжеляется из-за дополнительного веса крепежного материала и накладок. В то же время прочность клеевого шва зачастую не уступает прочности механических соединений.

Клеевые соединения не лишены и недостатков. Многие из них имеют низкую теплостойкость, а некоторые со временем ухудшают свойства вследствие старения клеевой прослойки.

Процесс склеивания сводится в общем виде к следующим операциям: подготовке склеиваемых поверхностей, нанесению на них клея, опрессовыванию и отверждению клеевого слоя.

Основным показателем качества клея является механическая прочность клеевого шва. Клеевой шов испытывают на разрыв и скалывание и определяют удельную нагрузку, при которой шов разрушается. Прочность клеевого соединения зависит от сил адгезии и когезии. Кроме того, клей в жидком состоянии должен хорошо растекаться и смачивать склеиваемые поверхности, а при отверждении давать минимальную усадку. Прочность отвержденного клея должна быть по возможности не менее прочности материала склеиваемых поверхностей и не уменьшаться с течением времени и при изменении температуры. Клеевой слой не должен оказывать коррозионного воздействия на склеиваемые поверхности, взаимодействовать с продуктами, с которыми склеиваемое изделие соприкасается при эксплуатации, и разрушаться под их действием.

По назначению *клеи* подразделяют на *универсальные* и *специальные*. Универсальные клеи предназначены для склеивания разнородных твердых и эластических материалов в различных сочетаниях: металл – металл, металл – дерево, металл – резина, пластмасса – стекло и т. п. Специальные клеи служат для склеивания определенных материалов.

Классификационным признаком клеев является вид связующего, в соответствии с чем различают клеи карбинольные, фенольные, эпоксидные, полиамидные. Кроме того, каждый тип клея в свою очередь подразделяется на ряд марок. В связи с этим современный ассортимент синтетических клеев чрезвычайно обширен.

Основным видом универсальных клеев являются *синтетические клеи*, используемые во всех отраслях техники. При помощи синтетических клеев можно создать высокопрочные, эластичные, водо-, масло- и топливостойкие соединения, выдерживающие вибрацию и динамические нагрузки. Синтетический клей в наиболее общем виде представляет собой композицию, в которую

входят: связующее (или их сочетание), растворитель, наполнитель, отвердитель и ускоритель отверждения.

В качестве связующего используются *термопластичные* и *термореактивные полимеры* (смолы). Из термопластичных наибольшее распространение получили производные акриловой и метакриловой кислот, поливинилацетата, полиизобутилена, каучука и резины, а из термореактивных – фенолоформальдегидные, эпоксидные и кремнийорганические соединения. Клеи на базе термопластичных полимеров образуют обратимую пленку, размягчающуюся при нагревании.

Для придания определенной вязкости в клей вводят ацетон, спирт, смеси бензина с этилацетатом, бутилацетат с ацетоном или бензином, а также другие растворители в зависимости от марки клея.

Для уменьшения усадки клея при отверждении и предотвращения появления трещин и разрушения клеевой пленки в клей добавляют порошкообразные наполнители (металлы, стекло, фарфор, цемент, камень и др.).

Отвердитель и ускоритель отверждения добавляют к клеям, содержащим термореактивные полимеры, для протекания процессов, связанных с образованием клеевой пленки.

Широкое применение получили клеи на основе *эпоксидных смол*. Эти клеи отверждаются как при обычных, так и при повышенных температурах, обладают хорошими физико-механическими характеристиками и высокой адгезией к металлам и многим неметаллическим материалам. Для них характерна хорошая водо- и масло-бензостойкость. При ремонте используют клеи ЭПО (ТУ 38–10972–82), ЭДП (ТУ 6–15–1070–82), эпоксидную шпатлевку (ТУ 6–15–662–85) и др.

При производстве автомобилей применяют *эпоксидный клей горячего отверждения УП–5–207* (ТУ 6–05–241–221–83). Клей обладает очень хорошим свойством склеивать замасленные поверхности. Он применяется для соединения внутренней и наружной панелей двери и проклейки зафланцовок капота и багажника. Неотвержденный клей не вымывается моющими растворами при

подготовке кузова под окраску. Отверждение клея происходит в окрасочных камерах. Кроме того, широко применяют клеи бутваро-формальдегидный (БФ) и карбонильный.

Широкое применение нашли клеи *БФ-2, БФ-4 и БФ-6* (бутварофенолоальдегидные) – спиртовые растворы терморезактивной фенолформальдегидной смолы, модифицированной (для повышения эластичности швов) бутваром. Первые два служат для соединения твердых материалов, а третий (БФ-6) – для склеивания тканей между собой и для прикрепления их к металлам, пластмассам и т. д. Все клеи серии БФ поставляются потребителям в готовом виде. Клеевое соединение из них сушат при температуре 90-100°C в течение 1-3 ч.

При ремонте автомобилей клей нашел применение для соединения фрикционных накладок с тормозными колодками и непригоден для склеивания эластичных и гибких материалов, таких как резины, ткани и т. д.

Клей применяется также при ремонте пластмассовых деталей. Детали из терморезактивных пластмасс склеиваются *смоляными клеями* (ВИАМ-Б-3, БФ-2, БФ-4, К-17 и др.) на основе фенолоформальдегидных эпоксидных и других смол. Для склеивания органического стекла применяется дихлорэтан или клей, представляющий собой раствор опилок органического стекла в муравьиной кислоте или в дихлорэтаноле.

Необходимо отметить, что, несмотря на хорошо известные достоинства клеевых соединений, широкого применения в автомобилестроении они не получили, особенно при изготовлении кузовов автомобилей. Основная причина – длительность процесса отверждения клеевых швов, который не укладывается в ритм конвейерной сборки. Автомобили с конвейера сходят через минуты, а большинство самых совершенных клеев твердеют в течение нескольких часов, а некоторые – в течение суток.

Однако положение уже начало меняться: появились клеи нового поколения, способные полимеризоваться за 3-30 с. Дело в том, что в их состав вводят специальные добавки – фотоинициаторы, которые при обычных условиях в химическую реакцию не вступают, а при облучении светом с определенной дли-

ной волны, наоборот, становятся мощными катализаторами. Таким образом, все операции по нанесению клея и сборке узлов и агрегатов могут выполняться в том же, что и при бесклеевой сборке, режиме.

До начала облучения клей остается в неотвержденном состоянии. После этого швы, образующиеся при сборке, в течение нескольких секунд подвергаются ультрафиолетовому облучению. За это время фотоинициаторы расщепляются, переходят в свободные радикалы, которые инициируют практически мгновенную цепную реакцию – полимеризацию облученной части клея. Но, к сожалению, весь шов полимеризуется только в случае соединений поверхностей типа «прозрачная на прозрачную». В случае же «прозрачная на непрозрачную» – лишь открытая облучению его часть. Поэтому в настоящее время клеи ультрафиолетового отверждения применяют чаще всего для крепления автомобильного остекления (силикатное стекло прозрачно в диапазоне 365–420 нм) и прозрачных в диапазоне 420 нм пластмассовых изделий. Используемые при этом клеи – акриловые.

Кроме акриловых клеев и герметиков со вспомогательными системами полимеризации все шире применяются такие же анаэробные материалы (твердеющие при отсутствии контакта с кислородом воздуха).

Их применяют для фиксации, стопорения в герметизации резьбовых и нерезьбовых соединений.

Для автомобилестроения, как уже отмечалось, очень важной является освоение клеевой технологии. Не случайно ею, в частности, клеями (и вообще адгезивами) с ультрафиолетовым отверждением занимаются очень многие фирмы.

Наиболее известная из них – австрийская «Локтайт». Она выпускает более сотни марок клеев и герметиков различной химической природы, назначения (сборка двигателя, трансмиссии, подвески, рулевого управления, тормозов и кузовов легковых автомобилей) и систем полимеризации. В качестве примера некоторые клеи фирмы «Локтайт» представлены в прил. Ж.

Клеи «Локтайт» обладают рядом уникальных свойств. В частности, они обеспечивают клеевому шву 99%-ую оптическую прозрачность и регулируемое

(1,4–1,55) значение показателя преломления, что позволяет использовать их для склеивания прозрачных материалов и получать невидимый клеевой шов. Некоторые (например, анаэробный «Локтайт 661») могут работать в интервале рабочих температур от –55 до 230°C, с пределом прочности при сдвиге 35 МПа (350 кгс/см²), при отрыве – 37-42 МПа (370-420 кгс/см²), временем схватывания 3 с. Поэтому данный клей применяют при установке подшипников в корпуса и на валы, для фиксации роторов, шестерен, звездочек и шкивов на валах, для крепления втулок, гильз, стаканов в корпуса, герметизации заглушек на блоках двигателей и корпусах редукторов. Применение такого клея позволяет упростить конструкцию (за счет ликвидации шпоночных канавок и штифтов) и благодаря мгновенному его частичному отверждению во много раз ускорить процесс сборки узлов и агрегатов. Кроме того, при монтаже подшипников, например, слой адгезива компенсирует неточности центрирования деталей узла. Валы же и подшипники, смонтированные без нарушения центрирования, но с натягом, служат дольше, их можно многократно использовать после демонтажа и очистки.

Для полимеризации клеев фирмы «Локтайт» (для их полимеризации) можно использовать лампы ультрафиолетового излучения типа ДРТ–400 и специально разработанную установку, которая обеспечивает не только регулирование интенсивности излучения ламп, но и защиту оператора от ультрафиолета.

Необходимо отметить, что производители часто ориентируются на зарубежные клеевые материалы, в то время как есть отечественные, которые по своим показателям нередко превосходят их и обходятся значительно дешевле. Так, одно из основных предприятий – ОАО «Снежинка» (бывший НИТХИБ) производит множество клеев различного назначения. Некоторые из них представлены ниже.

Клей 88КР (ТУ 201–951–10–96). Это модификация в серии хлоропреновых клеев, отличающаяся от своих предшественников (88НП, 88СА) повышенными прочностью, термостойкостью, скоростью схватывания, водостойкостью и стабильностью параметров при длительной эксплуатации клеевых швов.

Основа клея – полихлоропрен. Растворяется он в таких малотоксичных растворителях, как бензин, этилацетат, гексан. Применяется для склеивания резины, резины и металлов (алюминиевых сплавов и сплавов на основе железа), металлов между собой, синтетических пленок, полиуретана, поливинилхлорида, кожезаменителей, кожи, АБС–пластиков, слоистых пластиков, ДСП, дерева, обивочных тканей и т. д. То есть он универсален. Он вибростоек, полностью сохраняет свою работоспособность в диапазоне температур от -30 до $+90$ °С. Технология его применения – простейшая: швы выполняют при комнатной температуре и небольшом контактном давлении.

Наиболее рациональная область применения данного клея – соединение и ремонт деталей внутренней отделки кабин грузовых автомобилей, салонов легковых автомобилей и автобусов.

Клей «УР–Моно» (ТУ 201–951–1–96) – универсальный полиуретановый клей, предназначенный для соединения кожи, резины, полиуретана, ПВХ, жестких пластиков типа АБС, металлов, ДСП. Он бесцветный, прозрачный, одноупаковочный, водо-, вибро-, морозо- и термостойкий, малотоксичный. Прочность при расслаивании ПВХ–кожи превышает 50 Н/см (5 кгс/см). Работает без введения изоцианитных отвердителей, что значительно упрощает технологию его применения.

Клей 75М (ТУ 201–28–72–96). Изготавливается на основе термоэластопластов (срок хранения – один-полтора года). Наряду с такими подложками, как кожа, резина, полиуретан, дерево и металл, способен склеивать полиэтилен (жесткий и пленочный), полиамид, ТЭП и другие полимерные материалы без предварительной химической обработки. Прочностные характеристики шва в 1,5–2 раза превышают нормативные показатели.

Например, прочность при расслаивании соединений типа ТЭП–кожа, кожа–уретан превышает 50 Н/см (5 кгс/см). Способен к быстрому (10–15 мин) склеиванию, водо- и теплостоек, малотоксичен. Используется при отделочных и ремонтных работах. В последнее время его начали применять в качестве клеящей основы при нанесении так называемого флока на текстиль, пластики, ме-

талл, что позволяет быстро получать бархатистую поверхность на этих материалах.

Клей «Ронид-5» (ТУ 201–196–90). Предназначен для склеивания изделий из кожи, мягких подложек из текстильных материалов, резины, пласткожи. Составляет из импортного меркантируемого хлоропренового каучука «Скайпрен», реакционноспособных смол и оксидов металлов. Представляет собой вязкую (60–200 с по ВЗ–246) жидкость бело-желтого цвета.

Клей «Крол» (ТУ 201–28–78–83) – модифицированный полистирольный клей для производства и ремонта изделий из ударопрочного и блочного полистирола. Обеспечивает быстрое, в течение 15–20 мин, склеивание этих материалов при комнатной температуре и контактном давлении, большую долговечность швов. Гарантирует отсутствие микротрещин, которые, как известно, неизбежны при склеивании полистирола активными растворителями. Вибро- и водостоек, прочен (адгезионная прочность к полистирольным подложкам – до 14,8 МПа, или 148 кгс/см²), малотоксичен. Рекомендуется применять при креплении и ремонте деталей из полистирола (корпусов магнитол, приемников, деталей панели приборов и др.), а также внутренних (облицовочных) деталей кузовов–рефрижераторов.

Клеящий карандаш ЭРК–1 (ТУ 201–28–18–96) представляет собой сложную эпоксидную клеящую композицию, оформленную в виде твердого прутка, предназначенную для экспресс – ремонта (заделки) микротрещин и вырывов металла на трубопроводах и корпусах из различных металлов и сплавов (алюминия, меди, стали, чугуна). Масло-, бензо-, вибро- и термостоек.

Клеи для резины. Клеи для приклеивания резины подразделяют на клеи для приклеивания с вулканизацией и для приклеивания «на холоду». Промышленность производит клеи резиновые (для соединения резиновых деталей друг с другом) и для приклеивания резины к металлам, стеклу, пластмассам и другим твердым материалам.

Из специальных клеев можно назвать два образца: №61 и 88Н. Первый готовится растворением резиновой смеси №61 в бензине «Калоша». Клей

№88Н представляет собой раствор смеси этилацетата с бензином сырой резины №31–Н, к которой добавлена бутилфенолоформальдегидная смола.

Для приклеивания резиновых деталей к металлическим применяют клей №88, 88Н, 61 или термопеновый. Приклеивание резиновых деталей к деревянным производят с помощью резинового клея НК.

Клей №200 (раствор резиновой смеси в бензине) применяют для приклеивания к металлу обивки, резины, картона и кожи. Из-за токсичности составляющих с ними следует обращаться осторожно.

Модифицированный резиновый клей (ТУ 2385–004–05281725–97) (выпускает ОАО «Снежинка»), у которого прочность шва, в 2 раза превышающую прочность, обеспечиваемую традиционными резиновыми клеями, пригоден для склеивания не только резины, но и кожи, текстильных материалов.

Контрольные вопросы

1. Что называют шпатлевками?
2. Какими свойствами обладают шпатлевки?
3. Из каких компонентов состоят шпатлевки?
4. Какую систему называют клеями?
5. Как подразделяют клеи?
6. Какие клеи получили наибольшее применение в автомобилестроении?
7. Что представляет собой модифицированный клей?

14. ИНТЕРЬЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И БЕЗОПАСНЫЕ СТЕКЛА

14.1. ОБИВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Обивочные материалы предназначены для отделки (обивки) сидений и кузовов автомобилей. В результате салоны и кабины становятся комфортабельнее, улучшается их тепло- и звукоизоляция. Тип материалов, применяемых для обивки подушек и спинок сидений, а также внутренней обивки кабин и кузовов, влияет на вид автомобиля, его стоимость, затраты по уходу за обивкой во время эксплуатации.

К основным требованиям, которым должны удовлетворять обивочные материалы, относятся: прочность на разрыв и сопротивление истиранию, красивая декоративная отделка, тепло- и звуконепроницаемость, долговечность, доступность и невысокая стоимость.

Механическая прочность, эластичность и износостойкость – важнейшее требование, предъявляемое к обивочным материалам. Это относится в первую очередь к материалам для обивки подушек и спинок сидений, так как они подвергаются механической нагрузке и многократным изгибам. От прочности, эластичности и износостойкости обивки зависит срок ее службы. Кроме того, обивочные материалы должны легко очищаться от пыли и других загрязнений, а обивка подушек и спинок сидений легковых таксомоторов и автобусов должна позволять обработку дезинфицирующими растворами. В то же время обивочные материалы должны хорошо мыться, не изменяя при этом внешнего вида обивки.

Обивочные материалы, используемые для изготовления и ремонта кабин, могут подвергаться воздействию нефтепродуктов или их паров. Поэтому степень стойкости обивочных материалов к воздействию нефтепродуктов также характеризует их качество. Также важно, чтобы обивочные материалы допускали возможность их ремонта, в том числе методом склеивания.

В качестве обивки используют различные текстильные материалы, заменители кожи, резину и другие материалы. Основное место в обивке кузовов за-

нимают текстильные ткани. К ним относят ткани, войлок, шнуры, тесьму, бахрому и т. п. Свойства текстильных материалов зависят от природы волокнистого сырья и его переработки, а также от структуры и метода отделки готовых материалов. В качестве обивочных материалов применяют разнообразные ткани, в том числе и с нанесенными на их поверхности полимерами, а также синтетические пленки.

Все большее применение получили разнообразные комплексные материалы в качестве обивочного материала салона автомобиля. Для лицевого слоя используют различные материалы: ткани, трикотажные полотна, искусственный мех, искусственную кожу. Комплексные материалы могут быть *двухслойные* и *трехслойные*. *Двухслойные* комплексные материалы выполняют из лицевого (основного) слоя и пенополиуретана. У *трехслойных* комплексных материалов в качестве лицевого слоя используют ткань, трикотажное полотно; остальные слои – из поролона и подкладочного слоя.

Комплексные материалы различают по способу дублирования, методу нанесения клеевого состава и виду клея. Дублированные материалы состоят из разных по свойствам текстильных материалов в различных сочетаниях (рис. 14.1.) Эти материалы делят на *ламинированные* и *бондированные*.

Ламинат состоит из соединенных между собой полотна и пенополиуретана (рис. 14.1, гр. 1– а, в) или полотна с пенополиуретаном и полотном (рис. 14.1, гр. 1– б, г, д).

Бондированные материалы – это материалы, состоящие из двух полотен, соединенных между собой изнанкой друг с другом без поролона. В качестве обивочного материала автомобилей чаще всего используют комплексные обивочные материалы, обработанные клеевым или термическим (огневым) методами.

При *клеевом методе* дублирования на изнанку основного (лицевого) слоя материала наносят тонкий слой клея (полиизобутиленового или полипропиленового) и только после этого соединяют с подкладочным материалом или поролоном.

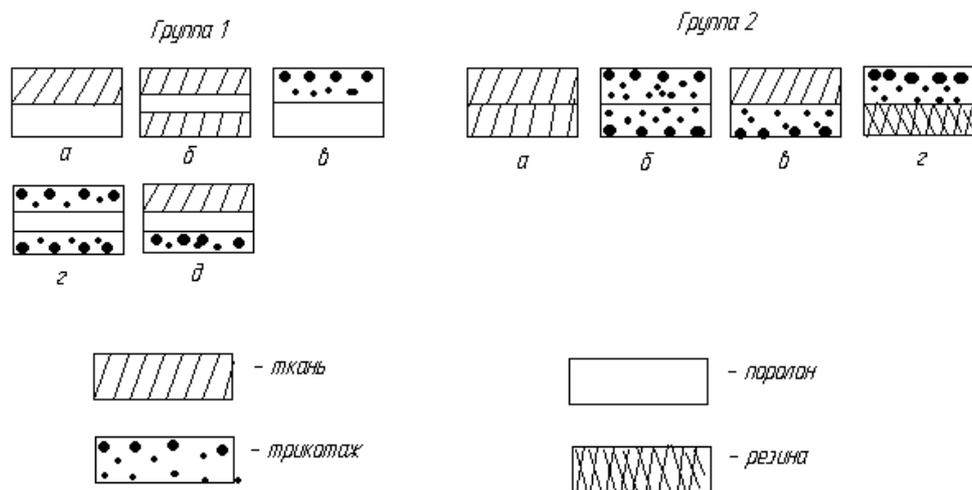


Рис. 14.1. Конструкция дублированных материалов

Огневой метод (метод термического оплавления поролона) заключается в том, что поверхность поролона расплавляется в пламени газовой горелки и сразу же дублируется с материалом с одной или с двух сторон.

Очень долго на АвтоВАЗе в качестве обивочного материала использовалась искусственная кожа.

В настоящее время разработана большая гамма обивочных текстильных материалов с улучшенными гигиеническими характеристиками, многообразной гаммой стилей – ворсовых, объемных, не только однотонных, но чаще рисунчатых. Широко применяют *капрвелюр* – текстильный дублированный материал, состоящий из трех слоев; лицевой – ворсованный основовязанный трикотаж (получаемый из полиамидной нити), второй слой – пенополиуретан, подкладочный слой – основовязаное трикотажное полотно из полиамидной нити. Дублирование слоев производится огневым методом. Поверхностная плотность материала – 420-480 г/м². Обивка такого типа создает комфорт в салоне автомобиля, так как такой материал обладает хорошей воздухопроницаемостью, объемностью, мягким грифом. К недостаткам *капрвелюра* относятся – быстрое старение, низкая устойчивость окраски, разрушение пенополиуретана и др.

В качестве обивочного материала в последнее время используется комплексный текстильный материал типа «твид». В этом случае в качестве лицевого слоя применяется тканое полотно мелкоузорчатого переплетения из поли-

эфирных текстурированных нитей; в качестве промежуточного слоя – трикотажное основовязаное полотно из полиамидных нитей. Метод дублирования – огневой. Поверхностная плотность материала 430–530 г/м². Этот материал имеет удовлетворительные гигиенические и эксплуатационные свойства. Недостатком твида является выделение вредных для человека веществ при огневом методе дублирования; возможна деструкция пенополиуретана под воздействием условий окружающей среды и др.

На АО «АнтВАЗ» в качестве обивочного материала применяется текстильный синтетический материал – бархат. Бархат имеет красивый внешний вид, объемность, мягкий гриф, хорошие гигиенические свойства. Основными недостатками бархата, как обивочного материала, являются: пониженная устойчивость ворса к истиранию; замены ворса при эксплуатации; направленность ворса, что затрудняет раскрой материала; воздействие на человека вредных веществ, выделяющихся при огневом методе дублирования; повышенная способность пенополиуретана к разрушению; дороговизна материала.

Основные задачи, которые стоят перед дизайнерами, технологами и конструкторами по повышению качества обивочных материалов это:

- получение экологически чистого материала;
- улучшение технологических свойств при переработке текстильного материала для обивки сидений;
- снижение стоимости материала.

Все эти задачи будут решаться путем создания новых типов текстильных материалов, обладающих улучшенными эксплуатационными, экологическими и технологическими свойствами.

14.2. БЕЗОПАСНЫЕ СТЕКЛА

Основное требование, предъявляемое к остеклению автомобилей – травмобезопасность, т. е. в случае разрушения стекол они не должны наносить своими осколками ранений водителю и пассажирам. Кроме того, современные

автомобильные стекла должны защищать не только от ветра и дождя, но и от ультрафиолетового и инфракрасного воздействия солнечного света.

Ветровые стекла должны также предотвращать попадание в пассажирский салон посторонних предметов (камней и т. п.), не создавать оптических искажений, обеспечивать четкую различимость сигналов светофора.

Типы автомобильных стекол. В зависимости от количества слоев автомобильные стекла бывают *однослойными* и *многослойными*. Кроме этого, автомобильные стекла могут быть выполнены тонированными, а задние стекла иметь подогрев.

Однослойные стекла (сталинит) проходят специальную термическую обработку – закалки, заключающуюся в постепенном нагреве и быстром охлаждении. Из-за такой термической обработки их называют «закаленными». Резкий перепад температур в процессе закалки вызывает образование в поверхностных слоях остаточных напряжений сжатия, обеспечивающих повышенную механическую прочность (в 5-6 раз больше, чем у обычного стекла) и термостойкость стекла, однако при этом в стекле появляются зоны концентрации механических напряжений. Даже небольшой удар по этим зонам, если они расположены по торцам, приводит к полному разрушению стекла. В зонах концентрации напряжений в процессе эксплуатации автомобиля, под действием высоких нагрузок или резких ударов, могут появиться микротрещины, которые со временем могут привести к неожиданному разрушению («взрыву») стекла.

Закаленные стекла нельзя резать, сверлить и подвергать другим видам механической обработки.

Термообработка стекла обеспечивает его разрушение в случае аварии на небольшие осколки с неострыми (тупыми) краями, что исключает травмирование людей.

На современных автомобилях такие стекла используют только в дверях, заднем проеме, люках и совсем не устанавливают в качестве ветровых.

Многослойные стекла состоят из нескольких слоев стекла и склеивающих их прозрачных полимеров. На автомобилях применяют трехслойные изделия (триплекс – от латинского triplex – тройной) – два слоя стекла и слой полимера.

При разрушении осколки стекла удерживаются связующей пленкой полимера, предотвращая ранения людей. Кроме того, стекло из триплекса, вклеенное в раму кузова автомобиля, в случае аварии может предотвратить выпадение пассажиров, не пристегнутых ремнями безопасности, из салона.

Разбитое многослойное стекло может сохранить обзорность, достаточную для движения к месту стоянки или ремонта. Оно устойчиво к образованию сквозных отверстий и предохраняет людей, находящихся в салоне, от предметов, летящих из-под колес автомобиля, движущегося впереди.

Все ветровые стекла современных автомобилей – трехслойные. Для повышения безопасности и снижения уровня шума на дорогах новых моделях автомобилей триплекс устанавливают также в дверях, заднем проеме кузова и др. местах. Остекление «бронированных» автомобилей представляет собой «сэндвич» из нескольких стекол, некоторые из которых могут быть закаленными, и полимерных пленок между ними.

Стекла с обогревом устанавливают в заднем проеме кузовов типа «седан», задней двери универсалов, хэтчбэков и др. конструкциях кузовов.

Обогреватель в таких стеклах представляет собой несколько нитей «накаливания» из металлосодержащей пасты, которая наносится на поверхность стекла в процессе его изготовления. Механическая прочность такого обогревателя невысока и поэтому протирку заднего стекла следует производить аккуратно.

На автомобилях иностранного производства обогрев осуществляется через пиролитическое покрытие, образованное из металлосодержащей полосовой пасты, которое нанесено на внутреннюю поверхность стекла по верхнему и нижнему краям.

Китайские ученые изобрели не запотевающее автомобильное стекло со специальным покрытием с использованием нано-технологий. Изобретение находится на стадии внедрения.

Тонированные стекла благодаря фильтрующим свойствам, которые зависят от толщины стекла, значительно сокращают напряжения глаз и позволяют:

- улучшить внешний вид автомобиля;
- снизить прохождение видимой части солнечного спектра, делая трудноразличимыми людей, находящихся в салоне, и его содержимое (например, вещей);
- задерживать на 3-4% больше ультрафиолетовое излучение солнца, в то время как нетонированные стекла ослабляют действие ультрафиолетовых лучей только на 90-95%. Уменьшение ультрафиолетового излучения снижает его негативное воздействие на водителя и пассажиров, а также выгорание обивки салона, окрашенной натуральными красителями;
- ослабить, в зависимости от химического состава красителей, инфракрасное излучение солнца, предотвращая нагревание салона и выгорание его элементов, окрашенных синтетическими красителями;
- снизить запотевание и замерзание стекол в зимний период из-за их большего нагревания в солнечный день.

Однако следует помнить, что затемненные стекла ухудшают видимость и контрастность окружающей обстановки. Этот эффект наиболее отрицательно проявляется в сумерках, когда водитель еще не осознает, что хуже различает дорогу предметы и не принимает соответствующих мер для обеспечения безопасности движения (не снижает скорость и т. п.).

Маркировка стекол. Каждое стекло должно иметь заводскую маркировку, которая должна легко читаться и не стираться твердыми предметами или органическими растворителями.

Маркировка многослойных стекол триплекс включает следующие обозначения: WL – стекло ветровое ламинированное; Z 26. 1 – соответствие американскому стандарту ANSI; R43 ЕЭК – свидетельство о прохождении испытаний на безопасность во Франции и соответствия всем требованиям международного стандарта (Правила №R43 ЕЭК ООН и директива №92/22/СЕЕ ЕЭС); последние цифры – месяц и год изготовления.

Маркировка стекол сталинит включает следующие обозначения: T – стекло закаленное; R43 ЕЭК – свидетельство о прохождении испытаний на безопасность во Франции и соответствия всем требованиям международного стандарта (Правила №R43 ЕЭК ООН и директива №92/22/СЕЕ ЕЭС); последние цифры – месяц и год изготовления.

Знак официального утверждения, что стекло изготовлено в соответствии с Правилами №R43 ЕЭК ООН (Европейской экономической комиссии ООН) или директивой №92/22/СЕЕ государств, входящих в Европейское экономическое сообщество, предусматривает обозначения следующей информации: индекса типа стекла и кода страны, предоставившей официальное утверждение.

В зависимости от типа стекла обозначаются следующими индексами: I – упрочненное ветровое стекло (I/P – то же с покрытием); II – ветровое обычное многослойное стекло (II/P – то же с покрытием); III – ветровое обработанное многослойное стекло; IV – ветровое стекло из стеклопластика; V – прочие (не ветровые) стекла с коэффициентом пропускания света ниже 70%; VI – двойное стекло с коэффициентом пропускания света ниже 70%; VII – ветровое упрочненное стекло для транспортных средств, развивающих скорость не более 40 км/ч. Отсутствие индекса на стекле указывает на то, что оно не является ветровым и имеет коэффициент пропускания света не ниже 70%.

Ford установил на кузова Mustang'a панорамную стеклянную крышу, которая отражает ультрафиолетовые лучи. Путем уменьшения передачи солнечной энергии в кабину она поддерживает прохладу в салоне и экономит топливо при включении воздушного кондиционера. Стелянная крыша отражает инфракрасное излучение. Стекло обеспечивает необходимую температуру и акустический комфорт в автомобиле. Чтобы снизить шум встречного потока воздуха, добавлен специальный молдинг на передней грани стекла.

Солнцезащитное покрытие отражает более чем 95% солнечного инфракрасного излучения и более 99% энергии ультрафиолетовых лучей.

Фирма-производитель PPG утверждает, что применение солнцезащитных потолков поможет автопроизводителям удовлетворить нормативные требова-

ния США по выбросам выхлопных газов, топливной экономичности и защите окружающей среды.

В городе Бор Нижегородской области на стекольном заводе фирмы «Эй Джи Си» первыми среди стекольных заводов стали выпускать цветные автомобильные стекла, а также стекла с усиленными теплопоглощающими свойствами. Кроме того, стали производить ветровые стекла с электрообогревом и полировать стекла большого размера (6×3м).

Контрольные вопросы

1. Свойства обивочных материалов.
2. Требования, предъявляемые к обивочным материалам.
3. Структура обивочных материалов.
4. Какие существуют стекла?
5. Требования, предъявляемые к стеклам?
6. Тонированные стекла.
7. Безопасность стекол.

15. ЭНЕРГОПОГЛОЩАЮЩИЕ, СВЕТОВОЗВРАЩАЮЩИЕ, ШУМО- И ВИБРОЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

15.1. ЭНЕРГОПОГЛОЩАЮЩИЕ И СВЕТОВОЗВРАЩАЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

В настоящее время главные усилия в вопросах создания средств противоударной защиты направлены на разработку средств защиты водителей и пассажиров (ремни и подушки безопасности, складывающиеся или изгибающиеся конструкции рулевых колонок автомобилей, конструктивные исполнения автомобилей, позволяющих обезопасить водителей и пассажиров при ДТП), кроме того создание первичного контура противоударной защиты автомобиля может значительно снизить материальный ущерб, причиненный пассажиру.

Наибольшее распространение в технике получили энергопоглощающие пружинно–гидравлические и пневмогидравлические амортизаторы. Основным их недостатком являются сравнительно высокая сложность конструкции и изготовления, что определяет их высокую стоимость, а также регулярного технического обслуживания. Такие амортизаторы рассчитаны на восприятие небольших нагрузок, им необходимы большие хода.

Наиболее полно требованиям отвечают системы защиты за счет процессов пластического течения материала. Например, торсионных упругопластических демпфирующих элементов, обладающих высокой удельной энергоемкостью; относительно простой и технологичностью конструкции и способностью сохранять полную работоспособность в течение практически неограниченного срока эксплуатации (срок ожидания воздействия). Рассмотрим некоторые из них. Например, Mercedes-Benz из применяемых для изготовления кузовов материалов 90% приходится на сорта сталей для глубокой вытяжки и повышенной прочности. Доля стали особо высокой прочности, деформируемой в горячем состоянии, не превышает 0,1% у автомобилей M и GL классов.

При этом кузов автомобиля обеспечивает повышенную безопасность пассажиров благодаря высокой жесткости окружающего салон каркаса и энергопоглощающим деформируемым элементом в передней и задней частях.

Более половины деталей остова кузова автомобилей (около 60%) изготовлены из сталей высокой и особо высокой прочности. Это стали с пределом прочности от 500 до 600 МПа, служащие преимущественно для изготовления энергопоглощающих деталей. В частности, из них изготавливают лонжероны и поперечины в передней части кузова. Для верхних профилей боковин кузова используется сталь с пределом прочности 500 МПа. Обрамление крыши и усилители вторых стоек изготавливают из особо прочной стали, легированной марганцем и бором. Штамповка деталей из этой стали производится в горячем состоянии. В результате их быстрого охлаждения предел прочности повышается до 1500 МПа.

Алюминиевое основание переднего бампера способно перераспределять усилия, передаваемые при несимметричном фронтальном ударе на два коробчатых наконечника лонжеронов, изготавливаемых из высокопрочной стали. При скоростях наезда до 15 км/ч деформация распространяется на остальные части лонжеронов. Если удар несимметричный, в действие вступают детали остова кузова, расположенные выше колесных шин.

В современных автомобилях широко используются энергопоглощающие вставки. Например, из импортного материала марки Vestocell фирмы Fagerdala (Германия) производят вспененный полипропилен для изготовления энергопоглощающих деталей для рулевой колонки, а также конструкции двери с энергопоглощающими вставками.

Различные технические решения противоударной защиты, обладающей высокой энергопоглощающей способностью и стабильностью характеристик амортизации, могут обеспечить эффективную защиту автомобиля при различных видах столкновений и заданных определенным расположением энергопоглощающих устройств в составе конструкции. Рассмотренные положения защиты от ударов могут применяться для оснащения передних и задних бампе-

ров, боковых поверхностей различных транспортных средств и в значительной степени повысит их защищенность при ДТП.

Световозвращающий эффект используется в целях безопасности на дорогах (катафоты, дорожные знаки на столбах, спецодежда и т. д.).

Стандарт (ГОСТ Р 12.4.219–99) определяет цветовые и световозвращающие характеристики сигнальных материалов для спецодежды, их минимальную площадь и размещение на спецодежде повышенной видимости при дневном освещении на фоне практически любого городского или сельского ландшафта. Предусмотрено стандартом три класса сигнальной одежды: одежда класса 3 обеспечивает больший контраст, чем одежда класса 2, которая, в свою очередь, превосходит одежду класса 1. Высокий уровень световозвращения обеспечивает лучшую видимость сигнальной одежды при свете фар в темноте.

Стандарт определяет, что световозвращающий материал является ретро-рефлекторным, обладающий светоотражательными свойствами. Данный материал обладает специальной конструкцией поверхностных структур световозвращающих элементов, позволяющих посылать сигналы по разным направлениям за счет возможности управления углами между падающим возвращающим светом при освещении их в диапазоне углов от близких к 0° и до 90° с надежным возвращением падающих лучей к источнику освещения. В качестве конструктивных элементов были выбраны пирамиды, а в качестве световозвращающих материалов тонкопленочные структуры.

Световозвращающие материалы должны быть устойчивы к механическим воздействиям, испытывают на устойчивость к старению, а также на истирание, изгибание, морозостойкость, перепады температур, стирку, химическую чистку и воздействие дождя.

15.2. ШУМО- И ВИБРОЗАЩИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Вибрация и шум создают в автомобиле дискомфорт водителю и пассажирам. Поэтому создают различные средства для их гашения.

Сегодня большое распространение получили битумнополимерные вязкие композиты, в которые в строго определенных пропорциях введены различные наполнители. Материал в виде мат выпускают со специальной самоклеющейся пленкой, которая обеспечивает материалу надежную адгезию с панелью кузова и сохранить свои свойства в широком диапазоне температур. Кроме того, выпускают прокладочные шумопоглощающие материалы на основе пенополиуретана. Например, *термофол* – прокладочный, шумопоглощающий материал на основе пенополиуретана. Материал имеет открыто-ячеистую структуру, поглощающий звук. Поставляется толщиной от 5 до 30 мм с липким слоем, защищенным антиадгезионной пленкой. Кажущаяся плотность – 25 ... 40 кг/м³.

Эластичные свойства пенополиуретана позволяют использовать термофол в качестве прокладок и уплотнителей в различных соединениях.

Звукоизолирующий и противоскрипный, материал *термофол-РСa*, представляющий из себя вспененный полиэтилен с липким слоем. Материал обладает удовлетворительными теплоизоляционными свойствами, эластичен, водостоек, экологически безопасен, что позволяет использовать его в качестве прокладки, уплотнителя, тепло- и звукоизолятора в автомобилестроении и машиностроении. Термофол-РСa выпускается толщиной от 2 до 40 мм.

Аналогичными свойствами обладает самоклеящийся звукотеплоизолирующий, шумопоглощающий материал *сплэн*, изготовленный из пенополиэтилена с мелким слоем толщиной от 2 до 15 мм.

Существуют шумопоглощающие материалы серии Terodem: Terodem-SP100 Alu – самоклеющееся битумсодержащее покрытие с ламинированным нетканым слоем, поглощает звук, распространяющийся в твердой среде. Используется для работы с ровными или слегка изогнутыми поверхностями. В автомобилестроении устанавливается на дверях и боковых панелях. Поставляется в виде матов 500×250×22 мм.

Terodem-SP200 – самоклеющееся пенополиуретановое покрытие с внешним защитным полиуретановым слоем. Поглощает звук, распространяющийся в

воздухе. В автомобилях устанавливается на капот и крышку багажника. Поставляется в виде матов 1000×500×10 мм.

Terodem-SP300 самоклеющееся битумсодержащее покрытие. Поглощает звук, распространяющийся в твердом теле. Поставляется в виде матов 500×500×2,6 мм и 1000×500×2,6 мм и применяется для покрытия полов автомобиля. Благодаря высокой эластичности, пригодно для установки на поверхности, имеющей сложную форму.

Бимаст (Bimast) – вибропоглощающий материал на основе битумной и мастичной композиции. Эластичность материалов позволяет герметизировать кузов автомобиля и защитить от коррозии. Бимаст поставляется в виде мат, нагрев при монтаже до 25-30°С позволяет улучшить пластичность и сократить время монтажа. Лицевой слой из алюминиевой фольги материала предотвращает от загрязнения.

Стизол – звуко- и теплоизолирующий материал на основе пенополиэтилена, выпускается толщиной от 5 до 50 мм. Выпускаемая серия материала: стизол без клеевого слоя, стизол КС – с клеевым монтажным слоем и стизол ЛМ КС – с лицевой стороны покрыта лавсановой металлизированной пленкой с клеевым монтажным слоем. Рекомендуются для обработки зон: стизол – пол салона и багажника, стизол КС – арки колес, перегородка моторного отсека со стороны салона, стизол ЛМ КС – крыша капота и багажника.

Битопласт – уплотнительный и противоскрипный материал с липким слоем на основе пенополиуретана, толщиной от 5 до 10 мм, со специальной пропиткой, придающий материалу водостойкость, улучшает его звукопоглощающие свойства и стойкость к ультрафиолетовому излучению.

Рекомендуется использовать битопласт 5 при покрытии пластмассовых деталей салона, панелей приборов; битопласт 10 – крыши.

Особый класс составляют звуко- и шумопоглощающие аэрозольные материалы, которые рекомендуется использовать для покрытия арок колес, днища и салона кузова и т. д.

Шумоизоляция автомобилей методом аэрозольного нанесения шумопоглощающих материалов, имеет ряд преимуществ: в отличие от проклейки виброгасящими матами не остается не закрытых частей (короба, швы, стыки и т. п.), «мостики холода»; адгезия в несколько раз выше, что позволяет наносить материалы на панель крыши без риска отслоений; удельный вес материалов намного ниже, при более высоких коэффициентах шумопоглощения; материал не содержит летучих растворителей, абсолютно безвреден для здоровья, не имеет запаха.

Контрольные вопросы

1. Сущность конструкции энергопоглощения при ДТП.
2. Высокопрочные материалы в кузовных элементах.
3. Шумоизолирующие материалы.
4. Виброизолирующие материалы.
5. Световозвращающие материалы.
6. Требования, предъявляемые к шумо- и виброзащитным материалам.
7. Требования, предъявляемые к световозвращающим материалам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной целью создания настоящего учебного пособия по дисциплине «Конструкционные и защитно-отделочные материалы в автомобилестроении» является помощь студентам в ориентации и выборе материалов при проектировании автомобилей, а также модернизации и ремонте их узлов и деталей.

Учебное пособие поможет студентам обрести практические навыки инженерного подхода к решению проблемы по выбору материалов и термической обработке деталей автомобиля, с учетом износостойкости трущихся пар. В учебном пособии широко представлены кузовные и композиционные материалы, защитные и лакокрасочные изделия (эмали, грунтовки, растворители, отвердители, шпатлевки, клеи и т. д.), шумо- и виброзащитные материалы и т. п.

В пособии приводятся новые перспективные материалы (микролегированная сталь взамен дорогостоящей никель-молибденовой стали, магниевая сталь на 75% легче стали, незапотевающее стекло и т. д.), которые скоро найдут широкое применение.

Автор надеется, что настоящее учебное пособие может быть полезно студентам в выборе различных материалов при курсовом и дипломном проектировании и затем – в их будущей профессиональной деятельности, а также работникам станций технического обслуживания (СТО) при защитно-отделочных работах и ремонте автомобиля.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А

Основные свойства отечественных эмалей, применяемых для окраски кузовов легковых автомобилей при их производстве и ремонте

Эмаль	Цвет	Режим сушки		Рабочая вязкость по вискозиметру ВЗ-4, с	Разбавитель или растворитель	Грунтовка
		Температура, °С	Продолжительность, мин			
МЛ-12	Любой	Первого слоя 18–22	5–7	23–24	Р-198, сольвент	ГФ-021, ФЛ-03К,
		Второго слоя 120–130	35			
МЛ-197	—//—	100–110	30	20–24	Р-197, сольвент, №647	ГФ-021, ГФ-073
МЛ-152	—//—	80–90	60	20–25	Сольвент	ГФ-021
		100–105	35			
МЛ-1110		130	30	24–28	Р-197, №647	ГФ-021
МЛ-1121	Белый	130	30	20–22	Р-197	ЭФ-083
МЛ-1195 (однопигментные)	Любой	80	30	20–22	Ксилол	ГФ-021
МЛ-1198	Любой (с металлическим эффектом)	130	30	14–16	Смесь ксилола с бутилацетоном (1:1)	ЭФ-083, ГФ-021, ФЛ-03К
НЦ-115	Белый	18–22	60	20–25	№646, 647	ГФ-021
ГФ-571	Серый	140	15–20	20–22	Сольвент	ГФ-021, ФЛ-093

Примечания.

1. Рабочую вязкость оценивают числом секунд, за которые лакокрасочный материал объемом 100 см³ вытекает из вискозиметра.
2. Значения рабочей вязкости по вискозиметру ВЗ-4 для рассматриваемых эмалей рекомендованы при нанесении их пневмораспылением. Рабочая вязкость эмали НЦ-11 указана при нанесении ее как пневмораспылением, так и кистью (значение указано в скобках).

**Основные технологические параметры покровных
красок фирмы «SpiesHecker»**

Параметр	Серия краски		
	257	270	8568 (люминисцентная)
Рабочая вязкость краски при температуре +20 °С при пневмораспылении, с	17-19	Готова после смешивания с отвердителем	22–25
Количество добавляемого растворителя при температуре +20 °С для достижения рабочей вязкости при пневмораспылении, %	5-10	–	25 (при смешивании 8:1) или 10 (при смешивании 4:1)
Пригодность приготовленной краски при температуре +20 °С, ч	4-5	4-5	8
Диаметр распылительного сопла пистолета с верхним/нижним расположением бачка, мм	1,3–1,4/1,5–1,7	1,4–1,5/1,7–1,8	1,3–1,5/1,7–1,8
Давление пневмораспыления, МПа	0,4–0,5	0,4–0,5	0,4–0,5
Количество слоев нанесения до растекания: простой цвет малоукрывистый цвет	– 2 4	– 1,5 2,5	4–5 – –
Время воздушной сушки при температуре +20 °С, ч: «от пыли» до монтажной прочности до полного отверждения	0,5–0,7 4–5 ночь	0,65–0,85 4–6 ночь	– – ночь
Время ускоренной сушки при температуре +60 °С, мин: выдержка сушка	5–10 25–30	5–10 30–40	60 60

Окончание прил. Б

1	2	3	4
Время инфракрасной сушки, мин:			
выдержка	–	5	–
коротковолновое излучение	–	10-15	–
средневолновое излучение	–	15-20	–
Толщина сухого слоя, мкм, при количестве слоев:	–	–	Более 100
2	50-60	50-60	–
4	110	–	–
Доля твердого вещества (по массе / по объему), %:			
неразбавленная краска:	–	–	60,0/50,0
белая	59,3/43,2	73,0/57,8	–
черная	48,2/41,0	62,8/56,6	–
готовая к нанесению:			
белая	53,3/39,8	66,4/52,3	–
черная	45,2/38,3	57,9/51,4	–
готовая к нанесению смесь в соотношении с отвердителем:			
8:1	–	–	62,0/52,0
4:1	–	–	56,0/46,0
Плотность, г/см ³ :			
неразбавленная краска			
готовая к нанесению:	–	–	1,10
белая	1,14	1,24	
черная 114242	0,99	1,01	–
Вязкость краски, с	90	100	100
Температура воспламенения краски, °С, свыше	+21	+21	+23

Основные технологические параметры покровных красок
фирмы «Spies Hecker»

Параметр	Серия краски		
	293	295	280/285 (водорастворимая)
Рабочая вязкость краски при температуре +20 °С при пневмораспылении, с	17-18	17-18	22-26
Диаметр распылительного сопла пистолета с верхним / нижним расположением бачка, мм	1,3/1,5	1,3/1,5	1,3/–
Давление пневмораспыления для пистолета с верхним / нижним расположением бачка, МПа	0,3/0,4	0,3/0,4	0,35–0,4/–
Время промежуточной выдержки между слоями, мин	5-10	5-10	Нет
Время выдержки при температуре +20 °С до нанесения прозрачного лака, мин	10-15	10-15	20
Доля твердого вещества (по массе / по объему), %:			
неразбавленная краска:	–	28,7/19,2	–
белая	37,2/21,9	–	37,3/23,7
черная	22,0/17,0	–	22,8/20,1
серебро	23,2/17,1	–	16,9/13,7
готовая к нанесению:	–	18,5/11,6	–
белая	24,7/13,2	–	34,4/21,6
черная	13,8/10,3	–	20,8/18,3
серебро	14,6/10,3	–	15,4/12,4

Продолжение прил. В

1	2	3	4
Плотность, г/см ³ :			
неразбавленная краска:	–	0,99	–
белая	1,09	–	1,19
черная	0,93	–	1,02
серебро	0,94	–	1,02
готовая к нанесению:	–	–	–
белая	0,99	0,94	1,18
черная	0,90	–	1,02
серебро	0,90	–	1,02
Расход материала при толщине сухого слоя (20/15/12 мкм), г/м ² :			
неразбавленная краска:	–	– / 77,4 / –	–
белая	99,1 / – / –	–	– / 75,3 / –
черная	109,4 / – / –	–	– / 76,1 / –
серебро	– / 82,5 / –	–	– / – / 89,5
готовая к нанесению:	–	– / 122,1 / –	–
белая	150,0 / – / –	–	– / 81,9 / –
черная	173,1 / – / –	–	– / 83,6 / –
серебро	– / 130,5 / –	–	– / – / 99,0
Вязкость поставляемой краски, с	90	90	30–40
Температура воспламенения, °С, Свыше	+21	+21	+23

**Основные технологические параметры
покровных лаков фирмы «Spies Hecker»**

Параметр	Номер лака						
	8100	T30	8005	8030	8000	8070	8304
Рабочая вязкость при температуре +20 °С при пневмораспылении, с	17-19	17-19	16	Готова после смешива- ния с отверди- телем	15-20	18-20	20-22
Пригодность приготовленного лака при температуре +20 °С, ч	6	4-5	2,5	1,5	1,5-2	6	4-5
Диаметр распылитель- ного сопла пистолета с верхним/нижним расположением бачка, мм	1,3-1,4/ 1,5-1,7	1,3-1,4/ 1,5-1,7	1,3-1,4/ 1,7-1,8	1,4/1,7	1,3-1,4/ 1,5-1,7	1,3-1,4/ 1,5-1,7	1,4-1,5/ 1,7-1,8
Давление пневмо- распыления, МПа	0,4-0,5	0,4-0,5	0,4	0,4-0,5	0,4-0,5	0,4-0,5	0,4-0,5
Количество слоев нанесения	1,5-2	1,5-2	2	1,5-2	1,5-2	2	3
Толщина сухого слоя, Мкм	50-60	50-60	50-60	50-60	50-60	50-60	80
Время воздушной сушки при температуре +20 °С, ч: «от пыли» до монтажной прочности до полного отверждения	0,35-0,5 4-5 Ночь	0,5—,7 4-5 Ночь	0,25-0,35 4 Ночь	0,65-0,85 4-6 Ночь	0,35-0,5 4-5 Ночь	– – Ночь	1 6 Ночь
Ускоренная сушка при температуре +60 °С, мин: время выдержки время сушки	5-10 25-30	5-10 20-30	5 15	5-10 30	5-10 20	5-10 45	10 40
Расход готовой к нанесе- нию смеси лака при тол- щине сухого слоя 80/50 мкм, г/м ²	–/134,2	–/127,0	–/141,2	–/101,0	–/122,5	–/167,2	192,5/–

Окончание прил. Г

1	2	3	4	5	6	7	8
Плотность, г/см ³ : неразбавленного лака	0,99	0,99	0,95	1,0	0,99	1,04	–
готовой к нанесению смеси	0,98	0,98	0,96	1,0	0,98	1,02	1,02
Доля твердого вещества (по массе/по объему), %:	44,7/ 38,3	48,5/ 42,0	37,6/ 31,8	58,9/ 53,4	50,3 / 44,0	50,0 / 33,5	55,5 / 47,0
Неразбавленный лак готовая к нанесению смесь	42,8/ 364	45,0/ 39,0	40,4/ 34,2	55,9/ 49,9	46,6/ 40,1	41,0/ 30,5	50,0/ 42,5
Вязкость поставляемого лака, с	70-80	90-100	20	65-75	45-50	40-45	60
Температура воспламенения, °С, свыше	+21	+21	+23	+23	+21	+21	+21

**Основные технологические параметры грунтов
и грунт-наполнителей фирмы «SpiesHecker»**

Параметр	Номер грунта или грунта наполнителя							
	3255	4080	3304	8583	3300	3688	4130	4090
Время воздушной сушки при температуре +20 °С, мин:	15–25	–	15	10–15	15–25	–	30	Ночь
для повторного напыления	–	10–15	–	–	–	–	–	–
для шлифования	–	45–60	–	–	–	30	–	–
Расход материала, г/м ² , при толщине сухого слоя, мкм:								
2	–	–	51,2	–	–	–	–	–
8	–	–	–	–	–	112,5	101,1	–
20	–	–	–	107,5	–	–	–	–
25	–	129,5	–	–	–	–	–	–
30	123,8	–	–	–	153,8	–	–	–
40	–	207,3	–	–	–	–	–	–
60 (грунтовки/смеси)	–	–	–	–	–	–	–	258,4/221,7
Рабочая вязкость грунта при температуре +20 °С при пневмораспылении, с	15-18	15-18	12	15-18	16-18	15-16	15-16	18-20
Количество добавляемого растворителя при температуре +20 °С для достижения рабочей вязкости, %	Около 40	Около 40	Не требуется	При необходимости	Не требуется	При необходимости	При необходимости	10-15
Пригодность приготовленного грунта при температуре +20 °С, ч	–	–	–	4	8	8	8	8
Количество слоев напыления:	2	–	1	1	–	2	2	2-3
способом «мокрый по мокрому»	–	1-2	–	–	2	–	–	–
с промежуточным шлифованием	–	2-3	–	–	–	–	–	–

Окончание прил. Д

Толщина сухого слоя, мкм: для повторного напыления для шлифования	15–20 – –	– 20–30 30–50	1–2 – –	Около 20 – –	Около 30 – –	Около 8 – –	Около 8 – –	60-90 – –
Плотность, г/см ³ (грунтовки/смеси)	0,99/–	1,14/–	0,87/–	1,29/–	1,20/–	0,9/–	0,9/–	1,55/1,33
Вязкость поставляемого продукта, с: грунта отвердителя	90-100 –	60 –	12 –	20-25 –	100 11	60 –	60 –	Тиксо – тропная
Доля твердого вещества (по массе/ по объему), %: без растворителя в смеси	34/17 –	42/22 –	4,3/3,4 –	43/21,5 42,5/24	54/37 35,7/23,5	23/12 14/7	23,1/12, 2 14,1/7,1	67/45 58/36
Температура воспламенения, °С: грунта растворителя	Свыше +23 – –	Свыше +20 – –	Свыше +23 – –	Свыше +23 – –	Свыше +23 – –	Свыше +23 – –	– Ниже +21 Свыше +23	Свыше +23 – –

Технологические параметры шпатлевок фирмы «SpiesHecker»

Параметр	Номер шпатлевки							
	2507	2030	2511	0911	3508	2521	7715	3311
Время высыхания, мин: воздушная сушка при температуре +20 °С инфракрасная сушка: при средневолновом излу- чении при коротковолновом излу- чении	20-30	20-30	20-30	20-30	120	30-40	30-60	5
	–	5	5	–	15	7	4-6	–
	–	3	3	–	–	5	–	–
Минимальная температура высыхания, °С	+5	+5	+5	+5	+15	–	–	–
Пригодность пригото- вленной шпатлевки при темпе- ратуре +20 °С, мин	3–5	3–5	2–4	3–5	30	10–15	–	–
Используемый отвердитель	Raderal 0909	Raderal 0909	Raderal 0909	Raderal 0909	Raderal 9520	Raderal 0909	–	–
Способ нанесения	Шпате- лем	Шпате- лем	Шпате- лем	Шпате- лем	Распы- лением	Кистью	Шпате- лем	Сал- феткой
Устойчивость покрытия к температуре, °С: для оцинкованных поверхностей для всех других поверхностей	+60	–	–	–	+60	–	–	–
	+80	+80	+80	+80	+80	+80	–	–
Форма поставки	Пасто- образная	Пасто- образная	Пасто- образная	Пасто- образная	...	Пасто- образная	Пасто- образная	...

Клеи фирмы «Локтайт»

Марка адгезива	Вспомогательная система отвержения			Область применения
	анаэробная	тепловая	влажная	
«Квант – 401»	–	–	–	Склеивание металла со стеклом
«Анатерм 50УФ»	+	–	–	Герметизация гладких цилиндрических поверхностей
«Локтайт 322»	–	–	–	Склеивание пластмасс
«Локтайт 366»	+	+	–	Склеивание стекла с металлом
«Локтайт 394»	–	–	–	Защитное покрытие печатных плат
«Локтайт 661»	+	+	–	Соединения типа «вал – втулка»
«Локтайт 3016»	–	+	–	Эпоксидный заливочный компаунд
«Локтайт 3103»	–	–	–	Склеивание поликарбоната
«Локтайт 3106»	–	–	–	Склеивание поливинилхлорида
«Локтайт 3491»	–	–	–	Склеивание стекол
«Локтайт 3608»	–	+	–	Поверхностный монтаж электронных элементов
«Локтайт 3920»	–	–	–	Склеивание металлов с пластмассами
«Локтайт 5088»	–	–	+	Герметизация плоских стыков
«Локтайт 5091»	–	–	+	То же
«Локтайт 5293»	–	–	+	Защита печатных плат
«Локтайт 5960»	–	–	–	Герметизация плоских стыков

ГЛОССАРИЙ

Баббиты – металлические сплавы на основе свинца или олова, обладающие низким коэффициентом трения.

Дислокация – линейное несовершенство (дефект) кристаллической решетки (англ. яз. – «смещение, сдвиг»).

Зерно – отдельный кристалл, из которых состоит металл.

Изнашивание – процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела и (или) накопления его остаточной деформации при трении, проявляющейся в постепенном изменении размеров и формы тела.

Износ – результат процесса изнашивания, определяемый в установленных единицах (длины, объема, массы и т. д.)

Износостойкость – свойства материала детали оказывать сопротивление изнашиванию в определенных условиях трения, обратной скорости изнашивания или интенсивности изнашивания.

Интенсивность изнашивания – отношение значения износа к обусловленному пути, на котором происходило изнашивание, или объему выполненной работы.

Коэффициент трения – отношение силы трения между двумя телами к нормальной силе, принимающей эти тела друг к другу.

Поликристалл – множество мелких кристаллов, соприкасающихся между собой.

Сила трения – сила сопротивления при относительном перемещении одного тела по поверхности другого под действием внешней силы, направленной по касательной к общей границе между этими телами.

Трение (от греч. *tribos* – трение) – взаимодействие движущегося тела с другими телами или окружающей средой, которое сопровождается рассеиванием энергии.

Трибология – наука о явлениях, закономерностях и процессах трения изнашивания и смазки в машинах и механизмах.

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Абразивное изнашивание.....	21	Кузов.....	52
Азотирование.....	12	Лазерная закалка.....	44
Акрилопласт.....	114	Лак.....	125
Алюмополимерные КМ.....	66	Латуни.....	14
Антистарители.....	109	Легирующие присадки.....	9
Антифрикционность.....	28	Легированные стали.....	9
Антифрикционные материалы.....	23, 28	Легирующие элементы.....	8
Антифрикционные покрытия.....	33	Линейная неоднородность.....	65
Армированная сталь.....	88	Люминисцентные краски.....	124
Асболокниты.....	112	Магние вые сплавы.....	15
Асбест.....	25, 27	Макронеоднородные волокна.....	66
Баббиты	15, 30	Маркировка стекол.....	163
База испытаний.....	18	Мартеновские стали.....	9
Белый чугун.....	13	Маслофреоновая смесь.....	48
Бондированные материалы.....	157	Материалосбережение.....	52
Борирование.....	13	Медные сплавы.....	14
Бороволокниты.....	93	Металлокерамика.....	27, 32
Бронза.....	14, 29	Механические свойства.....	8
Взаимозаменяемость	36	Механические упрочнения.....	44
Вискеризация.....	79	Модуль упругости.....	24, 75
Гибридные КМ.....	65	Морозостойкость.....	112
Графитизация.....	103	Наплавка	45
Грунтовка.....	118	Наполнители.....	109
Гуммированные детали.....	38	Напыление покрытий.....	45
Двумерные упрочнители.....	62	Несущая способность.....	18
Двухосный.....	62	Нормализация.....	10
Демпфирующая сталь.....	57	Нульмерный.....	62
Дисперсно-упрочненные КМ.....	67	Обивочные материалы	156
Допускаемое напряжение.....	16	Обкатка машин.....	41
Закалка	11	Одномерный.....	62
Закон аддитивности.....	75	Одноосный.....	62
Запас прочности.....	17	Окисная пленка.....	22
Защитное покрытие.....	22	Оксид цинка.....	25
Избирательный перенос	50	Оптические свойства.....	112
Износ.....	20	Органоволокниты.....	93
Износостойкость детали.....	12, 28, 34	Отвердитель.....	135
Интенсивность заедания.....	22	Отжиг.....	10
Каучук	25	Отпуск.....	12
Кирметы.....	100	Пенополиуретан	105
Клеи.....	147	Плазменные мето-	
Ковкий чугун.....	13	ды.....	43
Композитные материалы.....	38	Плакирование.....	46
Контактные напряжения.....	22	Пластическое деформирование.....	21
Коррозионная стойкость.....	112	Пластичность.....	9
Коэффициент трения.....	21	Пластмас-	
Красители.....	109	са.....	105
Кристаллическая решетка.....	7	Пластификато-	
Кристаллические ячейки.....	7	ры.....	109

Поверхностное упрочнение.....	42	Плоскостная неоднородность.....	65
Полимер.....	31,108	Плотность.....	110
Полиметилфенольная матрица.....	95	Поверхностная закалка.....	42
Предел выносливости.....	18	Теплопроводность.....	112
Предел прочности.....	17	Теплостойкость.....	111
Предел текучести.....	17	Титановые сплавы.....	15
Предельный износ.....	42	Токи Фука.....	43
Прозрачные лаки.....	123	Тонированное стекло.....	162
Противокоррозионные свойства.....	53	Трение.....	20
Процесс коррозии.....	23	Трехосный.....	62
Прочность.....	9, 16, 111	Трибосопряжения.....	35
Пульверизат.....	69	Триплекс.....	161
Растворители.....	132	Углеволокниты.....	93
Ретинакс.....	27	Углерод–углеродные КМ.....	101
Светопоглощающие материалы.....	165	Упрочнитель.....	62
Световозвращающий эффект.....	167	Усталостная прочность.....	53
Сервовитная пленка.....	48	Фреттинг–коррозия.....	23
Серый чугун.....	13, 25, 30	Фрикционные материалы.....	23
Силумины.....	15	Фторопласт.....	31
Спеченный алюминиевый сплав.....	71	Цементация.....	12
Спеченная алюминиевая пудра.....	68	Цианирование.....	12
Сталенит.....	160	Цинкование.....	55
Сталь.....	8	Цинкометалл.....	54
Сталь алюминированная.....	56	Чугуны.....	13
Стекла с обогревом.....	161	Шероховатость поверхности.....	40
Стекловолокниты.....	93	Шпатлевка.....	118, 140
Схватывание.....	22	Шумопоглощающие материалы.....	168
Твердые тела.....	7	Электроконтактный нагрев.....	43
Термическая обработка.....	10	Электрохимические покрытия.....	46
Термоактивные смолы.....	102	Эмаль.....	119
		Энергопоглощающие материалы.....	165
		Энергосбережение.....	52
		Эффект безызносности.....	51

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Амбарцумян, В. В. Экологическая безопасность автомобильного транспорта / В. В. Амбарцумян ; под ред. В. Н. Луканина. – М. : НАУЧТЕХЛИТИЗДАТ, 1999. – 208 с.
2. Афанасьев, Л. Л. Конструктивная безопасность / Л. Л. Афанасьев, А. Б. Дьяков, В. А. Иларионов. – М. : Машиностроение, 1983. – 367 с.
3. Беркович, И. И. Трибология, физические основы, механика и технические приложения: учебник для вузов / И. И. Беркович, Д. Г. Громаковский ; под ред. Д. Г. Громаковского. – Самара : Феникс, 2000. – 268 с.
4. Биргер, И. А. Расчет на прочность деталей машин: справочник / И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Г. Б. Иосилевич. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1993. – 640 с.
5. Вронский, В. А. Прикладная экология : учеб. пособие / В. А. Вронский. – Ростов н/Д : Феникс, 1996. – 512 с.
6. Гаркунов, Д. Н. Триботехника (износ и безызносность) : учебник / Д. Н. Гаркунов. – 4-е изд. перераб. и доп. – М. : «Изд-во МСХА», 2001. – 616 с.
7. Колесник, П. А. Материаловедение на автомобильном транспорте : учебник / П. А. Колесник, В. С. Кланица. – М. : Академия, 2005. – 318 с.
8. Колесов, С. Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов : учебник для вузов / С. Н. Колесов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 2007. – 535 с.
9. Лахтин, Ю. М. Металловедение и термическая обработка металлов / Ю. М. Лахтин. – М. : Металлургия, 1983. – 360 с.
10. Мазур, И. И. Инженерная экология. Общий курс. В 2 т. / И. И. Мазур, И. И. Молдов, В. Н. Шишов ; под ред. И. И. Мазура. – М. : Высш. школа., 1996. – 655 с.
11. Новиков, Б. Г. Металлография / Б. Г. Новиков, Г. Л. Лившиц. – М. : Металлургия, 1990. – 335 с.
12. Мотовилин, Г. В. Автомобильные материалы. Справочник / Г. В. Мотовилин, М. А. Масино, О. М. Суворов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1989. – 463 с.
13. Новиков, И. И. Дефекты кристаллической решетки металлов / И. И. Новиков. – М. : Металлургия, 1988. – 188 с.
14. Пенкин, Н. С. Основы трибологии и триботехники : учебное пособие / Н. С. Пенкин, А. Н. Пенкин, В. М. Сербин. – М. : Машиностроение, 2008. – 206 с.
15. Решетов, Д. Н. Детали машин : учебник для студ. вузов / Д. Н. Решетов. – М. : Машиностроение, 1989. – 496 с.

Учебное издание

КУЗЬМИН Юрий Александрович

Конструкционные и защитно-отделочные материалы в автомобилестроении

Учебное пособие

Редактор Штаева М.

ЛР №020840 от 22.10.97.

Подписано в печать 29.12.2009. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 10,81. Тираж 100 экз. Заказ

Ульяновский государственный технический университет
432027, г. Ульяновск, ул. Сев. Венец, д. 32.

Типография УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, ул. Сев. Венец, д. 32.