

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Дашкевич В.Г., Пивоварчик А.А.

МАТЕРИАЛЫ ТОРГОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

ЭЛЕКТРОННЫЙ КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

для студентов специальности 1-36 20 03
«Торговое оборудование и технологии»

Электронный учебный материал

Минск 2013

Авторы:

В.Г. Дашкевич
А.А. Пивоварчик

Рецензент:

Е.Ф. Пантелеенко, доцент кафедры «Организация упаковочного производства» БНТУ,
кандидат технических наук

Данное пособие предназначено для студентов специальности «Торговое оборудование и технологии» (1-36 20 03) изучающих курс «Материалы торгового оборудования». В нем представлены данные по составу, структуре и свойствам материалов которые используются при производстве торгового оборудования, в том числе, сведения по неметаллическим материалам, различным декоративных и защитным покрытиям. Приведена информация по техническим жидкостям, которые используются при эксплуатации торгового оборудования. Рассмотрены основные вопросы коррозии металлических изделий и способы их защиты, а также представлены сведения по материалам для изготовления тары и упаковки.

Белорусский национальный технический университет
пр-т Независимости, 65, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.(017) 292-77-52 факс (017) 292-91-37
E-mail: mtf@bntu.by
<http://www.bntu.by/>
Регистрационный № БНТУ/МТФ30-21.2013

© БНТУ, 2013
© Дашкевич В.Г., Пивоварчик А.А., 2013
© Дашкевич В.Г., компьютерный дизайн, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел I. Стали и сплавы для производства торговых объектов и оборудования..	4
1.1 Строительные стали. Свариваемость. Арматурные стали.....	4
1.2 Коррозия металлических конструкций в условиях эксплуатации. Классификация коррозионных процессов.....	9
1.3 Факторы, влияющие на протекание коррозионных процессов. Способы оценки коррозионных процессов. Методы защиты от коррозии. Коррозионностойкие стали и сплавы.....	13
1.4 Хладостойкие стали и сплавы.....	20
1.5 Жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы	23
1.6 Виды трения и изнашивания. Износостойкость. Механизм.....	26
1.7 Износостойкие стали и сплавы. Антифрикционные и фрикционные материалы	27
1.7.1 Материалы с высокой твердостью поверхности.	28
1.7.2 Антифрикционные материалы.	28
1.7.3 Фрикционные материалы.....	32
1.8 Алюминиевые и медные сплавы в торговом оборудовании	33
Раздел II. Покрытия.....	42
2.1 Общая характеристика покрытий и способов их нанесения. Металлические покрытия. Покрытия, полученные способом наплавки и напыления	42
2.1.1 Металлические покрытия.....	43
2.1.2 Неметаллические покрытия.....	46
Раздел III. Неметаллические материалы для производства торгового оборудования. Технические жидкости	52
3.1 Полимерные материалы	52
3.2 Стекло.....	62
3.3 Резины общего и специального назначения.....	65
3.4 Герметики и клеи	67
3.5 Древесина. Механические свойства. Пиломатериалы, древесные материалы. Способы защиты	72
3.6 Картон. Свойства картона	81
3.7 Бумага. Виды, сорта, свойства.....	84
3.8 Технические жидкости. Смазочные материалы	87
Раздел IV. Упаковка и тара.....	96
4.1 Стеклоянная и полимерная тара. Упаковка.....	96
4.2 Керамическая и металлическая тара. Примеры использования различной тары.....	101
Список использованных источников	107

РАЗДЕЛ I. СТАЛИ И СПЛАВЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОРГОВЫХ ОБЪЕКТОВ И ОБОРУДОВАНИЯ

1.1 Строительные стали. Свариваемость. Арматурные стали

Основным видом стальных строительных конструкций в промышленном строительстве являются: каркасы производственных зданий (колонны, фермы, ригели, подкрановые балки, прогоны), резервуары (вертикальные цилиндрические, траншейные), сферические газгольдеры, бункеры и силосы, башенно-мачтовые сооружения (радио- и телебашни, каркасы опоры дымовых и вытяжных труб). Для конструкций применяют, главным образом, горячекатаный фасонный (уголки, двутавры, швеллеры) и листовой прокат и гнутые профили из углеродистой и низколегированной стали.

Требования к строительным сталям определяются в зависимости от условий работы конструкции. Все виды конструкций разделены *на четыре группы*:

К первой группе относятся сварные конструкции, работающие в особо тяжелых условиях, поэтому возможно хрупкое и усталостное разрушение. К свойствам сталей для этих конструкций предъявляются наиболее высокие требования.

Ко второй группе относятся сварные конструкции, работающие на статическую нагрузку при воздействии одноосного и однозначного двухосного поля растягивающих напряжений (например, фермы, ригели рам, балки перекрытий и покрытий и т. д.), а также конструкции первой группы при отсутствии сварных соединений. Общим для конструкций этой группы является повышенная опасность хрупкого разрушения. Вероятность усталостного разрушения меньше, чем для первой группы.

К третьей группе относятся сварные конструкции, работающие при преимущественном воздействии сжимающих напряжений (например, колонны, стойки, опоры под оборудование и др.), а также конструкции второй группы при отсутствии сварных соединений.

В четвертую группу включены вспомогательные конструкции и элементы (связи, элементы фахверка, лестницы, ограждения и т. п.), а также конструкции третьей группы при отсутствии сварных соединений.

Если для конструкций третьей и четвертой групп достаточно ограничиться требованиями к прочности при статических нагрузках, то для конструкций первой и второй групп важна оценка сопротивления стали динамическим воздействиям и хрупкому разрушению.

В материалах для сварных конструкций обязательно следует оценить свариваемость. Стальные строительные конструкции сваривают всеми способами, применяемыми в промышленном строительстве, при этом сварка осуществляется как в процессе изготовления конструкций на заводах или в мастерских, так и при их монтаже на строительном-монтажных площадках. Требования к элементам конструкций, не имеющих сварных соединений, могут быть снижены.

В пределах каждой группы конструкций, в зависимости от температуры эксплуатации, к сталям предъявляют требования по ударной вязкости при различных температурах.

Краткий обзор развития сварки. Появление принципиально нового, более эффективного способа сварки – электрической дуговой сварки – стало возможным благодаря открытию в 1802 г. профессором Санкт-Петербургской военно-хирургической академии В.В. Петровым явления электрической дуги. В 1881 г. выдающийся русский изобретатель Н.Н. Бенардос применил электрическую дугу для сварки металлов. Сущность предложенного способа сварки состояла в том, что между угольным стержнем-электродом и свариваемой деталью возбуждалась дуга. Тепло, выделяемое дугой, *расплавляло* поверхность детали и присадочный металл, вводимый в зону дуги в виде прутка. В 1888 г. русский инженер Н.Г. Славянов предложил способ электрической дуговой сварки, при котором вместо угольного стержня использовался плавящийся металлический стержень, являющийся одновременно и электродом и присадочным металлом. В 1907 г. шведский инженер О. Кьельберг применил металлические электроды с нанесенным на их поверхность покрытием. Это покрытие предохраняло металл шва от вредного воздействия воздуха и стабилизировало горение дуги.

В строительной индустрии используются главным образом виды и способы сварки, относящиеся к термическому классу. Это ручная дуговая сварка штучными (покрытыми) электродами, в защитном газе, порошковой проволокой, под флюсом, электрошлаковая, газовая и термитная сварка.

Свариваемость. Свариваемостью называют свойство металла или сплава образовывать при установленной технологии соединения, отвечающие требованиям, обусловленным конструкцией и эксплуатацией изделия. Наибольшее влияние на свариваемость металла имеет его химический состав.

Свариваемость стали в первую очередь зависит от содержания в ней углерода. Хорошо свариваются низкоуглеродистые стали, содержащие углерода до 0,25 %. Хуже свариваются среднеуглеродистые стали, содержащие углерода от 0,26 до 0,45 %. Плохо свариваются высокоуглеродистые стали, в которых *C* содержится от 0,46 до 0,9 %. Свариваемость стали зависит также от содержания в ней других элементов. Примерно в равной степени ухудшают свариваемость *Mn*, *Cr*, *V*, *Mo*. При содержании *P* более 0,05 % и *Cu* более 0,5 % свариваемость стали значительно ухудшается; *Si* и *Ni* влияют на свариваемость в меньшей степени.

Повышенное содержание углерода в стали приводит к увеличению ликвационной неоднородности металла, выделению по границам кристаллитов сульфидных включений, что снижает стойкость стали к образованию трещин; в зоне термического образуются хрупкие структуры мартенсита, характерные для закалки, повышающие внутренние напряжения и также увеличивающие склонность стали к образованию трещин. Аналогичные действия оказывают легирующие элементы.

Свариваемость большинства низколегированных строительных сталей хорошая и для их сварки не требуется никаких дополнительных

технологических приемов, кроме оптимального режима. Более сложной представляется свариваемость высоколегированных сталей мартенситного, ферритного и аустенитного классов, при сварке которых необходимы технологические меры по предупреждению образования трещин, обеспечению требуемой коррозионной стойкости, жаростойкости и жаропрочности, предупреждению межкристаллитной коррозии и охрупчивания металла в процессе эксплуатации

При оценке свариваемости металла учитываются наиболее важные факторы, влияющие на свариваемость: химический состав металла, скорость охлаждения металла в процессе сварки, характер первичной кристаллизации и последующих структурных превращений при охлаждении, склонность металла сварного соединения к образованию закалочных структур, склонность сварного соединения к образованию трещин, образование сварного шва требуемого химического состава, механических и других свойств.

Наибольшее влияние на свариваемость стали оказывает углерод, другие элементы влияют в меньшей степени, поэтому стремятся приравнять влияние других элементов к эквиваленту углерода C_e в процентах.

ГОСТ 27772-88 рекомендует следующую ориентировочную формулу углеродного эквивалента:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Si}{24} + \frac{Cr}{5} + \frac{Cu}{13} + \frac{V}{14} + \frac{Ni}{40} + \frac{P}{2}; \quad (1.1)$$

где символы химических элементов означают содержание их в стали, %.

По этому стандарту свариваемость всех сталей, на которые он распространяется, гарантируется изготовителем: для сталей с пределом текучести 390 МПа по требованию потребителя C_e должен быть не более 0,49 %, а для сталей с пределом текучести 440 МПа – не более 0,51 %. Большинство низколегированных сталей с пределом текучести до 390 МПа имеет C_e не более 0,49 %, эти стали практически свариваются удовлетворительно и только при приближении значения C_e к предельной величине (0,45 – 0,48 %) и особенно при увеличении толщины металла или при работе в условиях низких температур для них требуется предварительный подогрев.

Повышенная скорость охлаждения характерна для сварных соединений. При повышении скорости охлаждения сварного шва низкоуглеродистой стали прочность ее растет, а пластичность падает. Аналогично этому влияет увеличение скорости охлаждения сварного шва среднеуглеродистых, высокоуглеродистых и легированных сталей. Эти стали наиболее склонны к образованию закалочных структур мартенсита, что может быть причиной образования трещин. Наличие трещин даже в микроскопических размерах недопустимо, поэтому оценка склонности металла к образованию трещин при сварке необходима для определения его свариваемости. Различают горячие трещины, возникающие при температурах, близких к линии солидуса, т.е. в период кристаллизации и затвердевания сварочной ванны, и холодные, которые образуются в сварных соединениях при более низкой температуре (200 – 300 °С

и ниже). Для определения склонности стали к образованию холодных трещин, применяют машинные и технологические методы испытания образцов по ГОСТ 26388-84.

Строительные стали по ГОСТ 27772-88 обозначаются буквой С (строительная) и цифрами, соответствующими минимальному пределу текучести стали. Буква К в конце наименования указывает на стали с повышенной коррозионной стойкостью, буква Т – на термоупрочненный прокат, а буква Д – на повышенное содержание меди, например, С255, С345Т, С390К, С440Д и т. д.

Строительные стали хорошо свариваются, исключение составляют стали 14Г2АФ и 16Г2АФ, которые имеют ограниченную свариваемость и требуют применения при сварке плавлением специальных технологических приемов.

Таблица 1.1 – Некоторые марки стали для сварных строительных конструкций

Марка стали	Класс прочности	Марка стали	Класс прочности
Ст3пс5	С245	15ХСНД	С345
Ст3сп5	С245	ЮХНДП	С345К
Ст3Гпс	С255	ЮХСНД	С390
09Г2С	С325	14Г2АФ	С390
10Г2С1	С345	18Г2АФ	С440

Арматурная сталь. Для армирования железобетонных конструкций применяют прутки (гладкие и периодического профиля) и проволоку.

Арматурная сталь делится на классы по прочности. В таблице 1.2 приведена классификация арматурных сталей, а в таблице 1.3 – химический состав наиболее распространенных арматурных сталей. В предварительно напряженной железобетонной конструкции металла испытывает значительные напряжения, и поэтому в таких конструкциях применяют высокопрочные стальные стержни или высокопрочную проволоку. Сталь класса А-I изготовляют только круглого профиля; стержня остальных классов изготовляют периодического профиля с различным рисунком.

Кроме того, изготовляют еще несколько классов стержней по ГОСТ 10884-94 термомеханически и термически упрочненных с повышенными механическими свойствами (таблица 1.4). Прибавка к обозначению класса буквы "С" означает их хорошую свариваемость, например Ат-IIIС, Ат-IVС, а буквы К — повышенную стойкость к коррозионному растрескиванию.

В ненапряженных конструкциях применяют сталь обыкновенного качества, так как сталь не испытывает больших напряжений (Ст3, Ст5), а в предварительно напряженных конструкциях – среднеуглеродистые и высокоуглеродистые стали в горячекатаном состоянии, а также упрочненные термической обработкой.

Таблица 1.2 – Классификация арматурных сталей (ГОСТ 5781-82)

Класс стали	Свойства (не менее)			Марка стали	
	σ_b , МПа	$\sigma_{T(0,2)}$, МПа	δ , %	в горячекатаном состоянии	в термупрочненном состоянии
А-I	372	235	25	Ст3	–
А-II	490	294	19	Ст5; 18Г2С	–
А-III	585	390	14	35ГС; 25ГС2	–
А-IV	880	585	6	20ХГ2Ц; 80С	Ст5
А-V	1030	780	6	23Х2Г2Т	Ст5; 35ГС
А-VI	1170	980	5	–	Ст6; 35ГС
А-VII	1370	1170	5	–	45С
А-VIII	1560	1370	4	–	45ГС

Таблица 1.3 – Химический состав арматурных сталей, %

Сталь	С	Мп	Si
25Г2С	0,20—0,29	1,2—1,6	0,6-0,9
35ГС	0,30—0,37	0,8—1,2	0,6—0,9
20ХГ2Ц*	0,19—0,26	1,5—1,9	0,4—0,7
80С	0,74—0,82	0,5—0,8	0,6—1,0
45С	0,40—0,48	0,5-0,8	1.0—1,3

*Содержит 0,9 – 1,2 % Сг; 0,07 – 0,14 % Zr.

Таблица 1.4 – Механические свойства строительной арматуры по ГОСТ 10884-94 из термически упрочненной стали

Класс арматуры (марка)	Диаметр проката, мм	Теоретически доступные марки стали	Временное сопротивление разрыву σ_b , МПа	Относительное удлинение на разрыв δ_5 , %	Испытание на изгиб, угловых градусов
Ат-IIIС или Ат400	6-40	Ст3сп, Ст3пс	550	16	90
Ат500С	6-40	Ст5сп, Ст5пс	600	14	90
Ат-IV или Ат600	10-40	20ГС	800	12	45
Ат-IVС или Ат600С	10-40	25Г2С, 35ГС, 28С, 27ГС	800	12	45
Ат-IVК или Ат600К	10-40	10ГС2, 08Г2С, 25С2Р	800	12	45
Ат-V или Ат800	10-32	20ГС, 20ГС2, 08Г2С, 10ГС2, 28С, 25Г2С, 22С	1000	8	45
Ат-VК или Ат800К	18-32	35ГС, 25С2Р	1000	8	45
Ат-VI или Ат1000	10-32	20ГС, 20ГС2, 25С2Р	1250	7	45
Ат-VIK или Ат-1000К	10-32	20ХГС2	1250	7	45
Ат-VII или Ат1200	10-32	30ХС2	1450	6	45

Арматурную сталь классов А-I, А-II и А-III применяют для ненапряженных конструкций, а арматурную сталь более высоких классов – для предварительно напряженных конструкций.

Свойства, соответствующие классу А-IV, могут быть получены в горячекатаном состоянии в легированных сталях марок 20ХГ2Ц или 80С или в простой углеродистой стали марки Ст0 после упрочняющей термической обработки (закалка в воде, отпуск при 400 °С), а также в низколегированной малоуглеродистой стали после закалки с прокатного нагрева.

Арматуру более высоких классов (А-VI–А-VIII) изготавливают только с применением упрочняющей термической обработки.

Для работы при низких температурах лучше применять стали с более низким содержанием углерода или стали после термической обработки.

1.2 Коррозия металлических конструкций в условиях эксплуатации. Классификация коррозионных процессов

Коррозия – процесс химического или электрохимического разрушения металлов под действием окружающей среды. В результате такого взаимодействия в граничных зонах часть металла переходит в ионное состояние и, реагируя с окружающей средой, частично растворяется в ней или образует окислы и соли. Установлено, что от коррозии ежегодно теряется безвозвратно около 10 % производимых металлов, т. е. годовая продукция крупного металлургического завода.

В процессе химического разрушения на поверхности металла образуется пленка из продуктов коррозии, обычно оксидов. В некоторых случаях эта пленка может защищать лежащий под ней металл от дальнейшей коррозии. Сравнительно плотные оксиды пленки образуются на поверхности алюминия, свинца, олова, никеля, хрома. При окислении железа в сухом воздухе или в атмосфере сухого кислорода образуется также достаточно плотная пленка, но она по мере роста растрескивается и отслаивается от металла. Чаще всего химическая коррозия происходит в среде сухих газов при высокой температуре (металлическая арматура печей, клапаны двигателей, лопатки газовых турбин и т.п.) или в жидкостях неэлектролитов (окисление металла в спирте, бензине, нефти, мазуте и т. п.).

При электрохимической коррозии металл разрушается вследствие его растворения в жидкой среде, являющейся электролитом. Сущность процесса электрохимической коррозии заключается в том, что атомы, находящиеся в узлах кристаллической решетки металла, при контакте с раствором электролита переходят в раствор в форме ионов, оставляя эквивалентное количество электронов в металле. Переход атомов металла в ионы и растворение их в жидком электролите определяется величиной нормального электродного потенциала. Он характеризует то напряжение электрического тока, которое надо приложить к границе раздела твердого металла с жидким электролитом, чтобы воспрепятствовать переходу иона металла в раствор. Чем отрицательнее

нормальный электродный потенциал, тем более резко выражено стремление металла к растворению в электролитах (например, свинец растворяется значительно медленнее, чем железо).

За нулевой потенциал принимают равновесный потенциал водородного иона в водном растворе при концентрации положительных ионов водорода, равной 1 моль ионов H^+ на 1 литр. Стандартные потенциалы других элементов измерены по отношению к водородному потенциалу (таблица 1.5).

Таблица 1.5 – Электрохимический потенциал некоторых элементов

Элемент	Потенциал	Элемент	Потенциал
Mg	-1,55В	Ni	-0,23 В
Al	-1,3В	H	$\pm 0,00$ В
Zn	-0,76 В	Cu	+0,34 В
Cr	-0,5В	Ag	+0,8 В
Fe	-0,44В	Au	+1,5В

Металлы, стандартный потенциал которых отрицательный – корродируют в воде, в которой растворен кислород тем активнее, чем отрицательней значение электрохимического потенциала.

Данный вид коррозии может также возникнуть при контакте двух разнородных металлов в присутствии электролита, когда между этими металлами возникает гальванический ток. В гальванической паре любых двух металлов будет растворяться тот металл, который обладает более отрицательным электродным потенциалом. Например, железо имеет более низкий отрицательный электродный потенциал, чем цинк, и более высокий, чем медь. Следовательно, при контакте железа с цинком будет разрушаться цинк, а при контакте железа с медью – железо. Гальванические пары при коррозии образуются не только между отдельными участками контактирующих металлов, но также и между микроскопически малыми кристалликами одного и того же сплава, если они различаются по химическому составу и физическим свойствам. В результате возникает коррозионное разрушение, которое может проникнуть очень глубоко и идти по границам раздела зерен (межкристаллическая коррозия). Например, в перлите феррит более электроотрицателен, чем цементит, он и будет разрушаться в соответствующих условиях.

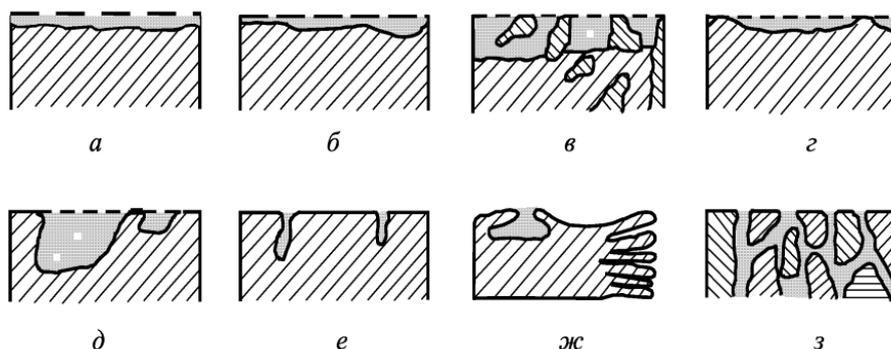
Коррозионные процессы различают:

- а) по механизму реакций взаимодействия металла со средой;
- б) по виду коррозионной среды;
- в) по виду (геометрическому характеру) коррозионных разрушений на поверхности или в объеме металла;
- г) по характеру дополнительных воздействий, которым подвергается металл одновременно с действием коррозионной среды.

По механизму реакции взаимодействия различают два типа коррозии металлов: химическую и электрохимическую. Особо выделяют биологическую коррозию, идущую под влиянием продуктов жизнедеятельности бактерий и других микроорганизмов, и радиационную коррозию, протекающую под воздействием радиоактивного излучения.

По виду агрессивной среды, принимающей участие в процессе разрушения металлов, различают газовую, атмосферную, в растворах электролитов, подземную, коррозию в жидкостях-неэлектролитах и др.

По характеру изменения поверхности металла или степени изменения физико-механических свойств его независимо от того, какое происходило взаимодействие со средой, коррозионные разрушения подразделяются на следующие виды (рисунок 1.1).



а – сплошная равномерная; б – сплошная неравномерная; в – структурно-избирательная; г – пятнами; д – язвами; е – точками (питтинговая); ж – подповерхностная; з – межкристаллитная

Рисунок 1.1 – Виды коррозии

Если коррозией охвачена вся поверхность металла, такой вид разрушения называют общей или сплошной коррозией. Сплошную коррозию делят на равномерную и неравномерную в зависимости от того, одинакова глубина коррозионного разрушения на всех участках металлической поверхности или нет. Сплошная коррозия – наименее опасный вид коррозии, так как материал, из которого выполнен аппарат или отдельный его узел, незначительно теряет свои свойства (около 5 %).

При местной коррозии происходит разрушение отдельных участков поверхности металла. Местная коррозия имеет неодинаковую степень разрушения. Наиболее характерными видами местной коррозии являются коррозия в виде пятен, язв, точечная и подповерхностная, межкристаллитная и транскристаллитная.

Коррозия в виде пятен – разрушение отдельных участков поверхности металла в виде пятен на сравнительно небольшую глубину (например, коррозия латуни в морской воде).

Коррозия в виде язв мало отличается от коррозии в виде пятен, но разрушения сосредоточены на ограниченных участках с большой глубиной проникновения в слой металла (например, коррозия стали в грунте).

Точечная коррозия (питтинг) связана с разрушением металла в виде отдельных точечных поражений, перерастающих в сквозные (коррозия нержавеющей стали в морской воде).

Подповерхностная коррозия начинается с поверхности и, как правило, в тех случаях, когда защитные покрытия (пленки, лаки и т. п.) разрушены на отдельных участках. Поэтому металл разрушается преимущественно под поверхностью, и продукты коррозии оказываются сосредоточенными внутри

металла. Обнаружить начало такого коррозионного разрушения можно только при микроскопическом обследовании. Подповерхностная коррозия часто вызывает вспучивание и расслоение металла.

Наиболее опасные виды местной коррозии — это межкристаллитная коррозия, которая, не разрушая зерен металла, продвигается вглубь по их менее стойким границам, и транскристаллитная, рассекающая металл трещиной прямо через зерна. Эти виды коррозии опасны тем, что, не изменяя внешнего вида конструкции, они приводят к быстрой потере металлом прочности и пластичности. Местная коррозия является более опасной, чем сплошная коррозия, так как может значительно снизить прочностные свойства стенки аппарата (трубопровода, резервуара) и даже разрушить их.

Специфический характер носит избирательная коррозия, которой подвержены сплавы, содержащие несколько структурных составляющих, и сплавы типа твердых растворов. В первом случае коррозия называется структурно-избирательной, а во втором – компонентно-избирательной. Пример структурно-избирательной коррозии – графитизация серого чугуна под действием олеума, когда вследствие растворения ферритных и перлитных составляющих образуется относительно мягкая масса графитного скелета без изменения формы. Пример компонентно-избирательной коррозии – процесс обесцинкования латуни, приводящий к обеднению сплава цинком и образованию на поверхности губчатого медного осадка.

Среди видов коррозии, различающихся по характеру дополнительных воздействий, можно выделить:

1. Коррозию под действием напряжений – коррозию металла, развивающуюся в зоне действия механических напряжений.
2. Коррозию при трении (коррозионная эрозия) – разрушение металла при одновременном воздействии коррозионной среды и сил трения.
3. Кавитационную коррозию – разрушение металла под одновременным коррозионным и ударным воздействием агрессивной среды (коррозия лопастей гребных винтов).

1.3 Факторы, влияющие на протекание коррозионных процессов. Способы оценки коррозионных процессов. Методы защиты от коррозии. Коррозионностойкие стали и сплавы

Установлено, что в различных условиях характер и скорость протекания процессов различны. Существует ряд факторов, от которых наиболее существенно зависит характер протекания коррозионных процессов при действии их как в отдельности, так, особенно, и в определенном сочетании.

Всю совокупность факторов можно разделить на четыре группы, отличающиеся достаточной самостоятельностью и определенностью по условиям зарождения, действия и возможностям принятия мер к снижению их благоприятного действия на развитие коррозионных процессов (таблица 1.6).

Таблица 1.6 – Классификация факторов, влияющих на протекание коррозионных процессов

Группа	Название фактора
1	2
Факторы, характеризующие состояние металла	Термодинамическая устойчивость металла Положение металла в периодической системе Соотношение компонентов в сплаве Структура металла Гетерогенность (неоднородность) поверхности Шероховатость поверхности Внутренние напряжения
Факторы, характеризующие конструктивное исполнение изделий	Контакт разнородных металлов Контакт металла и полимера Характер соединения элементов конструкции (резьба, сварка, пайка, сопряжение и др.) Обтекаемость элементов, наличие застойных зон Общая компоновка, расположение элементов конструкций относительно друг друга Концентрация напряжений Доступность возобновления покрытий (удаление продуктов коррозии) Возможность применения дополнительной защиты
Факторы технологические	Химический состав металла (содержание основных, легирующих элементов, примесей) Фазовый состав (равномерное распределение фаз, структур) Состояние в поставке (брус, лист, проволока и т. п.) Технологические особенности изготовления полуфабрикатов (литье, обработка давлением и др.) Технологические особенности обработки поверхности (механическая, термохимическая, химико-термическая, электрохимическая и др.) Технологические особенности защитных покрытий Особенности дополнительной обработки (нанесение масел, смазок ингибиторов, фунгицидов и т. п.) Технологические особенности соединения элементов (дефекты сварки, пайки, склеивания и т. п.)

1	2
Факторы эксплуатационные	Продолжительность эксплуатации (испытания) Температура и ее изменение Толщина и равномерность распределения водных сред pH раствора Характер загрязнения (механическое, агрессивные компоненты, микробиологическое, продукты коррозии, распределение их) Наличие стимуляторов (ингибиторов) коррозии Давление сред (постоянное, меняющееся) Солнечная радиация (прямые лучи, рассеянный свет, затемнение) Движение сред (ламинарное, турбулентное) Внешние нагрузки (масса, ветер, взаимодействие элементов конструкций, трение и др.) Характер контакта с агрессивной средой (локальный, равномерный, периодический, непрерывный) Воздухообмен (открытая атмосфера, ограниченный доступ воздуха, замкнутое пространство)

Способы оценки коррозионных процессов. Коррозионная стойкость металлов определяется качественно и количественно – скоростью коррозии в данных условиях, баллом стойкости по принятой шкале. Коррозионная стойкость может быть оценена:

а) изменением массы металла в результате коррозии, отнесенным к единице поверхности и единице времени;

б) объемом выделившегося водорода (или поглощенного кислорода) в процессе коррозии, отнесенным к единице поверхности и единице времени;

в) уменьшением толщины металла вследствие коррозии, выраженным в линейных единицах и отнесенным к единице времени;

г) изменением какого-либо показателя механических свойств за определенное время коррозионного процесса, выраженным в процентах, или временем до разрушения образца заданных размеров;

д) изменением отражательной способности поверхности металла за определенное время коррозионного процесса, выраженным в процентах;

е) плотностью тока, отвечающей скорости данного коррозионного процесса;

ж) временем до появления первого коррозионного очага на образце заданных размеров или числом коррозионных очагов на образце по истечении заданного времени.

Скорость коррозии k оценивают по изменению массы металла (Δq , г) с единицы поверхности (S , м²) к единице времени (τ , час, сутки, год), например, в г/м² × ч:

$$k = \frac{\Delta q}{S\tau}, \quad (1.2)$$

Для количественной и качественной оценки коррозионной стойкости металлов имеется ряд шкал коррозионной стойкости. По ГОСТ 13819-68 оценку коррозионной стойкости черных и цветных металлов, а также их сплавов при

условии их равномерной коррозии проводят по десятибалльной шкале коррозионной стойкости (таблица 1.7).

Таблица 1.7 – Десятибалльная шкала для оценки общей коррозионной стойкости металлов

Группа стойкости	Скорость коррозии металла, мм/год	Балл
Совершенно стойкие	Менее 0,001	1
Весьма стойкие	0,001 – 0,005	2
	0,005 – 0,01	3
Стойкие	0,01 – 0,05	4
	0,05 – 0,1	5
Пониженно стойкие	0,1 – 0,5	6
	0,5 – 1,0	7
Малостойкие	1,0 – 5,0	8
	5,0 – 10,0	9
Нестойкие	Свыше 10,0	10

Методы защиты от коррозии. Современная защита металлов от коррозии базируется на следующих методах:

- повышение химического сопротивления конструкционных материалов;
- изоляция поверхности металла от агрессивной среды;
- понижение агрессивности производственной среды;
- снижение коррозии наложением внешнего тока (электрохимическая защита).

Широко применяются следующие основные решения защиты металлических конструкций от коррозии:

1. Защитные покрытия (металлические и неметаллические). Более подробно характеристика различных покрытий будет представлена в Главе II.

Металлические покрытия. По принципу защитного действия различают анодные и катодные покрытия. Анодные покрытия имеют в водном растворе электролитов более отрицательный электрохимический потенциал, чем защищенный металл, а катодные – более положительный. Вследствие смещения потенциала анодные покрытия уменьшают или полностью устраняют коррозию основного металла в порах покрытия, т.е. оказывают электрохимическую защиту, в то время как катодные покрытия могут усиливать коррозию основного металла в порах, однако ими пользуются, т.к. они повышают физико-механические свойства металла, например износостойкость, твердость. Но при этом требуются значительно большие толщины покрытий, а в ряде случаев дополнительная защита.

Металлические покрытия разделяются также по способу их получения (электролитическое осаждение, химическое осаждение, горячее и холодное нанесение, термодиффузионная обработка, металлизация напылением, плакирование).

Неметаллические покрытия. Данные покрытия получают нанесением на поверхность различных неметаллических материалов – лакокрасочных, каучуковых, пластмассовых, керамических и др.

Наиболее широко используются лакокрасочные покрытия, которые можно разделить по назначению (атмосферостойкие, ограниченно атмосферостойкие, водостойкие, специальные, маслобензостойкие, химически стойкие, термостойкие, электроизоляционные, консервационные) и по составу пленкообразователя (битумные, эпоксидные, кремнийорганические, полиуретановые, пентафталевые и др.).

Эффективными и широко распространёнными также являются покрытия, получаемые химической и электрохимической обработкой поверхности. Эти покрытия представляют собой пленки нерастворимых продуктов, образовавшихся в результате химического взаимодействия металлов с внешней средой. Многие из них пористы, и в этом случае они применяются преимущественно в качестве подслоев под смазки и лакокрасочные покрытия, увеличивая защитную способность покрытия на металле и обеспечивая надежное сцепление. Методы нанесения – оксидирование, фосфатирование, пассивирование, анодирование.

Фосфатирование представляет собой процесс обработки металлических изделий растворами кислых фосфорнокислых солей с образованием на поверхности защитной солевой пленки из нерастворимых фосфатов. Фосфатный слой – отличная защита от коррозии, он устойчив во многих средах, отлично сочетается с лакокрасочными покрытиями, имеет толщину в 2 – 5 мкм. Фосфатный слой прекрасно противостоит керосину или смазочным веществам, кислороду. Также он выдерживает нагрев до 500 °С и резкое охлаждение до – 75 °С. Основным недостатком фосфатного слоя это то, что он не устойчив против действий кислот и сильных щелочей. Нанесение фосфатирующего вещества может происходить двумя способами: окунанием в ванну и распыление специальным струйным агрегатом.

Пассивирование часто применяется для защиты от внутренней коррозии трубопроводов, котельного и теплообменного оборудования. Пассивация металлов – переход поверхности металла в неактивное, пассивное состояние, связанное с образованием тонких поверхностных слоев соединений, препятствующих коррозии. Пассивация характеризуется образованием на поверхности металлические изделий защитных слоев – пленок оксидов при действии окислителей. Для пассивации многих металлов используют растворы на основе окисляющих агентов, способных к образованию труднорастворимых соединений (хроматы, нитраты в щелочной среде и др.). Проводить пассивацию, например, нержавеющей стали можно следующими методами: стали, содержащие как минимум 16 % хрома обрабатываются 20 – 50 % раствором азотной кислоты при температуре 40 °С, в течение 30 – 60 минут; содержащие менее 16 % хрома, обрабатываются 20 – 50 % раствором азотной кислоты при температуре 40 °С, в течение 60 минут.

Анодирование – электрохимическое оксидирование, образование защитной оксидной плёнки на поверхности металлических изделий электролизом. При

анодировании изделие, погруженное в электролит, соединяют с положительно заряженным электродом источника тока (анодом). Пленка толщиной от 1 до 200 мкм защищает металл от коррозии, обладает электроизоляционными свойствами и служит хорошей основой для лакокрасочных покрытий. Анодирование применяют для декоративной отделки изделий из алюминия и его сплавов, эмалеподобных покрытий на алюминии и некоторых его сплавах, а также используют для защиты от коррозии магниевых сплавов, повышения антифрикционных свойств титановых сплавов и прочее.

2. Обработка коррозионной среды с целью снижения коррозионной активности. Примерами такой обработки могут служить: нейтрализация или обескислороживание коррозионных сред, а также применение различного рода ингибиторов коррозии, которые в небольших количествах вводятся в агрессивную среду и создают на поверхности металла адсорбционную пленку, тормозящую электродные процессы и изменяющую электрохимические параметры металлов.

3. Электрохимическая защита металлов. Путем катодной или анодной поляризации от постороннего источника тока или присоединением к защищаемой конструкции протекторов, потенциал металла смещается до значений, при которых сильно замедляется или полностью прекращается коррозия.

4. Разработка и использование металлических материалов повышенной коррозионной устойчивости. В частности, введение в сплав новых компонентов, сильно повышающих коррозионную устойчивость (например, хрома в железо, марганца в магниевые сплавы, никеля в железные сплавы, меди в никелевые сплавы и т.д.).

5. Переход от металлических к химически стойким материалам (пластические высокополимерные материалы, стекло, керамика и др.).

6. Рациональное конструирование и эксплуатация металлических сооружений и деталей (исключение неблагоприятных металлических контактов или их изоляция, устранение щелей и зазоров в конструкции, устранение зон застоя влаги, ударного действия струй и резких изменений скоростей потока в конструкции и др.).

Защитная способность покрытий. Защитная способность покрытий зависит от многих факторов: свойств самого покрытия, метода и технологии нанесения и факторы, определяемые окружающей средой и др.

Наиболее важными свойствами покрытий, от которых зависит их защитная способность, являются толщина покрытия, равномерность нанесения покрытия, сплошность и пористость покрытия, структура осадка и прочность сцепления с основой. Увеличение толщины покрытия сверх определенной величины практически не повышает защитных свойств, а в некоторых случаях снижает прочность сцепления покрытия с основой, затрудняет сборку и повышает стоимость изделия.

На защитную способность также влияет технология нанесения покрытия. Среди технологических факторов, влияющих на защитную способность можно выделить:

- характер подготовки поверхности перед покрытием. Например, если плохо обезжиренная поверхность перед нанесением покрытия – возможно отслаивание покрытия и плохая прочность сцепления с основой;
- особенности нанесения (режимы осаждения);
- последующая обработка. Например, термообработка гальванических цинковых покрытий при температуре 400 – 500 °С в течение 10 – 20 минут позволяет повысить защитную способность в 2 раза в результате образования сплошного слоя железо-цинкового сплава.

Коррозионностойкие сплавы на основе железа. Железо стойко к коррозии лишь в растворах щелочей. Повышения стойкости добиваются с помощью легирования различными легирующими элементами.

Легированные чугуны. Кремнистые чугуны — это сплавы железа с кремнием (Fe – С – Si), содержащие 14 – 18 % кремния. Они имеют высокую коррозионную стойкость в агрессивных средах. Резкое увеличение коррозионной стойкости характерно именно для сплавов с содержанием кремния выше 14,5 %. Чугуны устойчивы в концентрированной азотной кислоте при кипении, в растворах фосфорной кислоты всех концентраций при любых температурах. В растворах фтористоводородной кислоты и концентрированных растворах щелочей защитная пленка не образуется и такие чугуны в этих средах разрушаются. Легирование молибденом (2 – 5 %) увеличивает стойкость чугунов в горячей серной и соляной кислотах. Основные области применения этих сплавов – изготовление различной запорной арматуры, центробежных насосов и аппаратуры для работы с агрессивными жидкостями.

Хромистые и никелевые чугуны обладают высокими механическими свойствами, так для Х28 предел прочности при изгибе 570 – 650 МПа, твердость по Бринеллю 220 – 270. Эти сплавы обладают удовлетворительными литейными свойствами. Добавки кремния (1 – 2 %) улучшают механическую обрабатываемость хромистых чугунов. Хромистые чугуны устойчивы в растворах азотной кислоты любой концентрации при нормальных температурах, в растворах серной (до 62 %), фосфорной (до 70 %), уксусной кислотах, в растворах солей, но в соляной кислоте они разрушаются. Применяются хромистые чугуны для изготовления химической аппаратуры, труб, деталей насосов и т. д. Характерной особенностью никелевых чугунов является их высокая коррозионная стойкость в расплавах солей и концентрированных растворах щелочей.

Легированные стали. Нержавеющей, или коррозионностойкой, сталью называют сталь, обладающую высокой химической стойкостью в агрессивных средах. Наиболее распространенные из этой группы — хромистые (13 – 30 % Cr), хромоникелевые (до 10 – 12 % Ni), хромоникельмолибденовые, хромоникельмарганцевые и другие стали. Механические свойства некоторых хромистых сталей приведены в таблице 1.8.

Таблица 1.8 – Механические свойства хромистых сталей

Марка стали	Предел прочности при растяжении, МПа	Относительное удлинение, %	Твердость по Бринеллю, НВ
-------------	--------------------------------------	----------------------------	---------------------------

20X13	400 – 450	25 – 38	140 – 160
40X13	850	15	480
08X17	500	27	175
15X28	600	25	180

Хромистые стали, содержащие 13 % *Cr*, при комнатной температуре устойчивы на воздухе в слабых растворах кислот и растворах солей (кроме хлоридов). Стали с содержанием *Cr* 17 – 20 % и 25 – 28 % еще более устойчивы в агрессивных средах и проявляют стойкость в горячих концентрированных растворах щелочей. Хромистые стали с содержанием $C < 0,01$ % (суперферриты) обладают высокой стойкостью против всех видов коррозии в горячих растворах хлоридов. Для изготовления паровой и водяной арматуры, применяют, как правило, мартенситные хромистые стали; для деталей бытовой техники и аппаратуры в пищевой промышленности – ферритные.

Хромоникелевые аустенитные стали стойки на воздухе, в растворах кислот и щелочей (при умеренных температурах), при контакте с пищевыми продуктами. Легирование хромоникелевых сталей *Mo* (2 – 3 %) повышает устойчивость против язвенной коррозии, легирование *Ti*, *Nb* и термическая обработка – против межкристаллитной коррозии. Стали, содержащие 28 – 32 % *Cr* и 40 – 45 % *Ni*, устойчивы против язвенной коррозии и коррозионного растрескивания. Применяют хромоникелевые сплавы для создания химических аппаратов и оборудования, в бытовой технике.

Хромоникельмолибденовые и *хромоникельмарганцевые* стали, легированные 6 % *Ni*, обладают стойкостью на воздухе, в окислительных и нейтральных средах. Используются для изготовления химической аппаратуры, емкостей, трубопроводов, оборудования для пищевой промышленности, в бытовых приборах и пр.

Медь и ее сплавы. Медь обладает высокой коррозионной стойкостью в атмосфере, растворах солей, пресной и морской воде при небольших скоростях ее движения, кислотах, не являющихся окислителями и ряде органических соединений.

Латуни более стойки в потоке морской воды, чем медь, поэтому широко применяются для изготовления деталей трубопроводов, арматуры и теплообменного оборудования.

Оловянные бронзы, содержащие 8 – 10 % *Sn*, стойки в растворах солей, разбавленных кислотах, ряде органических кислот; не подвергаются язвенной коррозии. Широко применяются для изготовления деталей узлов трения, арматуры, насосов и теплообменного оборудования.

Алюминиевые бронзы, отличаясь высокой прочностью, характеризуются коррозионной стойкостью в растворах солей, окислительных средах, потоке пресной и морской воды.

Кремнистые бронзы по коррозионным свойствам близки к алюминиевым бронзам.

Бериллиевая бронза – хороший материал для пружин и мембран, работающих в растворах солей.

Алюминий и его сплавы. Наибольшей стойкостью обладает чистый *Al*. Его коррозионная стойкость определяется свойствами защитной оксидной пленки. Сплавы *Al* с другими металлами весьма стойки на воздухе, в нейтральных и слабокислых растворах солей и слабых кислотах. Для высокопрочных сплавов *Al* возможно коррозионное растрескивание в растворах хлоридов. Стойкость *Al* и его сплавов снижается при контакте с *Cu*, *Fe*, *Ni*, *Ag*, *Pt*.

Титан и его сплавы. Коррозионная стойкость *Ti* и его сплавов определяется способностью пассивироваться в окислительных и нейтральных средах с образованием оксидной пленки. Они обладают высокой стойкостью к действию кислот и щелочей (до 20 %-ной концентрации). Отличительная особенность – высокая стойкость в растворах хлоридов до 110 – 120 °С. Стойкость сплавов в кислотах повышается легированием *Pd* и *Ni*, стойкость к растрескиванию – легированием *Mo* и *V*.

Никель и его сплавы. Никель пассивируется в окислительных средах, устойчив в растворах солей, 15 %-ной *HCl*, 70 %-ной *H₂SO₄*, ряде органических кислот. Часто входит в состав антикоррозионных покрытий. Сплавы *Ni*, например хастеллой, весьма стойки в кислотах, не являющихся окислителями. Никель и его сплавы – основные конструкционные материалы в процессах с участием фтора и неорганических фторидов. Используют в химической, пищевой промышленности, энергетике.

1.4 Хладостойкие стали и сплавы

По хладостойкости металлические материалы, используемые при низких температурах, условно могут быть разбиты на *четыре основные группы*.

1. Металлы и сплавы, а также неметаллические материалы, характеристики механических свойств которых позволяют использовать их при температурах до –60 °С (213 К), т. е. при низких климатических температурах, для изготовления изделий так называемого северного исполнения. К этой группе относятся качественные углеродистые и низколегированные стали ферритного и ферритно-перлитного классов.

2. Ко второй группе относятся сплавы, сохраняющие вязкость и пластичность при охлаждении до –100 °С (173 К). Это стали с 0,2 – 0,3 % *C*, дополнительно легированные *Ni*, *Cr*, *Ti*, *Mo*. К этой группе относятся, например, низкоуглеродистые ферритные стали с 2 – 5 % *Ni*, используемые при температурах –60... –120 °С (210 – 150 К).

3. К третьей группе относятся сплавы, способные без ухудшения свойств выдерживать температуры до –196°С (77 К) (температура кипения жидкого азота). Сюда относятся стали типа 12Х18Н10Т, 0Н9А, большинство сплавов на основе *Al*, *Ti*, *Cu*, не обнаруживающих склонности к хрупкому разрушению. Для ненагруженных конструкций с целью экономии *Ni* применяют *Cr-Mn*- и *Cr-Ni-Mn* стали типа 10Х14Г14Н4Т, 03Х13АГ19, 07Х21Г7АН5.

4. К четвертой группе относятся сплавы, работающие при температуре ниже $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ (77 K). К этой группе принадлежат материалы, используемые в космической технике, производстве и потреблении жидкого водорода, экспериментальной физике. Для работы при таких температурах пригодны лишь высоколегированные коррозионностойкие стали типа 03X20H16AG6, 10X11H23T3MP (ЭП33), некоторые бронзы, никелевые сплавы, алюминиевые сплавы, легированные магнием, и сплавы титана.

Хладостойкие стали. Эффективными мерами снижения порога хладноломкости и повышения надежности работы являются уменьшение содержания углерода, создание мелкозернистой структуры (размер зерен $10 - 20\text{ мкм}$), понижение содержания вредных примесей и их нейтрализация добавками редкоземельных металлов, а также ванадия, ниобия, титана, легирование никелем и применение термического улучшения.

Стали обыкновенного качества применяют для разнообразных изделий, включая сосуды, работающие под давлением. Минимальная рабочая температура этих сталей без специальной обработки для низкотемпературной службы ограничивается $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, а у кипящих сталей находится в пределах от 0 до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Комплексом мер, включающих улучшение металлургического качества, измельчение зерна и микролегирование, удается снизить допустимую температуру эксплуатации этих дешевых сталей до $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для крупных конструкций используют свариваемые низкоуглеродистые стали повышенной прочности 09Г2С, 14Г2АФ и др. Кроме низкоуглеродистых используют среднеуглеродистые улучшаемые и пружинные стали (45, 40Х, 65Г, 60С2А). Для них установлена минимальная рабочая температура $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Никелевые стали 0Н6 и 0Н9 содержат $< 0,1\text{ \% C}$ и по хладостойкости приближаются к аустенитным. Оптимальные свойства никелевых сталей обеспечивают термообработкой: двойной нормализацией при $930\text{ }^{\circ}\text{C}$, а затем при $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ с последующим отпуском при $570 - 590\text{ }^{\circ}\text{C}$ или закалкой от $830\text{ }^{\circ}\text{C}$ и отпуском при $580\text{ }^{\circ}\text{C}$. Сталь 0Н6 используют до $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$, а 0Н9 – до $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. В структуре термически обработанной стали 0Н9 помимо феррита сохраняется $10 - 15\text{ \%}$ остаточного аустенита в виде тонких прослоек. Задачей термической обработки, а также дополнительного легирования марганцем ($1 - 2\text{ \%}$), молибденом ($\sim 0,4\text{ \%}$), ниобием, хромом, медью в разных сочетаниях является обеспечение устойчивости остаточного аустенита: он не должен превращаться в мартенсит ни при охлаждении, ни при деформировании сталей. Механические свойства термически обработанных листов толщиной $10 - 13\text{ мм}$ из низкоуглеродистых никелевых сталей при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ (числитель) и $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ (знаменатель) приведены в таблице 1.9.

По сравнению с аустенитными сталями никелевые стали прочнее, у них вполне удовлетворительная ударная вязкость, в $3 - 4$ раза лучше теплопроводность, а термическое расширение на 30 \% меньше, чем у аустенитных сталей. Никелевые стали хорошо свариваются, их сварные соединения не нуждаются в термической обработке.

Таблице 1.9 –Механические свойства термически обработанных никелевых сталей

Параметр	Марка	
	0Н6	0Н9
Предел прочности, МПа	630/850	690/1000
Предел текучести, МПа	470/700	550/850
Ударная вязкость МДж/м ²	1,5/0,3÷0,4	1,8/1,0
Относительное удлинение, %	25/30	35/25

Аустенитные стали сохраняют высокую пластичность до $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. Стабильность аустенита обеспечивают повышением содержания аустенитообразующих элементов (*Ni, N, Mn*) свыше 15 %. Недостаток аустенитных сталей – низкий предел текучести. Наряду с 12X18H10T применяют более прочные хромомарганцевые стали (03X13AГ19) и специальные дисперсионно-твердеющие стали (10X11H23ТЗМР, 10X11H20ТЗР).

В криогенной технике аустенитные стали 12X18H10ТЛ, 10X14П4Н4ТЛ, 07X13AГ19Л применяют, несмотря на понижение вязкости из-за фазового превращения части аустенита в мартенсит. Аустенитные литейные стали 08X8Г28Л и 07X8Г28НЗФЛ сохраняют структуру аустенита при охлаждении до $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$. Литейные аустенитные стали используют для отливки корпусов вентиля и другой арматуры систем перекачки и транспортировки сжиженных газов.

Хладостойкие сплавы. *Алюминий и его* сплавы, не имея порога хладноломкости, остаются вязкими при $-253... -269\text{ }^{\circ}\text{C}$. При охлаждении $\sigma_{\text{в}}$ у них повышается на 35 – 60 %, $\sigma_{0,2}$ – на 15 – 25 %, а ударная вязкость монотонно уменьшается до 0,2 – 0,5 МДж/м². Из-за большого теплового расширения (значительной теплопроводности) алюминия при жестком закреплении элементов конструкций в них неизбежны значительные термические напряжения. Для их уменьшения применяют компенсаторы деформации. Наибольшее применение в технике низких температур нашли сплавы алюминия с магнием – магналии – благодаря удачному сочетанию в них прочности, пластичности, свариваемости, коррозионной стойкости. Из магналиев как за рубежом, так и в СНГ предпочтение отдается сплаву АМг5. Для несвариваемых изделий, работающих при температурах до $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$, применяют термически упрочняемые сплавы Д16, АК6, АК8, а также литейные сплавы.

Титан и его сплавы не охрупчиваются при температурах от -196 до $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$) и из-за большой удельной прочности используются в космической технике. Широко применяют технически чистый титан и его однофазные сплавы ВТ5-1, ОТ4. Они пластичны, легко свариваются и после сварки не требуется термическая обработка соединений. Более прочные, но менее пластичные сплавы ВТ3-1 и ВТ6 с двухфазной структурой применяют при температурах до $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. Эти сплавы свариваются хуже, чем однофазные, и для их сварных соединений необходим отжиг.

Медь и ее сплавы пластичны, не имеют порога хладноломкости. Кроме того, вязкость разрушения у них при охлаждении повышается.

Технически чистую медь используют в установках разделения газов для изготовления различных трубчатых конструкций. Листовую медь используют для изготовления внутренних емкостей и экранов сосудов Дьюара, в которых хранятся и транспортируются жидкие газы, для изготовления обечаек ректификационных колонн жидкого воздуха.

Широкое применение в холодильном и криогенном машиностроении находят сплавы меди – латуни марок Л63, Л68, ЛС59-1, ЛЖМц59-1-1, ЛК80-3 и бронзы марок БрАЖМц10-3-1,5, БрКМц3-1, БрБ2.

Латунь Л68 применяют для изготовления различных трубопроводов, сеток, прокладок, работающих при температурах $+247... -272^{\circ}\text{C}$ (520 – 20 К).

Латунь марки ЛС59-1 применяется для изготовления различных крепежных изделий, работающих в интервале температур $+247... -272^{\circ}\text{C}$ (520 – 20 К). Для более ответственных крепежных деталей в этом же температурном диапазоне применяют латунь марки ЛЖМц59-1-1.

Из литейной латуни ЛК80-3 изготавливается арматура, корпуса трубопроводов и другие литые детали, работающие при температурах $+247... -272^{\circ}\text{C}$ (520 – 20 К).

Бронза марки БрАЖМц10-3-1,5 применяется для изготовления втулок, шестерен, вентилях, деталей клапанной арматуры, эксплуатируемых при температурах $+247... -272^{\circ}\text{C}$ (520 – 20 К).

Наибольшую прочность имеют меднобериллиевые сплавы, временное сопротивление которых в термообработанном состоянии более 1000 МПа при удовлетворительной вязкости и пластичности при низких температурах. Поэтому бронза БрБ2, сочетающая высокую прочность с высокой релаксационной стойкостью, нашла применение для изготовления пружинящих элементов криогенной арматуры, поскольку они хорошо работают вплоть до -270°C (4 К).

1.5 Жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы

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

Современные ТЭЦ используют пар, нагретый до $500 - 560^{\circ}\text{C}$, а в некоторых случаях – до 650°C . Стационарные газовые турбины и воздухонагреватели работают при температуре более 700°C . Наиболее высокие рабочие температуры в авиационных двигателях и химических установках достигают 1100°C и более.

Жаростойкие стали. Жаростойкостью или окалиностойкостью называется способность металла сопротивляться химической коррозии в сухой газовой среде при высоких температурах.

Железо при взаимодействии с кислородом может образовать оксиды трех видов: FeO , Fe_3O_4 , Fe_2O_3 . До 560 – 600 °С окалина состоит преимущественно из плотного слоя оксидов Fe_2O_3 и Fe_3O_4 , что затрудняет диффузию атомов кислорода и металла. Выше 600°С происходит растрескивание этих оксидов и вместо них защита металла осуществляется лишь рыхлым оксидом FeO , что облегчает доступ кислорода к поверхности металла. Нагрев более 600 °С приводит к интенсивному окислению сплавов на основе железа.

Жаростойкие стали подразделяются на несколько групп:

- хромистые стали ферритного класса;
- хромкремнистые стали мартенситного класса;
- хромоникелевые стали аустенитно-ферритного класса;
- хромоникелевые аустенитные стали.

Хромистые стали ферритного класса: 15Х25Т, 15Х28. Могут применяться для изготовления сварных конструкций, не подвергающихся действию ударных нагрузок при температуре эксплуатации не ниже минус 20 °С; для изготовления труб для теплообменной аппаратуры, работающей в агрессивных средах; аппаратуры, деталей, чехлов термопар. Жаростойкость – до 1100 °С.

Хромкремнистые стали мартенситного класса: 40Х10С2М. Применяются для изготовления клапанов авиационных двигателей, автомобильных и тракторных дизельных двигателей, крепёжные детали двигателей.

Хромоникелевые стали аустенитно-ферритного класса: 20Х23Н13. Применяются для изготовления деталей, работающих при высоких температурах в слабонагруженном состоянии. Жаростойкость до 900 – 1000 °С.

Хромоникелевые аустенитные стали: 10Х23Н18, 20Х25Н20С2. Применяются для изготовления листовых деталей, труб, арматуры (при пониженных нагрузках), а также деталей печей, работающих при температурах до 1000 – 1100 °С в воздушной и углеводородной атмосферах.

Жаропрочные стали. Жаропрочность – это способность стали работать под напряжением в условиях повышенных температур без заметной остаточной деформации и разрушения. Основными характеристиками жаропрочности являются ползучесть и длительная прочность. Различают следующие виды жаропрочных конструкционных сталей.

1. Перлитные стали. Стали перлитного класса используют для изготовления крепежа, труб, паропроводов, пароперегревателей и коллекторов энергетических установок, длительно работающих при температурах 500 – 550 °С. Перлитные стали содержат относительно малые количества углерода и обычно легированы хромом, молибденом и ванадием (марки 12ХМ, 12Х1МФ). Стали этого класса используют в закаленном или нормализованном и отпущенном состоянии.

2. Мартенситные стали. Стали мартенситного класса используют для изготовления деталей энергетического оборудования (лопатки, диафрагмы, турбинные диски, роторы), длительно работающих при температурах 600 – 620 °С. Стали более значительно легированы хромом, а также вольфрамом, молибденом, ванадием (марки 15Х11МФ, 15Х12ВНМФ). Высокая

жаропрочность этих сталей достигается при закалке от 1000 – 1050 °С в масле на мартенсит с последующим отпуском на сорбит или троостит.

Клапаны выхлопа двигателей внутреннего сгорания небольшой и средней мощности изготавливают из силхромов – хромокремнистых сталей мартенситного класса типа 40X9C2, 40X10C2M. Клапаны более мощных двигателей изготавливают из аустенитных сталей.

3. Аустенитные стали. Из этих сталей изготавливают роторы, диски, лопатки газовых турбин, клапаны дизельных двигателей, работающие при температурах 600 – 700 °С. Хромоникелевые аустенитные стали для увеличения жаропрочности дополнительно легируют вольфрамом, молибденом, ванадием, ниобием, бором и другими элементами. К жаропрочным сталям аустенитного класса относятся стали 09X14H16B, 09X14H19B2BP, 45X14H14B2M.

Термообработка этих сталей состоит из закалки и старения при температурах выше эксплуатационных. При старении происходит выделение из аустенита мелкодисперсных избыточных фаз, что дополнительно увеличивает сопротивление стали ползучести. В таблице 1.10 приведены основные свойства некоторых жаропрочных сталей.

Таблица 1.10 – Свойства жаропрочных сталей (ГОСТ 5632-72)

Материал		Средняя доля легирующих элементов, %	Температура, °С		Жаропрочные свойства		
Марка	Группа		Максимальная рабочая	Начала активного окисления	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	Температура испытания, °С
12X1MФ	Перлитные стали	0,12 C; 1,0 Cr; 0,3 Mo; 0,2 V	570 - 585	600	140	84	560
25X2M1Ф		0,25 C; 2,3 Cr; 1,0 Mo; 0,4 V	520 - 550	600	160 - 220	70	550
15X5M	Мартенситные стали	До 0,15 C; 5,2 Cr; 0,5 Mo	600	650	100	40	540
12X18H10T	Аустенитные стали	До 0,12 C; 18 Cr; 10 Ni; 0,5 Ti	600	850	80 - 100	30 - 40	660
10X11H20T3P		До 0,10 C; 11 Cr; 20 Ni; 2,6 Ti; 0,02 B	700	850	400	–	700

Более высокие рабочие температуры (до 1000 – 1100 °С и более) выдерживают так называемые суперсплавы, выплавленные на основе элементов VIII группы периодической системы – никелевые, кобальтовые, железоникелевые сплавы. Их применяют при изготовлении газотурбинных двигателей для аэрокосмических и промышленных энергоустановок. Для работы при еще более высоких температурах применяют тугоплавкие металлы и керамические материалы.

Жаростойкие и жаропрочные сплавы. Легкие сплавы на основе алюминия, магния и титана имеют худшую жаропрочность по сравнению со сталями (таблица 1.11).

Таблица 1.11 – Жаропрочность сплавов на основе алюминия, магния, титана

Сплав	Массовая доля легирующего элемента, %	Температура, °С		σ_{100} , МПа
		применения (рекомендуемая)	испытания	
На основе Al				
Д20	6,3 Cu; 0,6 Mn; 0,15 Ti	250-300	300	80
САП-1	6–9 Al ₂ O ₃	300-500	500	45
АЛ33	5,8 Cu; 0,8 Mn; 1,0 Ni; 0,2 Zr; 0,2 Ce	250-300	300	95
На основе Mg				
МА12	2,5-3 Nd; 0,5 Zr	150-200	200	100
МА19	1,6-2,3 Nd; 0,6 Zn; 0,7 Zr; 1,7 Y	250-300	300	50
На основе Ti				
BT8	6,5 Al; 3,3 Mo; 0,3 Si	450-500	500	500
BT9	6,5 Al; 3,3 Mo; 0,25 Si; 1,6 Zr	500-550	550	400
BT18	7,5Al; 11Zr; 0,7Mo; 1 Nb; 0,3 Si	550-600	600	200

1.6 Виды трения и изнашивания. Износостойкость. Механизм

В современной механике под трением понимают широкий круг явлений, вызываемых взаимодействием соприкасающихся поверхностей твердых тел при относительном перемещении, а также внутренним движением в твердых, жидких и газообразных средах при их деформации.

Различают следующие **виды трения**:

- 1) по наличию относительного движения – трение покоя и трение движения;
- 2) по характеру относительного движения – трение скольжения и трение качения;
- 3) по наличию смазочного материала – трение жидкостное, при котором трущиеся поверхности полностью разделены слоем смазки; трение сухое, возникающее в отсутствие смазки между поверхностями; трение граничное, при котором трущиеся поверхности разделены тончайшим слоем смазки толщиной от 0,1 до 1 мкм и находятся под действием молекулярных сил этих поверхностей; трение смешанное, сочетающее условия сухого, граничного и жидкостного трения.

Изнашивание – процесс отделения материала с поверхности твердого тела при трении и (или) накопления остаточной деформации, проявляющейся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела. Установлено несколько **видов изнашивания**: механическое (абразивное, гидроабразивное, эрозионное, кавитационное, усталостное, изнашивание при заедании, изнашивание при фреттинге), коррозионно-механическое и электроэрозионное изнашивание.

Основные понятия.

Износ – это результат изнашивания, определяемый в установленных единицах. В общий износ механизмов свой вносят вклад все виды трения и изнашивания

Интенсивность изнашивания – отношение износа детали к пути трения или объему выполненной работы.

Скорость изнашивания – отношение износа детали к времени, в течение которого происходило изнашивание.

Износостойкость – величина, обратная интенсивности или скорости изнашивания.

Элементарные виды разрушения поверхностей трения:

Микрорезание. При внедрении на достаточную глубину твердая частица абразива или продукта износа может произвести микрорезание материала с образованием микростружки.

Царапание (пластическое отеснение). Вдавлившийся участок поверхности или частица при скольжении отесняет перед собой и в стороны и подминает под себя материал, оставляя царапину. Повторное царапание по одной траектории с одной и той же интенсивностью в парах трения практически исключено, чаще происходит царапание, при котором зона пластического отеснения перекрывает ранее образовавшуюся царапину. Поверхность трения покрывается царапинами, расположенными почти параллельно пути скольжения, а между царапинами располагается материал, претерпевший многократную пластическую деформацию, наклепанный и исчерпавший способность пластически деформироваться. При нагружении на таком участке этот материал отделяется.

Отслаивание. Материал при пластическом течении может отесняться в сторону от поверхности трения и после исчерпания способности к дальнейшему течению отслаиваться.

Выкрашивание – это образование в условиях качения характерных, произвольной формы, язвенок с рваными краями. Могут выкрашиваться: твердые структурные составляющие сплава после того, как износится его мягкая основа; твердые окисные пленки (на железоуглеродистых и алюминиевых сплавах); частицы металлизационного покрытия и др.

Необходимо отметить, что трещинообразование является составной частью процесса выкрашивания, а также отслаивания.

Глубинное вырывание возникает при относительном движении сцепившихся тел, когда образовавшийся вследствие молекулярного взаимодействия спай прочнее одного или обоих материалов. Разрушение происходит в глубине одного из тел.

1.7 Износостойкие стали и сплавы. Антифрикционные и фрикционные материалы

В зависимости от механических и фрикционных свойств износостойкие материалы подразделяют на три группы:

1. Материалы с высокой твердостью поверхности;
2. Антифрикционные материалы, имеющие низкий коэффициент трения скольжения;
3. Фрикционные материалы, имеющие высокий коэффициент трения скольжения.

1.7.1 Материалы с высокой твердостью поверхности.

Высокая твердость поверхности – необходимое условие обеспечения износостойкости при большинстве видов изнашивания. Известно, что износостойкость при абразивном изнашивании чистых металлов пропорциональна их твердости. В сплавах эта зависимость может не соблюдаться.

При абразивном изнашивании наибольшей износостойкостью обладают материалы, структура которых состоит из частиц твердой карбидной фазы и удерживающей их высокопрочной матрицы. Такую структуру имеет большая группа сталей и сплавов.

Карбидные сплавы применяют при наиболее тяжелых условиях работы в виде литых и наплавочных материалов. Для наплавки на поверхность деталей используют прутки из этих сплавов, которые нагревают ацетиленокислородным пламенем или электрической дугой.

Структуру матричной фазы регулируют введением марганца или никеля. Она может быть мартенситной, аустенитно-мартенситной и аустенитной.

Для деталей, работающих без ударных нагрузок, применяют сплавы с мартенситной структурой, к ним относятся сплавы типа 20X38, 320X23Г2С2Т. Детали, работающие при значительных ударных нагрузках (зубья ковшей экскаваторов, пики отбойных молотков и др.), изготавливают из сплавов повышенным содержанием марганца с аустенитно-мартенситной (370X7Г7С) или аустенитной (110Г13, 300Г34) матрицей.

Сталь Гадфильда является одним из лучших износостойких материалов. Это высокомарганцовистая сталь, содержащая от 11,5 до 15% *Mn*; 0,95 – 1,5 % *C*; 0,3 – 1,0% *Si*; $\leq 0,04\%$ *S*; $\leq 0,12\%$ *P*. Эта сталь хорошо работает в условиях жесткого ударно абразивного износа. Твердость при этом возрастает с 200 НВ до 550 – 600 НВ. При содержании фосфора более 0,05 % она сильно охрупчивается. Сталь имеет механические свойства: $\sigma_b = 600 - 800$ МПа; δ и $\Psi = 25 - 30$ %; $KCU = 2500$ кДж/м², НВ 200 после аустенизации.

Для деталей машин, работающих при средних условиях изнашивания, применяют высокоуглеродистые стали типа X12, X12M, P18, P6M5 со структурой мартенсит+ карбиды, иногда применяют твердые сплавы, структура которых состоит из специальных карбидов (*WC*, *TiC*, *TaC*), связанных кобальтом. Эти материалы относятся к инструментальным.

Низко- и среднеуглеродистые стали с различными видами поверхностного упрочнения, и чугуны применяют для более легких условий изнашивания. В частности, для деталей, работающих в условиях граничной смазки (гильзы цилиндров, коленчатые валы, поршневые кольца и пр.), где абразивное изнашивание сопутствует другим его видам, например окислительному.

1.7.2 Антифрикционные материалы.

Антифрикционные материалы предназначены для изготовления

подшипников (опор) скольжения, которые широко применяют в современных машинах и приборах из-за их устойчивости к вибрациям, бесшумности работы, небольших габаритов.

Основные служебные свойства подшипникового материала – антифрикционность и сопротивление усталости. Антифрикционность – это способность материала обеспечивать низкий коэффициент трения скольжения и тем самым низкие потери на трение и малую скорость изнашивания сопряженной детали – стального или чугунного вала.

Критериями для оценки подшипникового материала служат коэффициент трения и допустимые нагрузочно-скоростные характеристики: давление p , действующее на опору, скорость скольжения v , параметр pv , определяющий удельную мощность трения. Допустимое значение параметра pv тем больше, чем выше способность материала снижать температуру нагрева и нагруженность контакта, сохранять граничную смазку.

Для подшипников скольжения используют *металлические материалы, неметаллы, комбинированные материалы и минералы* (полу- и драгоценные камни). Выбор материала зависит от режима смазки в условиях работы опор скольжения.

Металлические материалы предназначены для работы в режиме жидкостного трения, сочетающемся в реальных условиях эксплуатации с режимом граничной смазки. Из-за перегрева возможно разрушение граничной масляной пленки. Поведение материала в этот период работы зависит от его сопротивляемости схватыванию. Оно наиболее высоко у сплавов, имеющих в структуре мягкую составляющую.

Металлические материалы по своей структуре подразделяются на два типа сплавов (согласно принципу Шарпи, т.е. правилу расположения в сплаве структурных фаз, обеспечивающих высокие антифрикционные и износостойкие свойства сплава, а также его прочность, вязкость и другие свойства):

- 1) сплавы с мягкой матрицей и твердыми включениями;
- 2) сплавы с твердой матрицей и мягкими включениями.

К сплавам первого типа относятся баббиты и сплавы на основе меди – бронзы и латуни. Баббиты – мягкие (30 НВ) антифрикционные сплавы на оловянной или свинцовой основе. В соответствии с ГОСТ 1320-74 к сплавам на оловянной основе относятся баббиты Б83 (83 % Sn , 11 % Sb , 6 % Cu) и Б88, на свинцовой основе – Б16 (16 % Sn , 16 % Sb , 2 % Cu), БС6 и БН. Особую группу образуют более дешевые свинцово-кальциевые баббиты: БКА и БК2 (ГОСТ 1209-90).

По антифрикционным свойствам баббиты превосходят все остальные сплавы, но значительно уступают им по сопротивлению усталости. В связи с этим баббиты применяют только для тонкого (менее 1 мм) покрытия рабочей поверхности опоры скольжения. Наилучшими свойствами обладают оловянистые баббиты, у которых $pv = 50...70$ МПа \times м/с. Из-за высокого содержания дорогостоящего олова их используют для подшипников ответственного назначения (дизелей, паровых турбин и т.п.), работающих при больших скоростях и нагрузках (таблица 1.12). Структура этих сплавов состоит

из твердого раствора сурьмы в олове (мягкая фаза) и твердых включений β ($SnSb$) и Cu_3Sn .

Бронзы относятся к лучшим антифрикционным материалам. Особое место среди них занимают оловянистые и оловянисто-цинковосвинцовистые бронзы. К первым относятся бронзы БрО10Ф1, БрО10Ц2, ко вторым – БрО5Ц5С5, БрО6Ц6С3 (ГОСТ 613-79). Бронзы применяют для монолитных подшипников скольжения турбин, электродвигателей, компрессоров, работающих при значительных давлениях и средних скоростях скольжения.

Латуни применяют в качестве заменителей бронз для опор трения. Однако по антифрикционным свойствам они уступают бронзам. Двухфазные латуни ЛЦ16К4, ЛЦ38Мц2С2, ЛЦ40Мц3А и т.д. (ГОСТ 17711-93) применяют при малых скоростях скольжения (< 2 м/с) и невысоких нагрузках. Их часто используют для опор трения приборов.

К сплавам второго типа относятся свинцовистая бронза БрС30, 30 % РВ (ГОСТ 493-79), и алюминиевые сплавы с оловом, например сплав А09-2 (9 % Sn, 2 % Cu). Функцию мягкой составляющей в этих сплавах выполняют включения свинца или олова. При граничном трении на поверхность вала переносится тонкая пленка этих мягких легкоплавких металлов, защищая шейку стального вала от повреждения.

Антифрикционные свойства сплавов достаточно высокие, особенно у алюминиевых сплавов. Из-за хорошей теплопроводности граничный слой смазочного материала на этих сплавах сохраняется при больших скоростях скольжения и высоком давлении (см. таблицу 1.12).

К сплавам второго типа относятся также серые чугуны, роль мягкой составляющей в которых выполняют включения графита. Для работы при значительных давлениях и малых скоростях скольжения (см. таблицу 1.12) используют серые чугуны СЧ 15, СЧ 20 и легированные антифрикционные чугуны: серые АЧС-1, АЧС-2, АЧС-3; высокопрочные – АЧВ-1, АЧВ-2; ковкие АЧК-1, АЧК-2 (ГОСТ 1585-85). С целью уменьшения износа сопряженной детали марку чугуна выбирают так, чтобы его твердость была ниже твердости стальной цапфы. Достоинство чугунов – невысокая стоимость; недостатки – плохая прирабатываемость, чувствительность к недостаточности смазочного материала и пониженная стойкость к воздействию ударной нагрузки.

В настоящее время наибольшее распространение получили многослойные подшипники, в состав которых, входят многие из рассмотренных выше сплавов. Сплавы или чистые металлы в них уложены слоями, каждый из которых имеет определенное назначение.

Таблица 1.12 – Характеристика антифрикционных материалов

Материалы	НВ	Коэффициент трения по стали		Допустимый режим		
		без смазочного материала	со смазочным материалом	p , МПа	v , м/с	pv , МПа×м/с
Баббиты:						
Б83	300	0,07-0,12	0,004-0,006	15	60	75
Б18	300			10	30	3
БК2	320			15	16	6

Бронзы:						
БрО10Ф1	1000	0,1-0,2	0,004-0,009	15	10	15
БрО5Ц5С5	600			8	3	12
БрС30	250			25	12	30
Латуни:						
ЛЦ16К4	1000	0,15-0,24	0,009-0,016	12	2	10
ЛЦ38Мц2С2	800			10,6	1	10
Алюминиевый сплав						
А09-2	310	0,1-0,15	0,008	25	20	100
Антифрикционные серые чугуны:						
АЧС-1	2200	0,12-0,23	0,008	2,6	5	10
АЧС-3	1600		0,015	6	0,75	45
Пластмассы:						
капрон	100	0,16-0,21	-	12	5	20
текстолит	360	0,16-0,25		15	8	26

Из **неметаллических материалов** для изготовления подшипников скольжения применяют терморезистивные и термопластичные пластмассы (более десять видов). Среди терморезистивных пластмасс используют текстолит. Из него изготавливают подшипники прокатных станков, гидравлических машин, гребных винтов. Такие подшипники могут работать в тяжелых условиях, смазываются водой, которая хорошо их охлаждает. Из полимеров наиболее широко применяют полиамиды (анид, капрон) и особенно фторопласт (Ф4, Ф40). Достоинства полимеров: низкий коэффициент трения, высокая износостойкость и коррозионная стойкость.

Исключительно высокими антифрикционными свойствами обладает фторопласт, коэффициент трения которого без смазочного материала по стали составляет 0,04 – 0,06. Однако фторопласт «течет» под нагрузкой и, как все полимеры, плохо отводит теплоту. Его можно применять лишь при ограниченных нагрузках и скоростях. Высокие антифрикционные свойства фторопласта реализуют в комбинации с другими материалами, используя его в виде тонких пленок либо как наполнитель.

Из **комбинированных материалов**, которые состоят из нескольких металлов и неметаллов, имеющих благоприятные для работы подшипника свойства можно указать два их типа:

1. Самосмазывающиеся подшипники, полученные методом порошковой металлургии из материалов различной комбинации: железо – графит, железо – медь (2 – 3 %) – графит или бронза – графит. Такие подшипники работают при небольших скоростях скольжения (до 3 м/с), отсутствии ударных нагрузок и устанавливаются в труднодоступных для смазки местах.

2. Металлофторопластовые подшипники изготавливают из металлофторопластовой ленты (МФПл). Лента состоит из четырех слоев. Первый слой (прирабочный) выполнен из фторопласта, наполненного дисульфидом молибдена (25 %). Второй слой (~0,3 мм) – бронзофторопластовый. Он представляет собой слой пористой бронзы БрО10Ц2, полученный спеканием частиц порошка сферической формы. Поры в этом слое

заполнены смесью фторопласта с 20 % *Pb* (или фторопласта и дисульфида молибдена). Третий слой (0,1 мм) образован медью. Его назначение — обеспечить прочное сцепление бронзового пористого слоя с четвертым слоем — стальной основой. Толщина основы, которую изготавливают из стали 08кп, составляет 1 – 4 мм.

Металлофторопластовые подшипники имеют высокие антифрикционные свойства (в диапазоне 200...280 °С, $f = 0,03...0,1$; $p_v = 150$ МПа×м/с). Их используют в узлах трения, работающих без смазочного материала, хотя его введение оказывает благоприятное действие. Они могут работать в вакууме, жидких средах, не обладающих смазочным действием, а также при наличии абразивных частиц, которые легко «утапливаются» в мягкой составляющей материала. Такие подшипники применяют в машиностроительной, авиационной и других отраслях промышленности.

Минералы— естественные (агат) и искусственные (рубин, корунд) – или их заменители – ситаллы (стеклокристаллические материалы) применяют для миниатюрных подшипников скольжения – камневых опор. Камневые опоры используют в прецизионных приборах – часах, гироскопах, тахометрах и т.д. Главное достоинство – низкий и стабильный момент трения.

1.7.3 Фрикционные материалы

Фрикционные материалы, материалы, применяемые для изготовления деталей, работающих в условиях трения скольжения, и имеющие большой коэффициент трения. Они характеризуются высокой фрикционной теплостойкостью (т. е. способностью сохранять коэффициент трения и износоустойчивость в широком диапазоне температур), низкой способностью к адгезии (т.к. они не должны «прилипать» друг к другу), высокой теплопроводностью и теплоемкостью, хорошей устойчивостью против теплового удара, возникающего в результате интенсивного выделения тепла в процессе трения. К фрикционным материалам предъявляются также требования по коррозионной стойкости, прирабатываемости, технологичности, экономичности.

К металлическим фрикционным материалам относятся чугуны и стали некоторых марок. Для железнодорожных тормозных колодок, например, широко используется серый чугун. Чугуны не склонны к короблению, но при температурах свыше 400 – 600 °С их коэффициент трения резко снижается (это ограничивает температурные условия использования чугунов). Для фрикционных муфт гусеничных машин применяются пары трения из сталей 40, 45, 65Г и др. Существенный недостаток стальных пар трения – склонность к короблению и схватыванию при перегревах. В качестве фрикционные материалы металлы постепенно заменяются пластмассами.

Неметаллические материалы применяют при легких ($t_{пред} < 200$ °С, $p_{max} < 0,8$ МПа) и средних $t_{пред} = 400$ °С, $p_{max} = 1,5$ МПа) режимах трения. Из них преимущественно используют асбофрикционные материалы, состоящие из связующего (полимеры каучука), наполнители и специальных добавок.

Основным наполнителем является асбест, который придает материалу теплостойкость, повышает коэффициент трения и сопротивление схватыванию. К нему добавляют медь, алюминий, свинец, латунь в виде стружки или проволоки для повышения теплопроводности; графит для затруднения схватывания (этому же способствует свинец, который, расплавляясь, служит как бы жидким смазочным материалом); оксиды или соли металлов (ZnO , $BaSO_4$ и др.) для увеличения коэффициента трения. Один из лучших материалов этой группы – **ретинакс** (ФК-24А и ФК-16Л), который содержит 25 % фенолформальдегидной смолы, 40 % асбеста, 35 % барита, кусочки латуни и пластификатор. В паре со сталью ретинакс обеспечивает коэффициент трения 0,37 – 0,4. Его используют в тормозных механизмах самолетов, автомобилей и других машин.

Спеченные фрикционные материалы получили распространение в тяжело нагруженных тормозных устройствах и фрикционных муфтах, что определяется их высокими износоустойчивостью, коэффициентом трения, теплостойкостью, теплопроводностью и некоторыми др. свойствами. Проявлению хороших эксплуатационных свойств спеченных материалов в тяжёлых условиях работы способствуют входящие в их состав компоненты, одни из которых обеспечивают высокие износостойкость и коэффициент трения (карбиды и окислы металлов и т.д.), а другие – стабильность фрикционных свойств и отсутствие схватывания (графит, асбест барит, дисульфид молибдена и т.д.). Наиболее широко применяются спеченные материалы на медной и железной основе. Фрикционные материалы на медной основе, содержащие олово, графит, свинец и другие компоненты, при работе в масле имеют коэффициент трения от 0,08 до 0,12, а при сухом трении – от 0,17 до 0,25. Температурный предел их применения 300 °С. Фрикционные материалы на железной основе обладают по сравнению с материалами на медной основе большей прочностью, выдерживают большие удельные нагрузки и значительно более высокую температуру. Коэффициент трения для условий работы тормозов в зависимости от состава материала 0,2 – 0,4. В состав материала обычно входят медь, никель, хром, барит, асбест, графит, карбиды металлов и другие компоненты. Такие материалы допускают повышение температуры на поверхности трения до 1200 °С, что особенно важно в тормозных устройствах.

1.8 Алюминиевые и медные сплавы в торговом оборудовании

Алюминиевые сплавы. Промышленные алюминиевые сплавы делят на группы – деформируемые (применяемые в прессованном, катаном или кованом состояниях), литейные, получаемые методом порошковой металлургии и композиционные (таблица 1.13). Химический состав и свойства некоторых алюминиевых сплавов представлены в таблице 1.14. Сплавы алюминия в большом объеме используются в строительстве в виде облицовочных панелей, дверей, оконных рам, различные профили идут на изготовление перегородок, фасадных систем, сантехнических кабин, для торгового оборудования.

Деформируемые алюминиевые сплавы. Все деформируемые сплавы по способности упрочняться термической обработкой подразделяют на неупрочняемые и упрочняемые термической обработкой. К деформируемым сплавам, неупрочняемым термической обработкой, относят сплавы систем *Al-Mn* (АМц) и *Al-Mg* (АМг1, АМг2, АМг3, АМг4, АМг5, АМг6). Указанные сплавы характеризуются сравнительно невысокой прочностью (например, сплав АМц в нагартованном состоянии имеет предел прочности 220 МПа, а в отожженном состоянии только 130 МПа) и высокой пластичностью. Это определяет области их использования – главным образом для изделий, получаемых глубокой вытяжкой.

К деформируемым сплавам, упрочняемым термической обработкой, относят дуралюмины (Д1, Д16 и др.), высокопрочные (В95, В96), ковочные (АК6, АК8), сплавы пониженной плотности (ВАД23, 01420).

Наиболее распространёнными деформируемыми алюминиевыми сплавами являются дуралюмины. Они содержат (%): 2,5 – 5 *Cu*, 0,4 – 1,8 *Mg*, 0,4 – 0,9 *Mn*. Медь и магний вводят для упрочнения, марганец усиливает упрочняющий эффект и повышает коррозионную стойкость. Наибольшее упрочнение достигается после закалки и старения.

Дуралюмин марки Д1 подвергается закалке с температуры 495 – 510 °С и естественному старению в течение 96 ч.; дуралюмин марки Д16 – закалке от температуры 485 – 503 °С и естественному старению в течение 96 ч. Или искусственному старению при температуре 185 – 195 °С в течение 68 ч.

Дуралюмины обладают пониженной коррозионной стойкостью. Для повышения коррозионной стойкости листы дуралюмина лакируют, т.е. покрывают слоем чистого алюминия и проводят совместную прокатку листов.

Таблица 1.13 – Классификация алюминиевых сплавов

Технология получения и обработки	Основные характеристики группы сплавов	Основные химические элементы и компоненты сплавов	Примеры сплавов
Деформируемые	Коррозионностойкие, повышенной пластичности	Al — Mn Al — Mg Al — Mg — Si	АМц АМг, АВ, АД31, АД33
	Пластичные при комнатной температуре	Al — Cu — Mg	Д18, В65
	Среднепрочные	Al — Cu — Mg	Д1, Д16

	Высокопрочные	Al — Zn — Mg — Cu	B95, B96Ц1
	Малой плотности, высокомодульные	Al — Mg — Li — Zr	1420
	Ковочные, пластичные при повышенной температуре	Al — Mg — Si — Cu	AK6, AK8
	Жаропрочные	Al — Cu — Mg — Fe — Ni Al — Cu — Mn	AK4-1 Д20, Д21
Спеченные	Жаропрочные	Al — Al ₂ O ₃ Al — Cu — Mg — Al ₂ O ₃ Al — Cr — Zr	САП-1, САП-2 СПАК-4 01419
	Высокомодульные с пониженной плотностью	Al — Mg — Li — Zr	01429
	Сплавы с низким коэффициентом линейного расширения	Al — Si — Ni Al — Si — Fe	САС1-50 САС-2
	Высокопрочные	Al — Zn — Mg — Cu	ПВ90
Литейные	Герметичные	Al — Si Al — Si — Mg Al — Si — Cu — Mg	АЛ2, АЛ4, АЛ9 АЛ34 АЛ4М, АЛ32
	Высокопрочные и жаропрочные	Al — Cu — Mn Al — Cu — Mn — Ni Al — Si — Si — Mg	АЛ19 АЛ33 АЛ3, АЛ5
	Коррозионностойкие	Al — Mg Al — Mg — Zn	АЛ8, АЛ27 АЛ24
Композиционные	Волокнистые: армированные борным волокном (Б. В.)	АД1 — Б.В. АД33 — Б.В.	ВКА-1 ВКА-2
	Сплавы, армированные стальной проволокой	Матрица: АД1, АВ; проволока 18Х15Н5АМ3	КАС-1, КАС-1А

Таблица 1.14 – Химический состав (%) и свойства некоторых алюминиевых сплавов

Марка сплава	Содержание элементов				Термическая обработка	Механические свойства		
	Cu	Mg	Mn	Прочие		$\sigma_{в}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
Деформируемые сплавы, неупрочняемые термической обработкой								
АМц	0,1	0,2	1,0-1,6	-	Отжиг	130	50	20
АМг2	0,1	1,8-2,0	0,2-0,6	-	Тоже	190	100	23
АМг5	0,1	5,8-6,8	0,5-0,8	0,02 Ti 0,002-0,005 Be	Тоже	340	170	20

Деформируемые сплавы, упрочняемые термической обработкой								
Д1	3,8-4,8	0,4-0,8	0,4-0,8	-	Закалка + старение	400	240	20
Д16	3,8-4,9	1,2-1,8	0,3-0,9	-	Тоже	440	330	18
В95	1,4-2,0	1,8-2,8	0,2-0,6	0,01-0,25 Cr 5,0-7,0 Zn	Тоже	540	470	10
В96	2,0-2,6	2,3-3,0	0,3-0,8	8-9 Zn	Тоже	750	720	7
АК6	1,8-2,6	0,4-0,8	0,4-0,8	0,7-1, 2Si	Тоже	400	300	12
ВАД23	4,8-5,8	<0,05	0,4-0,8	0,9-1,4 Li 0,1-0,25 Cd	Тоже	450	280	20
01420	-	5,0-6,0	-	1,0-2,3 Li 0,09-0,15 Zr	Тоже	420	270	5
Литейные сплавы								
АК12 (АЛ2)	-	-	-	10-13 Si	Литьё в землю Литьё в кокиль	180 220	80 90	6 5
АК9 (АЛ4)	-	0,17-0,30	0,2-0,5	8-10,5 Si	Литьё в землю + закалка и старение	260	200	4
АМ5 (АЛ 19)	4,5-5,5	-	0,6-1,0	0,15-0,35 Ti	Тоже	300	250	3

Деформируемые алюминиевые сплавы на *Al-Zn-Mg-Cu* основе (типа В95, В96) имеют наиболее высокую прочность среди всех алюминиевых сплавов ($\sigma_B = 500 - 750$ МПа), но невысокую пластичность ($\delta = 7 - 10$ %). Эффект старения достигается за счет выделения дисперсных фаз М ($MgZn_2$) и Т ($AlZnMg$). При высоком содержании цинка медь не участвует в старении, а сохраняется в твердом растворе, повышая относительное удлинение и коррозионную стойкость. С целью снижения плотности (что очень важно в самолето- и ракетостроении) разработаны сплавы систем *Al-Cu-Li* (ВАД23) и *Al-Mg-Li* (01420), близкие по прочности к дуралюминам.

Ковочные алюминиевые сплавы – АК1, АК6, АК8, АК4 подвергают закалке и старению: АК1 – естественному, остальные – искусственному при $150 - 165$ °С, 4 – 12 ч.

Литейные алюминиевые сплавы. Наиболее высокие литейные свойства имеют сплавы эвтектического состава. Самыми распространёнными в связи с этим являются литейные сплавы с высоким содержанием кремния (более 5 %), называемые силуминами. Силумин марки АК12 (АЛ2) содержит 10 – 13 % кремния. Прочность силумина невелика ($\sigma_B = 180$ МПа, $\sigma_{0,2} = 80$ МПа). При более высоких требованиях к прочностным свойствам применяют доэвтектические силумины с 4 – 10 % Si и добавками небольших количеств Zn, Cu, Mg, Mn и др. (АЛ4, АЛ9, АЛ34). Предел прочности АЛ34 достигает $\sigma_B = 360$ МПа.

Силумины отличаются не только высокими литейными свойствами, а изготовленные из них отливки – высокой герметичностью. Двойные сплавы

системы Al-Si (АЛ2) не упрочняются термической обработкой; единственным способом повышения механических свойств является модифицирование. Легированные силумины подвергаются закалке и старению, закалке или стабилизирующему отпуску.

Силумины обладают удовлетворительной коррозионной стойкостью. Детали защищают анодированием и лакокрасочными покрытиями. Обрабатываемость силуминов в отожжённом состоянии плохая, в термически упрочнённом – удовлетворительная.

Сплав АЛ2 рекомендуется для изготовления деталей, однако образование концентрированных усадочных раковин, характерных для сплавов с малым интервалом кристаллизации, вызывает трудности при литье крупногабаритных и сложных по форме деталей.

Сплавы АЛ4 и АЛ9 применяют для средних и крупных литых деталей, ответственного назначения: корпусов компрессоров, картеров двигателей внутреннего сгорания, турбинных колёс, вентиляторов и т.п.

Сплав АЛ34 превосходит их по прочности на 25 – 50 %, отличается герметичностью, плохо обрабатывается резанием, обладает низкой жаропрочностью (рабочие температуры ниже 200 °С). Предназначен для литья корпусных деталей, сложных по конфигурации и работающих под большим давлением газа или жидкости.

Сплавы АЛ3 и АЛ5 системы Al-Si-Cu-Mg отличаются повышенной жаропрочностью. Детали из них могут длительно работать при температурах до 250 – 270 °С. Коррозионная стойкость этих сплавов пониженная, детали следует анодировать или защищать лакокрасочными покрытиями. Сплав АЛ3 используется для корпусов, арматуры и приборов, работающих до 275 °С, а сплав АЛ5 – для головок цилиндров двигателей воздушного охлаждения, деталей агрегатов и приборов, работающих при температурах не выше 250 °С.

Сплавы АЛ8, АЛ27, АЛ27-1 на основе системы *Al-Mg* обладают малой плотностью, высокой коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, морской воде, в щелочных растворах, агрессивных средах на основе азотной кислоты, в растворах хлористых солей. Коррозионная стойкость этих сплавов выше, чем у других литейных алюминиевых сплавов.

Сплавы системы *Al-Mg* хорошо обрабатываются резанием и полируются, однако обладают невысокими литейными свойствами. Легирование сплавов системы *Al-Mg* бериллием (*Be*), титаном (*Ti*), цирконием (*Zr*) устраняет их склонность к окислению в процессе плавки и литья, способствует измельчению зерна и тормозит естественное старение, вызываемое у сплавов системы *Al-Mg* снижением вязкости, пластичности и повышением склонности к межкристаллитной коррозии и коррозии под напряжением из-за неравномерного распада пересыщенного твердого раствора по объёму зерна. Поэтому эти сплавы упрочняются только закалкой без последующего старения.

Сплавы АЛ8, АЛ27, АЛ27-1 применяют для изготовления силовых деталей, работающих от –60 до +60 °С, а в ряде случаев они могут быть использованы вместо дефицитных бронз, латуней, коррозионно-стойких сталей

для деталей, работающих в различных климатических условиях, включая воздействие морской воды и тумана.

Медные сплавы. Как конструкционный материал медь не используется из-за высокой стоимости и низких механических свойств. Широкое использование в промышленности нашли сплавы меди с другими элементами – латуни и бронзы. В рамках существующего производства торговых объектов и оборудования медные сплавы используются ограниченно.

Латуни. Латунями называются двойные или многокомпонентные сплавы на основе меди, в которых основным легирующим элементом является цинк. Латуни подразделяют на обрабатываемые давлением (деформируемые) и литейные.

Деформируемые латуни делятся на однофазные, содержащие до 39 % *Zn*, и двухфазные – до 45 % *Zn*. Структура однофазных латуней – твёрдый раствор цинка в меди – α -твёрдый раствор. При повышении содержания цинка в них возрастает предел прочности σ_b и пластичность δ . Однофазные латуни пластичны, хорошо обрабатываются давлением.

При содержании цинка более 39 % появляется вторая фаза (β), в результате чего повышается хрупкость, падает прочность и пластичность. Двухфазные латуни могут обрабатываться только в горячем состоянии.

Наибольшее применение имеют латуни, содержащие более 68 % меди. Латуни марок Л96, Л90, Л85 называют томпаками, имеют цвет золота и применяют для изготовления ювелирных изделий и украшений. Латуни Л68 и Л70 используют для производства патронных и снарядных гильз, Л63 – для изготовления крепёжных изделий.

Наиболее частыми примесями в латунях являются железо, висмут, свинец, сурьма, мышьяк, фосфор. Указанные примеси допустимы только в ограниченных количествах.

Многокомпонентные латуни обычно легируют алюминием, никелем, оловом, свинцом, мышьяком. Алюминий, никель, олово и кремний повышают прочность, коррозионную стойкость, улучшают антифрикционные свойства. Железо измельчает зерно, повышает твердость латуней. Марганец повышает жаростойкость. Свинец улучшает обработку латуней резанием. Мышьяк предохраняет латуни от обезцинкования.

Литейные латуни поставляются в виде чушек и служат для получения латуней определённых марок, а также для получения фасонных отливок. В марках сложных литейных латуней содержание легирующих элементов указывается непосредственно за их буквенным обозначением. Например: ЛЦ40Мц3А содержит ~ 40 % *Zn*, ~ 3 % *Mn*, ~ 1 % *Al*.

В качестве легирующих добавок используются те же элементы, которые входят в состав латуней, обрабатываемых давлением. По сравнению с последними литейные латуни содержат больше цинка и других металлов. Вследствие малого интервала кристаллизации латуни обладают хорошими литейными свойствами. Ниже приводятся примеры литейных латуней и области их применения.

Латунь ЛЦ16К4 применяется для деталей, работающих в морской воде; ЛЦ14КЗСЗ – для подшипников и втулок; ЛЦ35НЖА – для арматуры, работающей в воде, на воздухе, масле, жидком топливе при температуре до 250 °С; ЛЦ40Мц1,5 – для силовых деталей, подшипников; ЛЦ40Мц3Ж – для ответственных деталей и арматуры, работающих до 300 °С, а также крупных деталей (гребные винты морских судов, лопасти и т.д.); ЛЦ23А6Ж3Мц2 – для тяжело нагруженных винтов, гаек и т.д.

Бронзы. Бронзами называются сплавы на основе меди, в которых в качестве добавок используют олово, алюминий, кремний, бериллий, свинец, хром и другие элементы. Цинк в бронзах не является основным легирующим элементом. По главному легирующему элементу различают бронзы оловянные, свинцовые, алюминиевые, кремнистые, бериллиевые и др. Бронзы обладают хорошими литейными свойствами, хорошо обрабатываются давлением и резанием. Большинство бронз отличаются высокой коррозионной стойкостью.

По технологическому признаку, как и латуни, бронзы делят на деформируемые и литейные.

Деформируемые оловянные бронзы содержат 3 – 7 % олова, до 5 % цинка и свинца, до 0,4 % фосфора (БРОФ4-0,25, БрОФ6,5-0,15, БрОЦ4-3, БрОЦС4-2,5, БрОФ2-0,25 и др.). Они состоят из однородного твердого раствора и после отжига имеют однофазную структуру. Благодаря хорошей пластичности, они легко подвергаются обработке давлением и поставляются в виде прутков, труб и ленты. Этот вид бронз используется также для изготовления различных деталей с высокими упругими свойствами. Их прочность $\sigma_B = 320 - 350$ МПа при относительном удлинении $\delta = 30 - 50$ %.

Литые оловянные бронзы с цинком и свинцом (БрО5Ц5С5, БрО6Ц6С2) имеют высокие литейные свойства: малую объёмную усадку (менее 1 %) и хорошую жидкотекучесть. Из бронзы изготавливают сложные отливки, в частности, художественное литьё.

Высокая коррозионная стойкость позволяет использовать литейные бронзы в качестве арматуры, работающей в агрессивных средах. Наличие включений твёрдого эвтектоида обеспечивает высокую стойкость против истирания, а мягкие частицы облегчают «приработку» и образуют на поверхности мельчайшие каналы, по которым может циркулировать смазка. Поэтому бронзы, содержащие 9 – 10 % Sn (например, БрО10Ф1), являются одним из лучших антифрикционных материалов и применяются для изготовления подшипников, шестерен, червячных передач. Для улучшения антифрикционных свойств в состав бронз также вводят свинец.

Алюминиевые бронзы. Медь образует с алюминием широкую область α -твердых растворов замещения с кристаллической решеткой ГЦК, а также β -фазу на базе электронного соединения Cu_3Al .

Сплавы, содержащие до 9 % Al, однофазные и состоят только из α -твердого раствора алюминия в меди. Увеличение содержания алюминия приводит к появлению в структуре эвтектоида с твёрдым и хрупким электронным соединением $Cu_{32}Al_{19}$. Гетерогенная структура, состоящая из мягкой основы α -твёрдого раствора и твёрдых дисперсных включений

эвтектоида, обеспечивает высокие антифрикционные свойства алюминиевых бронз, которые применяются для изготовления деталей, работающих в условиях трения.

Однофазные алюминиевые бронзы, например, БрАЖ9-4, характеризуются высокой пластичностью. Их используют для глубокой штамповки. Двухфазные бронзы подвергают горячей обработке давлением (БрАЖН10-4-4) или используют в виде фасонного литья (БрА10ЖЗМц2).

Алюминиевые бронзы по коррозионной стойкости в морской воде и тропической атмосфере превосходят оловянные бронзы и латуни и конкурируют в этом отношении с хромоникелевыми аустенитными коррозионно-стойкими сталями.

Алюминиевые бронзы применяют для изготовления нагруженных деталей, работающих в условиях повышенного нагрева, износа и коррозионного воздействия среды. Из них изготавливают фрикционные шестерни, зубчатые колёса, втулки, краны, детали водяных и паровых турбин.

Кремнистые бронзы. Кремнистые бронзы обычно содержат до 3 % Si, часто их дополнительно легируют никелем или марганцем. Кремнистые бронзы обладают хорошими литейными свойствами. Их обычно используют в качестве заменителя оловянных бронз, например БрКЦ4-4 может заменить БрОЦС5-5-5. Уступая оловянной бронзе по величине усадки, она имеет более высокие механические свойства, плотность отливок и коррозионную стойкость.

Бронза БрКМц3-1 хорошо обрабатывается давлением в горячем и холодном состоянии, хорошо сваривается, обладает высокими литейными свойствами. Она рекомендована в качестве заменителя оловянных бронз: в некоторых случаях может заменять дорогую бериллиевую бронзу.

Свинцовые бронзы. Свинец практически нерастворим в меди. После затвердевания сплав состоит из кристаллов меди, перемежающихся включениями свинца. Благодаря такой структуре бронза БрС30 имеет высокие антифрикционные свойства, что позволяет использовать её взамен оловянных бронз для подшипников скольжения. Высокая теплопроводность бронзы БрС30 позволяет эффективно отводить тепло из зоны трения.

Свинцовая бронза имеет невысокие механические свойства ($\sigma_b = 70$ МПа, $\delta = 4$ %). Для повышения надёжности вкладышей подшипников тонкий слой бронзы наплавляют на основу из стальной ленты.

Повышение механических свойств достигается легированием свинцовой бронзы небольшими добавками цинка и олова (например, БрО4Ц4С17).

Бериллиевые бронзы. Медь образует с бериллием α – твёрдые растворы замещения с решёткой ГЦК. С понижением температуры растворимость бериллия в меди падает с 2,7 % при 886 °С до 0,2 % при 300 °С. Использование переменной растворимости позволяет достичь значительного упрочнения при термической обработке. Бронзу нередко легируют также никелем и титаном – БрБНТ1,9 и БрБНТ1,7. Наибольшее распространение получила бериллиевая бронза марки БрБ2, которая после закалки от 800 °С в воде имеет структуру однородного твёрдого раствора и малую прочность ($\sigma_b \sim 500$ МПа) при высокой пластичности ($\delta \sim 30$ %). В результате старения при 300 – 350 °С из

пересыщенного α - твёрдого раствора выделяются дисперсные частицы β -фазы ($CuBe$). Дисперсионное твердение резко увеличивает прочностные свойства: $\sigma_v \sim 1200$ МПа при $\delta \sim 4$ %. Упрочнению при старении способствует предварительный наклёп бронзы. После закалки, холодной пластической деформации с обжатием 30 % и старения прочность возрастает до $\sigma_v = 1400$ МПа при $\delta = 2$ %.

Благодаря более высокому уровню временного сопротивления и предела упругости по сравнению с другими медными сплавами бериллиевые бронзы находят применение для изготовления пружин, мембран, пружинящих контактов. Инструменты из бериллиевой бронзы не дают искр, поэтому их применяют при производстве взрывчатых веществ.

Бериллиевые бронзы хорошо сопротивляются коррозии, технологичны при сварке и обработке резанием. В связи с высокой сопротивляемостью истиранию они используются для изготовления деталей, работающих на износ.

Широкое применение бериллиевых бронз ограничивается высокой стоимостью бериллия.

РАЗДЕЛ II. ПОКРЫТИЯ

2.1 Общая характеристика покрытий и способов их нанесения. Металлические покрытия. Покрытия, полученные способом наплавки и напыления

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

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

Классификация процессов нанесения металлических покрытий приведена на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Классификация процессов нанесения металлических покрытий

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Механическое нанесение покрытий используют для получения цинковых, кадмиевых и оловокадмиевых покрытий. Детали перемешивают в сосудах с соответствующими тонкими металлическими порошками, активаторами и стеклянными шариками.

Ионная имплантация предусматривает ионизацию атомов с последующим ускорением ионов в электрическом поле в вакууме.

2.1.1 Металлические покрытия

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

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

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

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

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

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

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

Коррозионная стойкость стальных деталей с алюминиевым покрытием обусловлена высокими защитными свойствами образующейся на поверхности пленки Al_2O_3 толщиной менее 0,1 мкм. Этот оксидный слой отличается высокой плотностью и при повреждении быстро образуется заново. Защитное действие пленки оксида алюминия на алюминиевом покрытии особенно сильно выражено при высокотемпературном нагреве.

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

Оловянные и хромсодержащие покрытия. Покрытие оловом производят методами погружения в расплав и электролитическим осаждением. При погружении стальных и чугунных изделий в расплав на поверхности образуется тонкий слой соединения FeSn_2 , над которым после вытягивания из расплава затвердевает более толстый слой олова. Более широко используют метод

электролитического лужения. Листовой прокат, полученный этим методом, толщиной менее 0,5 мм, называют белой жостью. Толщина оловянных покрытий составляет 30 – 35 мкм. В качестве заменителя белой жести применяется холоднокатаный тончайший лист, который покрыт электролитически нанесенным покрытием оксида хрома. Оловянные покрытия широко применяются в различных отраслях техники, прежде всего в пищевой и мясомолочной промышленности, особенно для защиты от коррозии различных стальных емкостей типа баков, цистерн, фляг. Оловом защищают не только стальные, но и медные емкости. Электролитически хромированную жость используют вместо белой жести при изготовлении упаковочной тары для консервов (овощных, молочных, мясных, рыбных), а также фруктовых соков, пива, безалкогольных напитков, при производстве крышек для стеклотары и колпачков для бутылок, тары для упаковки сухих пищевых продуктов.

Износостойкие покрытия, полученные способом наплавки и напыления. Наплавка и напыление, наиболее распространенные способы нанесения защитных покрытий. На детали, подвергающиеся при эксплуатации значительному износу, наплавляют сплавы, обладающие повышенной твердостью. Нанесение износостойкого слоя на поверхность стали осуществляется наплавкой электродами, присадочными прутками, зернистыми порошками, содержащими легирующие элементы, а также за счет перехода износостойких металлов и их соединений из специальных флюсов (обмазок) при их расплавлении.

Износостойкие наплавочные материалы можно разделить на 6 групп:

1. Литые и спеченные карбиды (релит ТЗ-1, релит ТЗ-2 и др.).
2. Литые твердые сплавы (сормайт №1, стеллит ВКЗ и др.):
Сормайт : содержит 2,5 – 3 % *C*, 25 – 31 % *Cr*; 3,5 % *Ni*
Стеллит: содержит 1 – 1,5 % *C*, 28 – 32 % *Cr*; 4 – 5 % *Ni*; 58 – 62 % *Co*
3. Гомогенные порошкообразные материалы в виде гранул.
4. Порошкообразные механические смеси (сталинит, вокар, КБХ, БХ, ВИСХОМ-9)
Сталинит 8 – 10 % *C*; 13 – 17 % *Mn*; 16 – 20 % *Cr*, остальное – *Fe*
Вокар 9,5 – 10,5 % *C*; 85 – 87 % *W*
ВИСХОМ-9 6 % *C*; 15 % *Mn*; 5 % *Cr*, остальное – чугунная стружка
5. Стержневые электроды с легирующей обмазкой (Т-590, Т-620, Т-540, ЦИ, ЦН и др.).
6. Трубчатые электроды, порошковая проволока и порошковая лента.

Для напыления используют проволоку и порошки. Для антикоррозионных покрытий используют цинковую, алюминиевую и стальную нержавеющую проволоки (сталь типа 10Х18Н10Т). Проволоки из алюминиевой бронзы применяют для получения антифрикционных покрытий ответственных подшипников скольжения.

2.1.2 Неметаллические покрытия

Неорганические покрытия и способы их нанесения. К неорганическим неметаллическим материалам, применяемым для защиты от коррозии металлических поверхностей, относятся эмали, стекло и цемент.

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

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

С целью снижения пористости при обжиге за счет образования CO_2 для эмалирования применяют низкоуглеродистые стали.

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

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

Органические полимерные покрытия. Рассмотренные выше методы защиты металлов от коррозии более дороги, менее эффективны, и возможности их ограничены. Поэтому использование органических покрытий по-прежнему остается важным средством борьбы с коррозией.

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

В различных областях промышленности для защиты внутренних поверхностей аппаратов, трубопроводов и арматуры применяются винилхлоридные, фторопластовые, пентапластовые, полиолефиновые, полиуретановые, фенолоформальдегидные, кремнийорганические, каучуковые, эпоксидные и другие покрытия.

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

Покрытия из полиолефинов отличаются высокой химической стойкостью к действию многих агрессивных сред. Полиэтилен используют в качестве упаковочного материала для хранения продуктов и получения антикоррозионных покрытий. Свойства полиэтилена и полипропилена практически не меняются при воздействии концентрированными соляной и серной кислотами при 20 °С, а также растворами щелочей. Однако органические

растворители при комнатной температуре вызывают некоторое набухание, а при температурах выше 100 – 120 °С растворяют полиолефины.

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

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

Полиамиды. К полиамамидам относятся капрон и капролон. Покрытия из полиамидов обладают высокими антифрикционными характеристиками. По износостойкости при сухом и жидкостном трении полиамиды превосходят не только другие классы полимеров, но и многие металлы, применяющиеся в антифрикционных целях. Низкий коэффициент трения при высоких нагрузках позволяет использовать полиамиды в тяжело нагруженных узлах трения, о чем свидетельствуют значения коэффициентов трения покрытий из полиамидов при трении со смазкой по стали. Недостатком полиамидных покрытий является склонность к старению и значительное водопоглощение. С повышением температуры гигроскопичность возрастает.

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

Следует отметить низкую стойкость полиамидов к окислению, что препятствует длительной эксплуатации полиамидных покрытий на воздухе при температурах выше 60 – 100 °С. В целях повышения термостабильности полиамидов применяют различные стабилизирующие добавки органического и минерального происхождения. Для улучшения адгезионных и когезионных свойств, повышения эксплуатационных характеристик в покрытия из полиамидов вводят различные наполнители. Введение небольших количеств оксидов титана, меди, железа, свинца и алюминия способствует росту прочности и твердости, несущей способности и износостойкости покрытий при незначительном изменении коэффициента трения. Повышение теплостойкости и несущей способности подшипников с полиамидными покрытиями достигается введением порошков металлов (алюминия, свинца, бронзы и др.). Снижению коэффициента трения также способствует добавка фторопласта-4, дисульфида молибдена, графита.

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

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

Материалом для покрытий в основном служит пластифицированный поливинилхлорид, реже используется непластифицированный ПВХ, типичным

представителем которого является винипласт. Листовой и пленочный винипласт применяются в химической промышленности для футеровки металлической аппаратуры и трубопроводов, эксплуатирующихся в агрессивных средах.

Поливинилхлорид является основным компонентом для изготовления лакокрасочных материалов. Путем обработки ПВХ получают винипласт, листы которого легко поддаются механической обработке и хорошо свариваются. Это позволяет использовать их для нанесения сплошного покрытия на фундаменты, цокольные части и другие конструкции. Поливинилхлоридный пластикат применяют как обкладочный материал для защиты аппаратуры от коррозии, устройств полов в помещениях, где требуется герметичность. Для устройства химически стойких полов, а также для гидроизоляции используют поливинилхлоридную пленку.

Фторопласты. Для изготовления различных деталей и для защитных покрытий применяются фторопласт-4 и фторопласт-3. Фторопластовые покрытия исключительно устойчивы к агрессивным средам и в этом отношении превосходят даже благородные металлы и сплавы. На покрытия из фторопласта-4 не действуют окислительные среды, включая и царскую водку, кипящие щелочи, растворы солей. Фторопластовые покрытия вполне устойчивы по отношению к жирам, маслам, влаге, кислотам и т. д.

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

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

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

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

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

отверждением при комнатной температуре, ограничена. Материалы, полученные отверждением эпоксидной смолы при нагревании, более долговечны.

На основе эпоксидных смол изготавливают лакокрасочные материалы, применяемые для защитных покрытий.

Покрытия на основе эпоксидных смол с такими наполнителями, как уголь, графит, кремнезем, кварцевая мука, измельченный мрамор, в пищевой промышленности использовать нельзя по санитарным нормам.

Резиновые покрытия. В качестве материалов для покрытий применяются резины на основе натурального и синтетических каучуков. В процессе вулканизации образуется трехмерная структура, обеспечивающая покрытиям хорошие механические свойства.

Высокой эластичностью и хорошими адгезионными свойствами обладают покрытия из резин на основе натурального каучука, которые используются для защиты от минеральных кислот и щелочей.

Мягкие резины в основном применяются для покрытия различных аппаратов, деталей, цистерн, труб. Они представляют собой полимерные композиции сложного состава на основе эластомеров линейного или разветвленного строения (каучуков) в виде латексов или клеев.

Например, для футеровки емкостей внутреннюю поверхность подвергают дробеструйной обработке и оклеивают листовой смесью резины с фенолоформальдегидной смолой. После этого поверхность облицовывают кислотоупорной плиткой на диабазовой замазке.

Разработку теплостойких резин ведут с учетом специфики свойств агрессивных сред. Наибольший интерес представляют жидкие силоксановые каучуки, которые обладают высокой теплостойкостью (до 250 °С) и нетоксичны.

Благодаря высокой сопротивляемости истиранию резины применяют для аппаратов, работающих с жидкостями, содержащими взвешенные вещества (насосы, трубопроводы). Иногда применяют твердые резины – эбониты. Эбониты по сравнению с резинами имеют более высокую химическую стойкость.

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

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

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

Все лакокрасочные материалы по своему виду (грунтовки, эмали, краски, лаки) в зависимости от рода основного пленкообразующего вещества подразделяются по составу на группы, например:

КО – кремнийорганические
ХС – сополимерно-винилхлоридные
ЭП – эпоксидные
ПФ – пентафталевые

по преимущественному назначению:

1 – атмосферостойкие
2 – ограниченно атмосферостойкие
3 – консервационные
4 – водостойкие
5 – специальные
6 – маслобензостойкие
7 – химически стойкие
8 – термостойкие
9 – электроизоляционные
0 – грунтовки
00 - шпатлевки

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

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

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

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

Наполнители – это дисперсные неорганические природные или синтетические вещества, не растворимые в растворителях, воде и

дисперсионных средах. Они предназначены для повышения адгезии, модуля упругости, твердости, прочности, тепло-, огне-, кислото-, щелоче- и атмосферостойкости покрытий, снижения стоимости покрытия, придания композиции требуемой теплопроводности, снижения температурного коэффициента расширения покрытий до значений, характерных для металлов. Их добавляют до 25 % от количества вводимых пигментов.

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

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

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

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

РАЗДЕЛ III. НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОРГОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ. ТЕХНИЧЕСКИЕ ЖИДКОСТИ

3.1 Полимерные материалы

Полимерные материалы – неорганические и органические, аморфные и кристаллические вещества, состоящие из «мономерных звеньев», соединённых в длинные макромолекулы химическими или координационными связями.

Полимеры (искусственные материалы) в соответствии с международным стандартом (ISO) обозначают условными символами, которые облегчают маркировку торговых изделий. Ниже в алфавитном порядке представлен ряд международных обозначений важнейших полимеров, применяемых в технике:

ABS - сополимер акрилонитрил - бутадиен - стирол	PP - полипропилен
AP - аминопласты	PPO - полиоксифенилен
CA - ацетат целлюлозы	PS - полистирол
CAB - ацетатобутират целлюлозы	PSO - полисульфон
EP - эпоксидная смола	PUR - полиуретан
FP - фенопласты (фенольные материалы)	PVAC - поливинилацетат
PA - полиамиды	PCV - поливинилхлорид
PC - поликарбонаты	SAN - сополимер стирол - акрилонитрил
PE - полиэтилен	SB - сополимер стирол - бутадиен
PTFE - политетрафторэтилен	SI - силиконы
PI - полиамиды	TS - искусственный материал
РИМ - полиметилметакрилат	UP - ненасыщенные полиэстры
РОМ - полиформальдегид, полиокси- метилен	

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

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

Термопластичные пластмассы (термопласты). Широкое применение находят термопластичные пластмассы на основе полиэтилена, полипропилена, полистирола, поливинилхлорида, фторопластов, полиамидов и других полимеров (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Области применения некоторых термопластичных пластмасс

Пластмасса	Интервал рабочих температур, °С	Область применения
Полиэтилен высокого давления	-70 ... +70	Упаковка, ненагруженные детали машин и оборудования, футляры, покрытия, фольги
Полиэтилен низкого давления	-70 ... +80	Тоже
Полистирол	-40 ... +65	Оборудование радиотехники и фотографии, электроизоляция, пенящиеся изоляционные материалы
Полипропилен	-20 ... +130	Трубы, детали автомобилей, элементы холодильников, емкости, упаковка
Поливинилхлорид	-40 ... +70	Химическое оборудование, трубы, профили, детали машин, элементы насосов и вентиляторов, упаковка, покрытие полов, искусственная кожа, оконные рамы и т. п.
Полиамид	-60 ... +100	Детали машин, канаты, шнуры, одежда
Полиметилметакрилат (органическое стекло)	-60 ... +100	Детали освещения и оптики, остекление в самолетостроении, на наземном и водном транспорте
Поликарбонаты	-100 ... +135	Точные детали машин и аппаратуры, радио- и электротехника, фотографические пленки и др.
Политетрафторэтилен (тефлон)	-269 ... +260	Химическая, электротехническая, машиностроительная (подшипники) промышленность

Полиэтилен является продуктом полимеризации этилена. Свойства полиэтилена зависят от условий полимеризации. По способу изготовления различают полиэтилен низкой плотности ($0,918 - 0,930 \text{ г/см}^3$), получаемый полимеризацией при высоком давлении, и полиэтилен высокой плотности ($0,946 - 0,970 \text{ г/см}^3$), получаемый полимеризацией при низком давлении. Полиэтилен высокой плотности имеет степень кристалличности до 75 – 95 %. Чем выше плотность и степень кристалличности полиэтилена, тем выше его прочность, модуль упругости и теплостойкость. Разрушающее напряжение при растяжении полиэтилена низкой плотности составляет 10 – 17 МПа, полиэтилена высокой плотности – 18 – 35 МПа.

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

Полиэтилен выпускается в виде пленок толщиной 0,03 – 0,30 мм, шириной 1400 мм и длиной 30 м, а также в виде листов толщиной 1 – 6 мм и шириной до 1400 мм. Полиэтилен применяют для изоляции электропроводов и кабелей, в качестве упаковочного материала для пищевых продуктов, для защиты от коррозии магистральных нефте- и газопроводов, в качестве заменителя стекла, для изготовления предметов домашнего обихода, для защиты металлов от коррозии. Полиэтиленовые трубы могут работать при температурах до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, они не подвержены почвенной коррозии. Из полиэтилена изготавливают крышки подшипников, уплотнительные прокладки, детали вентиляторов и насосов, гайки, шайбы, полые изделия вместимостью до 200 л, тару для хранения и транспортировки кислот и щелочей.

Полипропилен является полимером пропилена. По сравнению с полиэтиленом полипропилен имеет более высокую механическую прочность и жесткость, большую теплостойкость и меньшую склонность к старению. Разрушающее напряжение при растяжении полипропилена достигает 25 – 40 МПа. Недостатком полипропилена является его невысокая морозостойкость ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Детали из полипропилена изготавливают штамповкой, литьем под давлением, пневматическим и вакуумным прессованием; полиэтилен можно сваривать, напылять на металл, ткань, картон. Он легко подвергается механической обработке на токарных, фрезерных, сверлильных станках.

Полипропилен применяют для изготовления антикоррозионной футеровки резервуаров, труб и арматуры трубопроводов, электроизоляционных деталей, а также для изготовления деталей, применяемых при работе в агрессивных средах. Из полипропилена изготавливают корпусные детали автомобилей и корпуса аккумуляторов, прокладки, трубы, фланцы, водонапорную арматуру, пленки, пленочные покрытия бумаги и картона, корпуса воздушных фильтров, конденсаторы, вставки демпфирующих глушителей, зубчатые и червячные колеса, ролики, подшипники скольжения, фильтры масляных и воздушных систем, рабочие детали вентиляторов, насосов, уплотнения, детали приборов и автоматов точной механики, кулачковые механизмы, детали телевизоров, магнитофонов, холодильников, стиральных машин, изоляцию проводов и кабелей. Отходы при производстве полипропилена и отработавшие изделия из него используют для повторной переработки.

Полистирол относится к числу наиболее известных и широко применяемых пластмасс.

Полистирол – твердый, жесткий, бесцветный, прозрачный, аморфный полимер, легко окрашиваемый в различные цвета. Обладает высокой водостойкостью, хорошей химической стойкостью в растворах солей, кислот и щелочей. По сравнению с другими термопластами более стоек к радиации. Недостатками полистирола являются повышенная хрупкость при ударных нагрузках, склонность к старению, невысокая тепло- и морозостойкость. Интервал рабочих температур от -40 до $+65\text{ }^{\circ}\text{C}$. Полистирол применяют для изготовления деталей радио- и электроаппаратуры, предметов домашнего обихода, детских игрушек, трубок для изоляции проводов, пленок для изоляции

электрических кабелей и конденсаторов, открытых емкостей (лотки, тарелки и др.), прокладок, втулок, светофильтров, крупногабаритных изделий радиотехники (корпуса транзисторных приемников), деталей электропылесосов (колодки, щелевые сопла, прокладки, ручки), мебельной фурнитуры, конструкционных изделий с антистатическими свойствами. Ударопрочным полистиролом (механическая смесь полистирола с каучуком) облицовывают пассажирские вагоны, салоны автобусов и самолетов. Из него изготавливают крупногабаритные детали холодильников, корпуса радиоприемников, телефонных аппаратов и др.

Его применяют для изготовления деталей машин и аппаратов, непосредственно контактирующих с пищевыми продуктами (молоком и молочными продуктами, вином, коньяком, шампанским и др.), а также для тары и упаковки. Его используют для изготовления пористых материалов.

В числе различных синтетических материалов широкое распространение получили так называемые **газонаполненные пластики**. Эти материалы разделяются на пенопласты и поропласты. У пенопластов микроскопические ячейки, наполненные газом, не сообщаются между собой, и плотность таких материалов, как правило, менее $0,3 \text{ г/см}^3$. Ячейки у поропластов сообщаются между собой, и их плотность несколько выше. Пенопласты и поропласты выпускаются на основе полистирола, поливинилхлорида и различных эфирных полимеров.

Пенопласт применяют в качестве теплоизоляционного слоя в конструкциях судовых трюмов, кузовов автофургонов, холодильных камер на объектах мясомолочной и рыбной промышленности.

Пенополистирол получают из эмульсионного полимера прессовым и беспрессовым методами. Пенополистирол применяют для теплоизоляции холодильников и торгового оборудования. Для производства изделий, контактирующих с пищевыми продуктами, используют обычно суспензионный полистирол. При получении пенополистирола прессовым методом (пенополистирол марок ПС-1 и ПС-4) используют эмульсионный тонкодисперсный полистирол, смешивают его с порообразующим компонентом, прессуют, а затем вспенивают в специальных обогреваемых камерах. Если же пенополистирол получают беспрессовым методом из блочно-суспензионного стирола, он называется стиропор. Его полимеризацию проводят при 70°C с непрерывным перемешиванием. Пенополистирол имеет структуру застывшей пены, он стоек к действию влаги, агрессивных минеральных сред (кроме концентрированной азотной кислоты). Пенополистирол, полученный беспрессовым методом, обладает более высокой химической стойкостью. Устойчив он также и в биологическом отношении – не гниет, стоек к действию грибков и бактерий, не повреждается грызунами.

В последнее время в промышленности начинают все шире использовать армированные газонаполненные пластмассы, что позволяет сочетать малую плотность с высокой прочностью, т. е. повышать удельную прочность. Газонаполненные пластмассы армируют листами металла или листами более прочных газоненаполненных пластмасс.

Пластмассы, на основе **поливинилхлорида** имеют хорошие электроизоляционные свойства. Они стойки к воздействию химикатов, не поддерживают горения, атмосферо-, водо-, масло- и бензостойки. Непластифицированный поливинилхлорид называется винипластом. Винипласты имеют высокую механическую прочность и упругость, но сравнительно малопластичны. Винипласты стойки к воздействию почти всех минеральных кислот, щелочей и растворов солей. Их недостатками являются склонность к ползучести, низкая ударная вязкость, малая теплостойкость, резкая зависимость от температуры.

Поливинилхлорид используют для получения пенопластов, линолеума, искусственной кожи, объемной тары, товаров бытовой химии, вибропоглощающих материалов в машиностроении и на всех видах транспорта, водо-, бензо- и антифризостойких трубок, прокладок и т. д.

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

Наиболее широкое распространение получил фторопласт-4, или политетрафторэтилен (тефлон). Характеризуется высокой плотностью (2,1 – 2,3 г/см³), термо- и морозостойкостью. Интервал рабочих температур при эксплуатации изделий из фторопласта-4 составляет от –269 до +260 °С. Пленка из него не охрупчивается даже в среде жидкого гелия. Фторопласт-4 имеет хорошие диэлектрические свойства и высокую коррозионную стойкость. По химической стойкости фторопласт-4 превосходит все известные материалы, включая золото и платину. Он стоек к воздействию всех минеральных и органических щелочей, кислот, органических растворителей, не набухает в воде, не смачивается жидкостями и вязкотекучими средами пищевых производств – тестом, патокой, вареньем и т. д. При температуре 260 °С невзрывоопасен, негорюч, при непосредственном контакте не оказывает влияния на организм человека, разрушается только под действием расплавленных щелочных металлов и элементарного фтора. Фторопласт-4 имеет низкий коэффициент трения и применяется для изготовления подшипников скольжения без смазки. Для уменьшения износа подшипников во фторопласт вводят 15 – 30 % наполнителя (графита, дисульфита молибдена, стеклянного волокна и др.).

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

Полиамиды включают группу известных термопластичных пластмасс (таких, как нейлон, капрон и др.). Ориентированные полиамиды характеризуются высокой прочностью на растяжение (более 400 МПа), ударопрочностью, способностью к поглощению вибрационных нагрузок. Они имеют низкий коэффициент трения и могут использоваться в качестве подшипников как без смазки, так и при применении смазочных материалов.

Полиамиды используют для изготовления конструкционных и электроизоляционных изделий, эксплуатируемых при температурах от -60 до $+100$ °С (зубчатые передачи, уплотнительные устройства, втулки, муфты, подшипники скольжения, лопасти винтов, стойкие к действию щелочей, масел, жиров и углеводов), технических изделий и товаров культурно-бытового назначения, антифрикционных покрытий металлов.

Полиуретаны – наиболее ценные и широко производимые промышленностью термопластичные полимеры. Они характеризуются высоким модулем упругости, износостойкостью, вязким коэффициентом трения, стойкостью к вибрациям, атмосферостойкостью, а также стойкостью к воздействию масла и бензина. Изделия из полиуретана можно эксплуатировать при понижении температуры до -60 ... -70 °С. Волокна из полиуретана малогигроскопичны и имеют высокую химическую стойкость. Их используют для изготовления изоляции, фильтровальных и парашютных тканей.

Стекло органическое (плексиглас) получают полимеризацией сложных эфиров метакриловой кислоты. Обычно применяют полиметилметакрилат. Этот термопласт оптически прозрачен (светопрозрачность до 92 %), имеет низкую плотность, высокую атмосферостойкость, стоек к воздействию разбавленных кислот и щелочей, углеводородного топлива и смазок. Стекло органическое выпускается в виде листов толщиной до 25 мм. Его недостаток – низкая поверхностная твердость.

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

Физико-механические свойства поликарбонатов улучшаются при введении в них армирующих волокон. Например, при введении в поликарбонат стекловолокна (до 30 %) его модуль упругости при растяжении увеличивается в 3 раза, а твердость по Бринеллю – в 1,5 раза. Теплостойкость материала также увеличивается, а термический коэффициент линейного расширения снижается в 3 раза, усадка материала уменьшается в 2 раза.

Армированные поликарбонаты с названием «Эстеран» нашли применение в производстве ответственных деталей машин, например подшипников качения, кулачков и т. д. Они сохраняют свои свойства и эксплуатационную надежность в интервале температур от -200 до $+110$ °С, а также в вакууме.

Кроме стеклонаполненного поликарбоната хорошо зарекомендовали себя наполненные стекловолокном полипропилен, полистирол и некоторые другие

термопласты. Термопласты, армированные стекловолокном, имеют более высокие механические свойства и обеспечивают неизменность формы изделий в условиях повышенных температур. Производство таких термопластичных материалов с каждым годом растет на 25 – 30 %. Они применяются при изготовлении разнообразных деталей в электронной и электротехнической промышленности, оптическом и точном приборостроении, автомобилестроении, текстильном машиностроении и т. д.

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

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

Упрочненные феноло-формальдегидные смолы чаще носят название бакелитов. Эта пластмасса хорошо обрабатывается механически инструментами для обработки металла и может подвергаться полированию. Бакелит из новолаки имеет большую термостойкость (100 – 150 °С), чем бакелит из резола, но худшие диэлектрические свойства.

Бакелит трудногорюч, а после извлечения из пламени сразу гаснет. Горящий бакелит дает желтый цвет пламени, коптящий в зависимости от вида наполнителя. Остаток, извлеченный из пламени, твердый, разбухший, потрескавшийся и обугленный. В процессе горения выделяются фенол и формальдегид с характерным запахом.

Бакелит стоек к воздействию разбавленных кислот и щелочей, а также большинства органических растворителей. Для склеивания треснувших бакелитовых изделий можно применять нитроцеллюлозные клеи или жидкие фенольные смолы.

Из бакелита изготавливают изделия галантереи (пуговицы, пепельницы), электротехнические элементы (вилки, розетки), корпуса радио- и телефонных и аппаратов, детали стиральных машин, защитные шлемы, корпуса аккумуляторов, плиты, лаки, клеи.

Аминопласты являются термоупрочняемыми пластмассами. К ним относятся карбамидо-формальдегидные смолы и меламино-формальдегидные смолы.

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

Теплостойкость упрочненных аминопластов около 100 – 120 °С. Образец, внесенный в огонь, начинает гореть не более чем через 1 минуту. Вынутый из пламени, он не гаснет, но горит медленно (в действительности горят наполнители, сама смола негорюча). Огонь имеет желтый цвет (меламиновая смола) или желтый с зеленовато-голубой каймой (карбамидная смола). Остаток после горения растрескавшийся, разбухший и покрыт по краям характерным белым налетом. Во время горения отчетливо чувствуется запах формальдегида и карбамида.

Упрочненные аминопласты стойки к воздействию воды, кислот (в том числе серной и азотной), щелочей и органических растворителей. Для склеивания таких аминопластов можно применять феноло-формальдегидные или карбамидо-формальдегидные клеи.

Из аминопластов изготавливают клеи для дерева, электротехнические детали (розетки, выключатели) и галантерею, тонкие покрытия для украшения, лаки (так называемые печные), пенистые материалы.

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

Полиэстры (полиэстеровые, или полиэфирные смолы) являются полимерами, полученными из полиосновных кислот и полигидроксильных спиртов путем поликонденсации.

Термическая стойкость под напряжением отвержденных смол лежит в пределах 55 – 60 °С, а без нагрузки превышает 150 °С. Образец ламината (полиэстеровая смола со стеклотканью), помещенный в пламя, горит очень плохо. После извлечения из пламени чаще всего гаснет. После сгорания остается обугленный скелет стекловолокна.

Отвержденные полиэстры нерастворимы в органических кислотах, в ацетоне легко растрескиваются.

Из полиэстров, упрочненных стекловолокном, изготавливают спасательные лодки, части автомобилей, мебель, корпуса планеров и вертолетов, гофрированные плиты для крыш, плафоны ламп, мачты для антенн, лыжи и палки, удочки, защитные каски и т. п. В виде текучих смол полиэстры применяют для заливки частей электронной аппаратуры, мумификации анатомических препаратов, изготовления лаков и т. п.

Эпоксидные смолы. Неотвержденные эпоксидные смолы получают реакцией поликонденсации эпоксиды (эпихлоргидрина) с дифенилолпропаном (дианом). Процесс отверждения является реакцией суммирования (полиприсоединения), в которой роль отвердителя играет полиамин.

Характерной чертой эпоксидных смол является совершенная прилипаемость почти ко всем пластмассам, к металлам; они имеют хорошие механические и электрические свойства.

Термостойкость под напряжением упрочненных эпидианов лежит в пределах 55 – 120 °С в зависимости от вида упрочнителя, а без нагрузки превышает 150 °С. Упрочненная эпоксидная смола горит в огне так же, как и полиэстровые ламинаты: она трудно загорается, после чего начинает коптить. В отличие от полиэстра эпоксидная смола сильно пахнет во время горения.

Эпоксидные смолы служат для изготовления лаков, клеев, а также производства ламинатов.

Большую группу реактопластов составляют слоистые пластмассы, которые содержат листовые наполнители, уложенные слоями. В качестве наполнителей для слоистых пластиков используют материалы органического (бумагу, картон, хлопчатобумажные ткани, древесный шпон, ткани из синтетических волокон) и неорганического (асбестовую бумагу, стеклянную ткань, ткань из кварцевых или кремнеземных волокон) происхождения. В зависимости от вида наполнителя различают следующие слоистые пластики: гетинакс, текстолит, стеклотекстолит, древеснослоистые пластики. Связующими при производстве слоистых пластиков служат феноло-формальдегидные, эпоксидные, кремнийорганические и некоторые другие смолы.

Свойства слоистых пластиков зависят от соотношения компонентов (наполнителя и связующего), характера подготовки наполнителя, режимов прессования и термообработки и других технологических факторов. Благодаря слоистому расположению армирующего наполнителя слоистые пластики обладают анизотропией механических, физических и диэлектрических свойств.

Механические свойства слоистых пластиков определяются прежде всего видом используемого наполнителя. Наибольшей механической прочностью обладают слоистые пластики на основе стеклянной ткани или стеклянных жгутов. Эти материалы, а также слоистые пластики на основе асбоволокнистых наполнителей имеют более высокую теплостойкость по сравнению с теплостойкостью пластиков на основе органических наполнителей.

Физические и диэлектрические свойства слоистых пластиков зависят в основном от типа используемого полимерного связующего.

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

Древесно-слоистые пластики (ДСП) используют при изготовлении мебели, для внутренней облицовки пассажирских поездов, судов, самолетов, при строительстве – в качестве облицовочного материала.

ДСП обычно изготавливают в форме плит или тонких листов. Их получают горячим прессованием лущеного древесного шпона, пропитанного полимерным связующим. При производстве ДСП чаще используют березовый или буковый шпон, в качестве связующего используют водно-спиртовые

растворы олигомеров. Древесно-слоистые пластики выпускают различных марок и маркируют ДСП-А, ДСП-Б, ДСП-В и т. д. Они различаются направлением волокон шпона в различных слоях. В ДСП-А – во всех слоях волокна шпона расположены параллельно (иногда четыре слоя с параллельным расположением волокон чередуются с одним слоем, повернутым на $20 - 25^\circ$). В ДСП-Б расположение слоев смешанное. Через каждые 5 – 20 слоев с параллельным расположением волокон укладывают слой, повернутый на 90° . В ДСП-В осуществляется звездообразная укладка слоев, при которой соседние слои волокон смещают на 30° . Максимальной прочностью в продольном направлении (280 МПа) обладает ДСП-А. ДСП-Б имеет прочность, одинаковую во взаимно перпендикулярных направлениях (140 МПа).

ДСП обладают хорошими антифрикционными свойствами. В некоторых случаях они заменяют высокооловянистую бронзу, баббит, текстолит. Химическая стойкость ДСП не очень высока, но выше, чем у обычной древесины. Теплостойкость ДСП достигает 140°C . Их недостатком является набухание, обусловленное поглощением воды.

Пластики на основе хлопчатобумажных тканей – текстолиты – применяют для изготовления различных конструкционных деталей, электроизоляционного материала, вкладышей подшипников прокатного оборудования, прокладок, герметизирующих фланцевые соединения. Текстолитовые детали могут работать не только в воздушной среде, но и в масле, керосине или бензине и т. д. Текстолит производят в виде листов, плит, стержней и трубок. Температура эксплуатации изделий из текстолита от -60 до $+60^\circ\text{C}$.

Стеклотекстолитами называют слоистые пластики на основе тканых стекловолоконных материалов. Они характеризуются высокой тепло- и хладостойкостью, стойкостью к действию окислителей и других химически активных реагентов, высокими механическими свойствами. Стеклотекстолиты применяют для изготовления крупногабаритных изделий, радиотехнических и электроизоляционных деталей, длительное время работающих при температуре 200°C и кратковременно – при 250°C . Стеклопластики являются конструкционными материалами, применяемыми для изготовления силовых изделий в различных отраслях техники (несущих деталей летательных аппаратов, кузовов и кабин машин, железнодорожных вагонов, корпусов лодок, судов и т. п.).

В таблице 3.2 приведены свойства, области применения и интервал рабочих температур некоторых терморезистивных пластмасс.

Таблица 3.2 – Свойства некоторых терморезистивных пластмасс

Вид пластмассы	Плотность, г/см ³	Прочность при растяжении, МПа	Интервал рабочих температур, °С	Область применения
Фенопласт	1,7	30	-60 ... +40	Малонагруженные детали, корпусе приборов, панели, электроизоляционные детали
Аминопласт	1,8	80	-60 ... +130	Детали осветительной аппаратуры, электротехнические и электроизоляционные детали, изделия бытового назначения
Волокнит	1,6	50	-60 ... +200	Шкивы, маховики, втулки, диски, кожухи, детали с повышенными антифрикционными свойствами
Текстолит	1,3	95	-40 ... + 160	Шестерни, втулки, подшипники скольжения, конструкционные и электроизоляционные детали
Асботекстолит	1,6	90	-60 ... +250	Тормозные и фрикционные устройства, лопатки ротационных бензонасосов, детали теплозащиты и теплоизоляции

3.2 Стекло

Стекло – это однородное аморфное вещество, получаемое при затвердевании расплава оксидов. В составе стекла могут присутствовать оксиды трех типов: стеклообразующие, модифицирующие и промежуточные. Стеклообразующими являются оксиды кремния, бора, фосфора, германия, мышьяка. К модифицирующим оксидам, введение которых понижает температуру плавления стекла и существенно меняет его свойства, относятся оксиды щелочных (*Na*, *K*) и щелочноземельных (*Ca*, *Mg*, *Ba*) металлов. Промежуточными являются оксиды алюминия, свинца, титана, железа. Они могут замещать часть стеклообразующих оксидов. Стеклообразующий каркас стекла представляет собой непрерывную пространственную решетку, в узлах которой расположены ионы, атомы или группировки атомов. Химический состав стекла можно изменять в широких пределах. Поэтому и свойства стекла могут быть различными.

По химическому составу в зависимости от природы стеклообразующих оксидов различают силикатное, алюмосиликатное, боросиликатное, алюмоборосиликатное и другие виды стекла.

В зависимости от содержания модификаторов стекло может быть щелочным и бесщелочным.

По назначению различают строительное (оконное, стеклоблоки), бытовое (стеклотара, посуда) и техническое (оптическое, электротехническое, химическое и др.) стекло. Состав некоторых промышленных стекол приведен в таблице 3.3.

Структура и свойства стекла определяются его химическим составом, условиями варки, охлаждения и обработки.

Таблица 3.3 – Состав некоторых промышленных стекол (% по массе)

Стекло	Химический состав										
	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	BaO	PbO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	SO ₃
Оконное	71.8	-	2	4.1	6.7	-	-	14.8	-	0.1	0.5
Тарное	71.5	-	3.3	3.2	5.2	-	-	16	-	0.6	0.2
Посудное	74	-	0.5	-	7.45	-	-	16	2	0.05	-
Хрусталь	56.5	-	0.48	-	1	-	27	6	10	0.02	-
Химико-лабораторное	68.4	2.7	3.9	-	8.5	-	-	9.4	7.1	-	-
Оптическое	41.4	-	-	-	-	-	53.2	-	5.4	-	-
Кварцовидное	96	3.5	-	-	-	-	-	0.5	-	-	-
Электроколбочное	71.9	-	-	3.5	5.5	2	-	16.1	1	-	-
Электровакуумное	66.9	20.3	3.5	-	-	-	-	3.9	5.4	-	-
Медицинское	73	4	4.5	1	7	-	-	8.5	2	-	-
Жаростойкое	57.6	-	25	8	7.4	-	-	-	2	-	-
Термостойкое	80.5	12	2	-	0.5	-	-	4	1	-	-
Термометрическое	57.1	10.1	20.6	4.6	7.6	-	-	-	-	-	-
Защитное	12	-	-	-	-	-	86	-	2	-	-
Радиационно стойкое	48.2	4	0.65	-	0.15	29.5	-	1	7.5	-	-
Стекловолоконное	71	-	3	3	8	-	-	15	-	-	-

Стекло – термопластичный материал, при нагреве оно постепенно размягчается и переходит в жидкость. Плавление происходит в некотором температурном интервале, величина которого зависит от химического состава стекла. Ниже температуры стеклования T_c стекло приобретает хрупкость. Для обычного силикатного стекла $T_c = 425 - 600$ °С. Выше температуры плавления стекло становится жидкостью. При этих температурах стекломасса перерабатывается в изделия.

Плотность стекла составляет $2,2 - 8,0$ г/см³. Стекло высокой плотности содержит значительные количества оксидов свинца и бария.

Стекло – жесткий, твердый, но очень хрупкий материал. Стекло хорошо сопротивляется сжатию ($400 - 600$ МПа), но характеризуется низким временным сопротивлением при испытаниях на растяжение ($30 - 90$ МПа) и изгиб ($50 - 150$ МПа). Более прочным является бесщелочное и кварцевое стекло.

Механические свойства стекла повышаются при термической и химической обработке. Термическая закалка стекла состоит в нагреве до температур, близких к точке размягчения, и быстром равномерном охлаждении поверхности в потоке воздуха или в масле. При этом в поверхностных слоях возникают напряжения сжатия, и прочность стекла возрастает в $2 - 4$ раза. Для изготовления приборов, работающих при повышенном давлении, применяют безосколочное стекло – триплекс.

Триплекс представляет собой комбинированное стекло, состоящее из двух и более закаленных слоев, склеенных прозрачной эластичной пленкой. Химическая обработка состоит в травлении поверхностного слоя раствором плавиковой кислоты с уничтожением поверхностных дефектов. Еще больший эффект достигается при комбинированной химико-термической обработке.

Важнейшим свойством стекла является прозрачность в диапазоне длин волн видимого света. Обычное листовое стекло пропускает до 90 %, а отражает около 8 % и поглощает около 1 % видимого света. Ультрафиолетовые лучи почти полностью поглощаются оконным стеклом.

Стекло имеет высокую химическую стойкость в агрессивных средах (за исключением плавиковой кислоты и щелочей). Вода постепенно разрушает стекло вследствие образования щелочных растворов. Чем выше температура и концентрация щелочных оксидов в стекле, тем сильнее проявляется действие воды. Стекло как технический материал широко используется в разных областях техники и народного хозяйства. Это объясняется благоприятным сочетанием физико-химических и механических свойств, возможностью изменять эти свойства в широких пределах в зависимости от состава стекла и способов термического воздействия, а также способностью стекла легко поддаваться разным способам горячей и холодной обработки.

Кварцевое стекло, состоящее практически из чистого кремнезема (99 % SiO_2), в зависимости от способа получения бывает двух типов: оптически прозрачное и непрозрачное. Кварцевое стекло отличается от всех известных стекол высокими физико-химическими свойствами: высокой жаростойкостью (1400°C), низким температурным коэффициентом линейного расширения, высокой термической (выдерживает перепад температур 800 – 1000 °C) и химической стойкостью, особенно к действию кислот (кроме плавиковой) и воды. Кварцевое стекло имеет высокие диэлектрические характеристики, прозрачно в видимой, ультрафиолетовой и частично инфракрасной областях. Кварцевое стекло, имеющее особенно высокую термическую и химическую стойкость в сочетании с низким температурным коэффициентом линейного расширения, применяется для изготовления тиглей, термопар, электровакуумных изделий, химически стойкой тары, труб, лабораторной посуды. Для защиты деталей от коррозии при температурах до 500 – 600 °C в машиностроении применяют стеклоэмали.

Стеклокристаллические материалы (ситаллы) получают из стекла путем его полной или частичной кристаллизации. Название «ситаллы» образовано из слов «стекло» и «кристаллы». Ситаллы иногда называют стеклокерамикой. Содержание кристаллической фазы в ситаллах может составлять до 95 %. Размер кристаллов обычно не превышает 1 – 2 мкм.

Ситаллы – плотные, непрозрачные, газонепроницаемые, жесткие и твердые материалы. Их механическая прочность в 2 – 3 раза выше, чем прочность стекла. Они хорошо сопротивляются абразивному износу. Сочетание низкого температурного коэффициента линейного расширения и высокой механической прочности придает им высокую термостойкость. Ситаллы характеризуются высокой химической стойкостью к действию кислот и щелочей и не подвержены

коррозии при нагреве до высоких температур. Ситаллы совершенно не поглощают влагу.

Благодаря сочетанию легкости, прочности, твердости и технологичности ситаллы находят широкое применение в машиностроении. Из них изготавливают подшипники скольжения, работающие без смазки при температуре до 550 °С, поршни и детали выхлопа двигателей внутреннего сгорания, химическую аппаратуру» фильеры для вытягивания синтетических волокон, рабочие колеса и лопатки насосов, перекачивающих агрессивные жидкости с абразивами. Ситаллы используют в качестве жаро- и износостойких эмалей для защиты металлических деталей. Ситалловые эмали могут работать при температурах до 800 – 900 °С.

3.3 Резины общего и специального назначения

Резины подразделяются на две группы: общего и специального назначения. К резинам общего назначения относятся резины на основе неполярных каучуков, натурального каучука, бутадиеновых, бутадиенстирольных, изопреновых каучуков и их комбинаций. Резины общего назначения могут работать в атмосферных условиях, в слабых растворах кислот и щелочей. В таблице 3.4 представлены основные типы резин и их характеристика.

Рабочий диапазон температур составляет от –35...–50° до 130...250 °С в зависимости от типа каучука. Выпускаются они в виде листов, пластин, рулонов, шнуров и др. Применяются для изготовления шин, приводных хремней, рукавов, транспортерных лент, кабельной изоляции и других резинотехнических изделий. Резины специального назначения выпускаются с учетом спецификовоздействия окружающей среды и условий эксплуатации и включают резины теплостойкие, маслбензостойкие, морозостойкие, стойкие к воздействию агрессивных сред, износостойкие, электротехнические, радиационностойкие и др.

Резина состоит из смеси каучука (основа), наполнителя (сажа, оксид кремния, оксид титана, мел, барит, тальк), смягчителя (канифоль, вазелин), противостарителя (парафин, воск) и агентов вулканизации (сера, оксид цинка).

Главным исходным компонентом резины, придающим ей высокие эластические свойства, является каучук. Каучуки бывают натуральные (НК) и синтетические (СК). Натуральный каучук получают коагуляцией латекса (млечного сока) каучуконосных деревьев, растущих в Бразилии, Юго-Восточной Азии, на Малайском архипелаге. Синтетические каучуки (бутадиеновые, бутадиен-стирольные и др.) получают методами полимеризации. Впервые синтез бутадиенового каучука полимеризацией бутадиена, полученного из этилового спирта, осуществлен в 1921 г. русским ученым С. В. Лебедевым. Разработаны методы получения синтетических каучуков на основе более дешевого сырья, например нефти и ацетилен.

Таблица 3.4 – Основные типы резин и характеристики каучуков

Вид резины	Вид каучука	Плотность, г/см ³	σ , МПа	δ , %	Удлинение после разрыва,%	Область рабочих температур, °С
Общего назначения	Натуральный (НК)	0,91	29	650	32	-50... +130
	Бутадиеновый синтетический (СКВ)	0,91	17	470	60	-50... +150
	Изопреновый синтетический (СКИ)	0,91	30	700	28	-50... +130
Специального назначения: бензомасло- стойкая теплостойкая теплохимически -стойкая морозостойкая	Бутадиен-нитрильный (СКН)	0,96	26	600	20	-40... +170
	Силоксановый(СКТ)	1,85	6	250	4	-70 ... +300
	Фторкаучук(СКФ)	1,85	17	200	8	-40 ... +300
	Бутадиенметил- стирольный(СКМС) и бутадиен-стирольный (СКС)	0,94	31	800	16	-80... +130

Каучуки являются полимерами с линейной структурой. При вулканизации они превращаются в высокоэластичные редкосетчатые материалы – резины. Вулканизирующими добавками служат сера и другие вещества. С увеличением содержания вулканизатора (серы) сетчатая структура резины становится более частой и менее эластичной. При максимальном насыщении серой (до 30 – 50 %) получают твердую резину (эбонит), при насыщении серой до 10 – 15 % – полутвердую резину. Обычно в резине содержится 5 – 8 % S. Для ускорения вулканизации вводят ускорители, например оксид цинка.

Кроме серы в состав резин входят наполнители, пластификаторы, противостарители и красители. Введение этих компонентов позволяет существенно менять специальные свойства резины, увеличивая ее износо-, морозо-, масло- и бензостойкость. Резиновые изделия часто армируют тканью или металлической сеткой. Для улучшения адгезии металлической арматуры к резине на поверхность металла наносят клеевую пленку.

Совокупность химических, физических и механических свойств позволяет использовать резиновые материалы для амортизации, демпфирования, уплотнения, герметизации, химической защиты деталей машин, при производстве тары для хранения масла и горючего, различных трубопроводов (шлангов), для изготовления покрышек и камер колес автотранспорта, декоративных изделий и т. д. Номенклатура резиновых изделий чрезвычайно разнообразна.

Резины общего назначения применяют для изготовления камер и шин, ремней, транспортных лент, рукавов, изоляции кабелей и проводов, производства товаров народного потребления и др. Из резин специального назначения различают бензомаслостойкие, морозостойкие, теплостойкие, стойкие к действию агрессивных сред. Нижней границей рабочих температур резин специального назначения является температура до –80 °С, резин общего назначения – до –35 ... –50 °С.

3.4 Герметики и клеи

Герметиками называют материалы, используемые для уплотнения неподвижных соединений, эксплуатируемых в условиях воздействия высоких и низких температур, вакуума, различных агрессивных сред и излучений, с целью предотвращения утечки рабочей среды или проникновения внешней среды в соединения. Герметики широко используются в машинно-, автомобиле- и судостроении для уплотнения сварных швов кузовов, различных емкостей, защиты днищ и крыльев машин от коррозии, уплотнения болтовых, заклепочных, фланцевых соединений и др. Герметики также применяются в радиотехнической промышленности для герметизации электронных блоков, работающих на открытом воздухе или в агрессивных средах. Также большое количество герметиков используется в строительстве для уплотнения стыков стальных панелей, оконных и дверных проемов, защиты сварных соединений и др. Для выполнения своих функций герметики должны обладать жизнеспособностью, липкостью, пластичностью, хорошей адгезией и другими свойствами. Основой для герметиков в основном являются синтетические каучуки и олигомеры, а также полимеры, битумы и другие вещества, обладающие низкой эластичностью. В зависимости от основы герметики подразделяются на вулканизирующиеся, невысыхающие и высыхающие.

Невысыхающие герметики представляют собой термопластичные материалы, которые при определенной температуре способны переходить в вязкотекучее состояние, а при охлаждении – вновь в пластическое или пластоэластическое состояние. Основой их являются каучуки с низкой непредельностью (содержащие небольшое количество двойных связей) или полностью насыщенные каучуки – полиизобутиленовый, этиленпропиленовый, бутилкаучук. Герметики этого типа не требуют вулканизации, обладают высокой стойкостью к воздействиям атмосферных факторов, озона, кислот и щелочей, окислителей, обладают хорошими диэлектрическими свойствами, газо- и водонепроницаемостью. Невысыхающие герметики широко применяются для уплотнения разъемных и неразъемных соединений, а также уплотнения различного рода стыков и швов.

Высыхающие герметики также относятся к термопластичным материалам и представляют собой растворы резиновых смесей в органических растворителях. После нанесения на поверхность и улетучивания растворителя они становятся эластичными. Основой этих герметиков являются высокомолекулярные вулканизирующиеся каучуки – бутадиен-стирольные, бутадиен-нитрильные, хлоропреновые и другие, а также невулканизирующиеся каучуки – изопрен-стирольные, уретановые и другие в сочетании с различными смолами. Высыхающие герметики выпускаются однокомпонентными, при загустевании их можно доводить до нужной вязкости

растворителями. Высыхающие герметики применяются для поверхностной и, ограниченно, для внутришовной герметизации.

Вулканизирующиеся (отверждающиеся) герметики представляют собой жидкие или вязкотекучие пасты, переходящие при воздействии теплоты и специальных агентов в процессе вулканизации (отверждения) в эластичные газо- и гидронепроницаемые материалы, хорошо уплотняющие соединения. Эти герметики представляют собой терморезистивные материалы, основой которых являются низкомолекулярные каучуки или олигомеры с реакционноспособными группами (*ОН, СООН, SH, Cl, NCO* и др.), полисульфидные низкомолекулярные каучуки (жидкие тиоколы), силоксановые, фторсилоксановые, олигомерные, углеводородные каучуки и др. Они обычно состоят из 2 – 3 компонентов (вулканизирующие агенты, ускорители вулканизации, отвердители), которые поставляются раздельно и смешиваются в определенной пропорции перед применением. При вулканизации усадка практически отсутствует. Вулканизирующиеся герметики применяют главным образом для неразъемных соединений. Вулканизация может производиться путем обработки, нагретым воздухом или нейтральным газом, выдержки в термостате или печи, местного прогрева с помощью токов высокой частоты, направленного лучеоблучения и др.

Наиболее универсальными и распространенными среди вулканизирующихся герметиков являются тиоколовые герметики. Они обладают удовлетворительными физико-механическими, адгезионными и диэлектрическими свойствами, высокой эластичностью, стойки к воздействию атмосферных факторов, озона, радиации, горюче-смазочных материалов, разбавленных кислот и щелочей. Эти герметики обеспечивают эксплуатацию изделия при температурах от -60 до $+130$ °С. С целью повышения их адгезии к металлам и стеклу на поверхность наносят клеевой подслои. С течением времени происходит старение герметиков, увеличивается их жесткость, прочность при разрыве снижается незначительно. Из тиоколовых герметиков широкое применение для герметизации металлических, древесных и других соединений, работающих в среде разбавленных кислот и щелочей, жидкого топлива и на воздухе, в контакте с морской водой и при воздействии радиации, получили герметики У-30М и УТ-31 с клеевым подслоем. Недостатками тиоколовых герметиков является нежелательность использования их в контакте с серебряными, медными и латунными поверхностями, малое сопротивление износу. Процесс герметизации включает следующие технологические операции: приготовление герметика, подготовку поверхностей деталей или узлов, нанесение герметика, его вулканизацию или отверждение (если это необходимо).

Для герметизации металлических соединений, контактирующих с водой и топливом, применяют высыхающий герметик ВГК-18, для защиты металлических поверхностей от разбавленных минеральных кислот и щелочей – 51-Г-10. Защиту от коррозионного и абразивного разрушения обеспечивает герметик 51-Г-14. По теплостойкости герметики подразделяются на три класса: низкой теплостойкости до $50...70$ °С, средней – до $100...150$ °С и высокой свыше 200 °С. Теплостойкие силоксановые герметики

изготавливают на основе жидких силиконовых каучуков. Они обладают высокой эластичностью, свето- и атмосферостойкостью, стойки к ультрафиолетовому излучению, разбавленным кислотам и щелочам, гидрофобны и газонепроницаемы, устойчивы в условиях тропического климата, нетоксичны, теплостойки при температурах до 200..300 °С, имеют хорошие диэлектрические и технологические свойства. Однако у них невысокая прочность и низкое сопротивление истиранию. В различных отраслях промышленности получили широкое применение такие силиконовые герметики, как ВИКСИНТ. У-1-18, У-5-21, У-2-28, К-18, КЛТ-30, КЛСЕ, ВГО-1, ВГО-2, эластосил 11.01, КАВСЕ-305 и др. Для повышения адгезии силиконовых герметиков к металлическим поверхностям применяют специальные грунты и подслои на основе аминсиланов. На основе фторсодержащих каучуков изготавливают тепло-топливостойкие герметики типа ВГФ-1, ВГФ-2, 51-Г-15, 51-Г-1, 51-Г-2 с теплостойкостью до 250 °С. Для повышения адгезии их применяют с клеевым подслоем. Герметики данного типа используют в основном для поверхностной герметизации.

Клеи. *Склеивание* — это метод получения неразъемного соединения деталей при помощи адгезионного взаимодействия клея с подложкой с последующим отверждением клеевой прослойки. Клеевой шов способен выдерживать и передавать нагрузку. Преимуществами склеивания являются: возможность соединения разнородных материалов; сохранение исходных свойств склеиваемых материалов; герметичность клеевого шва; равномерное распределение нагрузок по площади клеевого шва; экономичность технологии.

К недостаткам склеивания относят: пониженную по сравнению с другими способами соединения прочность и теплостойкость; необходимость изменения конструкции деталей для оптимального размещения клеевых швов.

Для хорошего адгезионного взаимодействия требуется обеспечить контакт подложки и клея на молекулярном уровне. Для этого нужно, чтобы клей был жидким и смачивал подложку, а на поверхности склеивания не было загрязнений (оксидов, пленок смазочных материалов и др.).

Процесс склеивания включает в себя подготовку поверхностей обеих деталей, приготовление и нанесение клея, формирование соединения. Для получения клеевого шва требуемого качества отверждение клея проводят под определенным давлением, не допуская смещения соединяемых поверхностей.

Прочность адгезии отражает комбинированное действие между подложкой и клеем следующих сил взаимодействия: сил Ван-дер-Ваальса, водородных и химического сродства (валентных и координационных). Если взаимодействие ограничено только силами Ван-дер-Ваальса, то прочность адгезии не может обеспечить требуемое качество клеевого шва. Плохо склеиваются неполярные полимеры – полиэтилен, полипропилен, фторопласт-4.

Для усиления адгезии и улучшения смачиваемости поверхности склеивания специально обрабатывают. Различают физические и химические операции обработки поверхности. Первые включают шлифование, ионную бомбардировку, обработку режущим инструментом, ультразвуком, растворителями. Вторые предусматривают травление, фосфатирование или

анодирование. Физические операции сглаживают грубые неровности на поверхности, удаляют ржавчину и грязь. И физические, и химические операции увеличивают концентрацию центров адгезии.

Клеи разделяют на органические и неорганические, органические, в свою очередь, подразделяют на природные и синтетические. Природные клеи животного происхождения получают переработкой костей, крови животных, молока. К ним относятся глютиновые, казеиновые, альбуминовые клеи. Растительные клеи включают натуральный каучук, гутаперчу, крахмалы и агар-агар из морских водорослей.

Синтетические полимерные клеи подразделяют на *термопластичные* и *терморективные*. Особенности термопластичных клеев являются невысокая теплостойкость и гибкие, нехрупкие клеевые пленки. Эти клеи применяют при температурах эксплуатации не выше 60 °С. Терморективные клеи отличаются повышенной теплостойкостью и прочностью; они обеспечивают работоспособность клеевых швов до 200... 300 °С, а клеи на основе кремнийорганических полимеров – до 1200 °С, т.е. на уровне неорганических клеев. Отверждение терморективных полимеров возможно без нагрева, но прочность клеев холодного отверждения ниже прочности аналогичных клеев горячего отверждения. Неорганические клеи представляют собой водные системы без органических растворителей. Больше всего применяют алюмофосфатные растворы, получаемые растворением $Al(OH)_3$ в 65%-ной H_3PO_4 . При отношении $P_2O_5 : Al_2O_3 = 3...4$ получаются вязкие пересыщенные растворы, которые и служат клеями. В машиностроении природные клеи для склеивания металлов не применяют из-за невысокой прочности клеевых швов, низкой водостойкости и подверженности большинства клеев грибковым болезням. Эти клеи используют для склеивания бумаги, древесины, ряда текстильных изделий.

Клей характеризуется концентрацией, вязкостью, жизнеспособностью, адгезией (после склеивания). Оптимальные свойства имеют клеевые швы малой толщины (0,05... 0,25 мм). Концентрация клея характеризуется относительной массой навески после высушивания при 100... 120 °С и выражается в процентах.

Вязкость клея является важнейшим технологическим параметром. Для обеспечения вязкости клеи наносят в виде растворов, дисперсий (эмульсий), расплавов. Используют водные растворы и эмульсии, растворы на основе мономеров, жидкие олигомеры (полимеры с низкой молекулярной массой). После нанесения клея на поверхность склеивания требуется открытая выдержка для удаления растворителя. Полное удаление растворителя означает схватывание (затвердевание) клея, часть растворителя нужно оставить, чтобы обеспечить формирование клеевого шва. Неполное удаление растворителя понижает прочность шва, является причиной появления пор. Этот недостаток ограничивает применение клеев-растворов, особенно с органическими растворителями, огнеопасными, часто токсичными и, безусловно, экологически вредными.

Схватывание клея сопровождается усадкой и появлением напряжений в клеевом шве. Для уменьшения усадки в клеевой композиции используют

наполнители, которые, кроме того, сближают значения коэффициентов теплового расширения клея и подложки (металла, керамики, пластмассы). Уменьшение усадки и близость коэффициентов расширения клея и склеиваемого материала означают снижение остаточных напряжений в клеевом шве и повышение его надежности. Схватывание термопластичного клея происходит при удалении растворителя, в результате полимеризации мономеров или олигомеров, при охлаждении ниже температуры кристаллизации (стеклования), если клей нанесен в расплавленном состоянии. Схватывание термореактивного клея обеспечивается в результате взаимодействия полимера с отвердителем и образования сетчатой структуры.

Жизнеспособность клея – это время с момента смешивания компонентов клен до начала желатинизации, когда клей невозможно наносить,

Адгезию клея оценивают по сопротивлению равномерному отрыву или срезу специальных образцов. Прочность на срез $\tau = 10...30$ МПа; прочность равномерного отрыва $\sigma_{от} = 80... 90$ МПа. Разрушение клеевых швов, как правило, носит смешанный адгезионный характер.

Для обеспечения требуемых свойств используют многокомпонентные клеевые композиции, в состав которых входят: связующее, носитель, катализаторы, отвердители, ускорители, ингибиторы, замедлители и различные модифицирующие добавки. *Связующее* — основа клея, которая определяет свойства клеевого соединения. *Носителем* клея выступает растворитель, пленка, бумага, различные ткани. Растворитель сообщает клею необходимую вязкость для нанесения слоя однородной толщины. *Катализаторы и отвердители* обеспечивают отверждение клея, при этом катализаторы остаются без изменения, а отвердители реагируют со связующим и обеспечивают образование сетчатой структуры. Количество катализатора должно быть выше некоторого критического значения. Присутствие катализатора и отвердителя не требуется в термопластичном клее.

Ингибиторы и замедлители используют для предотвращения нежелательного отверждения при хранении клея, увеличивая тем самым его сроки годности. Ускорители смешивают с клеем перед его употреблением, нейтрализуя тем самым действие ингибиторов и замедлителей.

Разнообразные *модифицирующие, добавки* – наполнители, пластификаторы, стабилизаторы и другие – вводят для улучшения технологических свойств, уменьшения остаточных напряжений и снижения хрупкости клеевого шва.

Анаэробные клеи отверждаются по механизму полимеризации при отсутствии кислорода. Кислород является ингибитором полимеризации, поэтому схватывание клея происходит после сборки соединения в узком зазоре, где формируется клеевой шов. Анаэробные клеи поставляют в виде жидкого мономера с органическим оксидом, действующим как отвердитель при отсутствии кислорода.

3.5 Древесина. Механические свойства. Пиломатериалы, древесные материалы. Способы защиты

Древесина – это материал, получаемый из срубленного и очищенного от коры и ветвей ствола дерева. Деревья разных пород делятся на лиственные и хвойные. Свойства древесины определяются породой дерева, ее строением и тем, к какой части ствола она относится. Для столярных работ лучше всего применять древесину хвойных пород: она хорошо строгается, прочно склеивается, красится, не коробится и не рассыхается.

В центральной части ствола расположена сердцевина из рыхлой ткани, окруженная кольцами. Ядро находится в середине и отличается наибольшей плотностью, стойкостью против загнивания, а также более темным цветом, чем внешняя часть — заболонь, которая менее ценна, чем ядро. Однако не все деревья имеют такую внутреннюю структуру, их классифицируют следующим образом.

Ядровые: сосна, лиственница, дуб, ясень — имеющие светлую заболонь и темное ядро.

Заболонные: белый бук, клен, береза; у этих пород нет темного ядра.

Спелодревесные: ель, пихта, красный бук, липа; у этих деревьев древесина не делится на ядро и заболонь, но внутренние слои более прочные и спелые, как и у ядровых пород.

К числу важных свойств древесины относится плотность. Она определяет многие другие ее свойства, в первую очередь прочность. Чем больше плотность, тем древесина прочнее, тяжелее и тверже, но тем сложнее ее обработка. Самым легким является бальзовое дерево, его плотность составляет $0,15 \text{ т/м}^3$; наиболее тяжелыми – бакаут и самшит ($1,1 \text{ т/м}^3$).

Древесина любой породы имеет свойство коробиться и набухать под влиянием тепла и влажного воздуха.

Влажная древесина быстро загнивает, плохо склеивается: изготовленные из нее предметы коробятся, растрескиваются. Целесообразнее всего работать с древесиной содержащей влаги не более 18% от массы древесины, в свежесрубленном дубе эта величина составляет 50 – 70 %. Поэтому для получения древесины, пригодной для столярных работ, ее выдерживают на свежем воздухе от 1 до 3 лет. Высушенная древесина хорошо обрабатывается, прочно склеивается, красится, не коробится и не рассыхается.

Сосна. Древесина сосны имеет среднюю плотность, весьма высокую прочность и стойкость против загнивания; сравнительно долговечна, умеренно гибка и упруга; раскалываемость умеренная. Сравнительно легко обрабатывается, это один из лучших поделочных материалов; может применяться как для внутренних, так и для внешних конструкций; особенно часто используется для изготовления деревянных сооружений, полов и мебели.

Ель. По прочности и стойкости к загниванию несколько уступает сосне. Древесина легкая, мягкая, белая; очень гибкая и эластичная, выдерживает высокие нагрузки, легко раскалывается, имеет высокую прочность на разрыв. Из-за обилия сучков обрабатывается труднее и не столь чисто, как древесина

сосны. Малоустойчива к переменному действию влажной и сухой атмосферы. Применяется в строительстве, для различных поделок и изготовления музыкальных инструментов.

Пихта имеет прямой стройный ствол. У нее легкая и мягкая древесина, которая умеренно долговечна, обладает высокой прочностью на сжатие и изгиб, легко расщепляется. Из-за отсутствия смоляных ходов, по которым смола проникает во внутренние слои ствола, пихта менее стойка к загниванию, чем ель. Используется так же, как и сосна, и, кроме того, для изготовления музыкальных инструментов.

Лиственница. Ее древесина легкая, она тверже и богаче смолой, чем сосна, отличается высокой прочностью и эластичностью, легко раскалывается; мало дышит. Это самая твердая и долговечная древесина из хвойных пород. Обрабатывается трудно; хороша для строительных работ. Применяется для тех же целей, что и сосна.

Кедр. Более стоек к загниванию, чем сосна. Древесина желтоватого или красноватого цвета, легкая, легко режется; используется как строительный материал.

Дуб. Его древесина твердая, тяжелая, очень прочная и вязкая; стойкая против загнивания, хорошо гнется; исключительно долговечна, мало усыхает и набухает. Хорошо противостоит непогоде и мало изнашивается; сколь угодно долго сохраняется под водой. Долго пролежавший под водой дуб становится черным; он называется мореным. Часто используется для изготовления инструмента, деревянных пробок, паркетных и дощатых полов, порогов и дверей, мебели и гидротехнических сооружений.

Клен. Древесина плотная, твердая, хорошо обрабатывается. Область применения: детали мебели, музыкальных инструментов, рубанков и т.д.

Береза имеет однородную, средней плотности древесину. Используется в мебельном производстве как поделочный материал. Особо ценной является древесина карельской березы, которая идет на отделку мебели.

Липа. Древесина этого дерева однородная и мягкая, легко обрабатывается ножом, стамеской, резаками. Из нее делают фанеру, различные поделки, деревянную посуду, музыкальные инструменты.

Механические свойства древесины. К механическим свойствам древесины относятся: прочность, твердость, жесткость, ударная вязкость и другие.

Прочность — способность древесины сопротивляться разрушению от механических усилий, характеризующихся пределом прочности. Прочность древесины зависит от направления действия нагрузки, породы дерева, плотности, влажности, наличия пороков.

Существенное влияние на прочность древесины оказывает только связанная влага, содержащаяся в клеточных оболочках. При увеличении количества связанной влаги прочность древесины уменьшается (особенно при влажности 20 – 25 %). Дальнейшее повышение влажности за предел гигроскопичности (30 %) не оказывает влияния на показатели прочности древесины. Показатели пределов прочности можно сравнивать только при

одинаковой влажности древесины. Прочность древесины измеряют в Н/см²(МПа) поперечного сечения образца в месте разрушения (таблица 3.5).

Сопротивление древесины определяют как вдоль волокон, так и в радиальном и тангенциальном направлении. Различают основные виды действий сил: растяжение, сжатие, изгиб, скалывание. Прочность зависит от направления действия сил, породы дерева, плотности древесины, влажности и наличия пороков. Свойства древесины приведены в таблице ниже.

Прочность древесины при растяжении поперёк волокон очень мала и в среднем составляет 1/20 часть от предела прочности при растяжении вдоль волокон. Поэтому древесина почти не применяется в деталях, работающих на растяжение поперёк волокон.

Твёрдость – это свойство древесины сопротивляться внедрению тела определённой формы. Твёрдость торцевой поверхности выше твёрдости боковой поверхности (тангенциальной и радиальной) на 30 % у лиственных пород и на 40% у хвойных. По степени твердости все древесные породы можно разделить на три группы: а) мягкие – торцевая твёрдость 40 МПа и менее (сосна, ель, кедр, пихта, можжевельник, тополь, липа, осина, ольха, каштан); б) твердые – торцевая твердость 40,1 – 80 МПа (лиственница, сибирская берёза, бук, дуб, вяз, ильм, карагач, платан, рябина, клён, лещина, орех грецкий, хурма, яблоня, ясень); в) очень твердые – торцевая твердость более 80 МПа (акация белая, береза железная, граб, кизил, самшит, фисташки, тис).

Таблица 3.5 – Основные технические свойства различных древесных пород

Порода дерева	Коэффициент усушки, %		Механическая прочность для древесины с 15 %-ной влажностью, МПа			
	в радиальном направлении	в тангенциальном направлении	на сжатие вдоль волокон	на изгиб	скалывание	
					в радиальной плоскости	в тангенциальной плоскости
Хвойные древесные породы						
Сосна	0,18	0,33	43,9	79,3	6,9	7,3
Ель	0,14	0,24	42,3	74,4	5,3	5,2
Лиственница	0,22	0,40	51,1	97,3	8,3	7,2
Пихта	0,9	0,33	33,7	51,9	4,7	5,3
Твердолиственные древесные породы						
Дуб	0,18	0,28	52,0	93,5	8,5	10,4
Ясень	0,19	0,30	51,0	115	13,8	13,3
Береза	0,26	0,31	44,7	99,7	8,5	11
Клен	0,21	0,34	54,0	109,7	8,7	12,4
Ильм	0,22	0,44	48,6	105,7	-	13,8
Вяз	0,15	0,32	38,9	85,2	7	7,7
Мягколиственные древесные породы						
Осина	0,2	0,32	37,4	76,6	5,7	7,7
Липа	0,26	0,39	39	68	7,3	8
Черная ольха	0,16	0,23	36,8	69,2	-	-
Черная осина	0,16	0,31	35,1	60	5,8	7,4

Твердость древесины имеет существенное значение при обработке её режущими инструментами: фрезеровании, пилении, лущении, а также в тех

случаях, когда она подвергается истиранию при устройстве полов, лестниц перил (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Твердость древесины

Порода дерева	Твердость, МПа		
	для поверхности поперечного разреза	для поверхности радиального разреза	для поверхности тангентального разреза
Липа	19,0	16,4	16,4
Ель	22,4	18,2	18,4
Осина	24,7	17,8	18,4
Сосна	27,0	24,4	26,2
Лиственница	37,7	28,0	27,8
Береза	39,2	29,8	29,8
Бук	57,1	37,9	40,2
Дуб	62,2	52,1	46,3
Граб	83,5	61,5	63,5

Ударная вязкость характеризует способность древесины поглощать работу при ударе без разрушения и определяется при испытаниях на изгиб. Ударная вязкость у древесины лиственных пород в среднем в 2 раза больше, чем у древесины хвойных пород. Ударную твёрдость определяют, сбрасывая стальной шарик диаметром 25 мм с высоты 0,5 м на поверхность образца, величина которого тем больше, чем меньше твердость древесины.

Износостойкость – способность древесины сопротивляться износу, т.е. постепенному разрушению её поверхностных зон при трении. Испытания на износостойкость древесины показали, что износ с боковых поверхностей значительно больше, чем с поверхности торцевого разреза. С повышением плотности и твёрдости древесины износ уменьшился. У влажной древесины износ больше, чем у сухой.

Способность древесины удерживать металлические крепления: гвозди, шурупы, скобы, костыли и др. — важное ее свойство. При забивании гвоздя в древесину возникают упругие деформации, которые обеспечивают достаточную силу трения, препятствующую выдёргиванию гвоздя. Усилие, необходимое для выдёргивания гвоздя, забитого в торец образца, меньше усилия, прилагаемого к гвоздю, забитому поперёк волокон. С повышением плотности сопротивление древесины выдергиванию гвоздя или шурупа увеличивается. Усилия, необходимые для выдергивания шурупов (при прочих равных условиях), больше, чем для выдергивания гвоздей, так как в этом случае к трению присоединяется сопротивление волокон перерезанию и разрыву.

Состав древесины. Древесина преимущественно состоит из сложных органических соединений. Органические вещества можно представить четырьмя основными группами:

- целлюлоза;
- гемицеллюлозы;
- лигнин;
- экстрактивные вещества.

В состав древесины входит порядка 45 – 60 % целлюлозы, 15 – 35 % лигнина и 15 – 25 % гемицеллюлоз. Количество экстрактивных веществ в значительной мере зависит от породы и неодинаково в заболони и ядровой древесине. Содержание минеральных веществ (зольность) древесины обычно значительно меньше 1 %. Минеральные вещества преимущественно представлены солями кальция и магния.

Элементарный химический состав древесины всех пород практически одинаков. Органическая часть абсолютно сухой древесины содержит в среднем 49 – 50 % углерода, 43 – 44 % кислорода, около 6 % водорода и 0,1 – 0,3 % азота. При сжигании древесины остается ее неорганическая часть – зола (0,1 – 1, %). В состав золы входят кальций, калий, натрий, магний, в меньших количествах фосфор, сера и другие элементы. Они образуют минеральные вещества, большая часть которых (75 – 90 %) не растворима в воде.

Пиломатериалы. Ствол можно распилить на брусья, бруски, доски, обаполы, пластины и четвертины. Пиломатериалы с опиленными кромками называются обрезными, с неопиленными – необрезными.

Бруски имеют толщину 50 – 100 мм, а ширину – не более двойной толщины. Они могут быть чисто обрезными или иметь оставшуюся нетронутой боковую поверхность бревна – так называемый обзол. Малоформатный брусок называется рейкой.

Доски бывают обрезные, необрезные и односторонне обрезные толщиной 16 – 100 мм, шириной до 275 мм и длиной до 6,5 м. Широкую часть доски называют пластью, узкую – кромкой, концевую грань – торцом. Пласть, «смотрящая» на периферию бревна, называется наружной (или правой), а на ядро бревна – внутренней (левой).

Обаполы – это отходы, остающиеся от распиловки бревен. Они имеют вид части цилиндра, отсеченного плоскостью, параллельной оси цилиндра.

Пластины получают при распиловке бревен пополам вдоль волокна, а четвертины – распиливанием пластин по длине на две равные части.

Древесные материалы (ДМ). Это конструкционные, изоляционные и поделочные материалы, производимые на основе древесины. Технология – горячее прессование древесных опилок, стружек, волокон, которые смешиваются со связующим веществом, либо склеивание листов лущеного шпона – тонких листов древесины, получаемых лущением коротких бревен на специальных стенках. ДМ в ряде случаев имеют преимущества по сравнению с натуральной древесиной, в частности, превосходят ее по эксплуатационным свойствам, а также по габаритам. К ДМ относятся следующие материалы: фанера, древесно-волоконистые плиты (ДВП), древесно-стружечные плиты (ДСП), древесные пластики.

Фанера. Этот вид ДМ склеивают из листов лущеного шпона, причем в смежных слоях волокна древесины расположены перпендикулярно друг к другу. В производстве фанеры используют древесину сосны, ели, лиственницы, березы, бука, клена, граба.

Фанера из древесины как твердых, так и мягких пород выпускается нескольких типов и сортов, которые различаются назначением, сроком службы,

внешним видом и стоимостью. По назначению – строительная, промышленная, упаковочная, мебельная, и конструкционная. По видам фанеры часто разделяют на два популярных вида – ФК (влагостойкая) и ФСФ (повышенной влагостойкости). По типу обработки – ламинированная. По внешнему виду (определяется количеством сучков на квадратный метр поверхности наружного слоя шпона): Е (элита), I, II, III, IV.

сорт Е (элита). Дефекты не допускаются, кроме незначительных изменений случайного характера в строении древесины;

сорт I. Максимальная длина покоробленности или трещин для фанеры первого сорта не должна превышать 20 мм;

сорт II. Допускаются трещины до 200 мм, вставки из древесины, просачивание клея площадью до 2 % от общей площади листа фанеры;

сорт III. Допускаются червоточины до 10 шт. на квадратный метр при диаметре каждой не более 6 мм; общее количество перечисленных пороков не может быть больше 9;

сорт IV. Фанера 4 сорта является крайне низкокачественной. Такая фанера может иметь следующие пороки: частично сросшиеся и выпавшие сучки – без ограничения; червоточины диаметром до 40 мм без ограничения; дефекты кромок листа глубиной до 5 мм.

Существует также классификация по материалу, из которого изготавливается фанера. Хвойная фанера (изготавливается из шпона хвойных пород деревьев: лиственницы, сосны, пихты, ели). Иногда для изготовления фанеры используется шпон кедра – такая фанера используется в декоративных целях. Для хвойной фанеры обязательным является содержание хвойного шпона в наружных слоях — внутренние могут содержать шпон лиственных пород древесины. Березовая фанера (изготавливается из шпона берёзы) получила распространение практически во всех областях, но из-за относительно более высокой стоимости в строительстве используется не так широко, как хвойная.

По пропитке фанера различается на несколько видов:

1) Влагостойкая фанера – материал, обработанный специальным образом для увеличения сопротивления влаге. Максимально увеличить влагостойкие характеристики фанеры может помочь ламинирование.

2) ФСФ (фанера, изготавливаемая с применением смоляного фенолформальдегидного клея). Эта фанера характеризуется относительно высокой износоустойчивостью, механической прочностью и высокой влагостойкостью. ФСФ – один из самых популярных видов фанеры, используется в строительстве, производстве, кровельных работах.

3) ФК (фанера, получаемая при приклеивании шпонов карбамидным клеем). Обладая меньшими влагостойкими характеристиками, ФК используется преимущественно при внутренней отделке помещений, в мебельном производстве, при изготовлении деревянной тары, при работе с конструкциями внутри помещения.

4) ФБ (фанера, пропитанная бакелитовым лаком, впоследствии склеивается). Этот вид обладает максимальной сопротивляемостью воздействию

агрессивной среды и может использоваться в условиях тропического климата, при повышенной влажности и даже под водой.

5) БС (фанера, пропитанная бакелитовым клеем, С – спирторастворимый). Эта фанера обладает фантастическими свойствами – сверхвысокой прочностью, стойкостью к агрессивным средам, гибкостью, упругостью, водонепроницаема, не гниет, не раскисает. Ее ещё называют авиационная фанера за то, что раньше использовалась только в авиа- и судостроении.

6) БВ (фанера, пропитанная бакелитовым клеем, В – водоорастворимый). Эта фанера обладает теми же свойствами, что и предыдущая, за исключением влагостойкости, т.к. клей, применяемый при склеивании слоев – водорастворим.

По виду обработки поверхностей фанеру различают:

НШ – нешлифованная фанера;

Ш1 – материал, шлифованный с одной стороны;

Ш2 – материал шлифованный с двух сторон.

Древесно-волоконистые плиты – это древесный материал, представляющий собой спрессованную в плиты волокнистую массу из измельченной и расщепленной древесины.

ДВП бывают трех типов: мягкие (марка обозначается буквой "М"), твердые ("Т") и сверхтвердые ("СТ"). Наиболее распространенной маркой древесноволокнистой плиты является ТСН-40 – твердая плита, высокой прочности. Размеры плит: длина 1200 – 5500 мм, ширина 1000 – 2140 мм, толщина 2,5 – 12 мм. Лицевая сторона ДВП может быть отделана древесной массой тонкого помола с наполнителем и красителем, полимерными пленками и т.п. ДВП с отделанной лицевой стороной называется оргалитом. Для повышения эксплуатационных качеств в древесную массу добавляют канифоль или парафин (для увеличения влагостойкости), синтетические смолы (для повышения прочности), антисептики. Древесно-волоконистые плиты широко применяются для звуко- и теплоизоляции, изготовления мебели, тары; кроме того, эти плиты используются в качестве декоративного и поделочного материала.

МДФ (древесноволокнистая плита средней плотности) изготавливается из мелких опилок дерева. При этом между собой частицы склеиваются не вредными формальдегидными смолами, а экологически чистым лигнином или парафином. За рубежом МДФ с каждым годом становится все популярнее.

Древесно-стружечные плиты (ДСП) – это ДМ, представляющий собой спрессованные в плиты древесные стружки со связующим веществом, чаще всего синтетическими смолами. ДСП, как и ДВП, классифицируют по их плотности: с очень малой плотностью ($350 - 450 \text{ кг/м}^3$), малой ($450 - 650 \text{ кг/м}^3$), средней ($650 - 750 \text{ кг/м}^3$) и высокой ($700 - 800 \text{ кг/м}^3$) (таблица 3.7).

В зависимости от расположения волокон древесины шпона в смежных слоях и назначения древесные слоистые пластики изготавливают следующих марок: ДСП-А; ДСП-Б; ДСП-Б-э; ДСП-Б-м; ДСП-Б-т; ДСП-Б-о; ДСП-В; ДСП-В-э; ДСП-В-м; ДСП-Г; ДСП-Г-м. Буквы А, Б, В, Г указывают порядок укладки шпона в пластике. Например А — волокна древесины шпона во всех слоях

имеют параллельное направление или каждые 4 слоя с параллельным направлением волокон древесины шпона чередуются с одним слоем, имеющим направление волокон под углом 20 – 25° к смежным слоям. Буквы э, м, т, о определяют назначение материала. Древесные слоистые пластики изготавливают прямоугольной формы в виде листов толщиной менее 15 мм и плит толщиной от 15 до 60 мм. Длиной от 700 до 5600 мм, шириной от 950 до 1500 мм.

Таблица 3.7 – Свойства ДСП

Свойство	Значение
предел прочности при сжатии	100 – 180 МПа
предел прочности при растяжении	140 – 280 МПа
предел прочности при изгибе	150 – 280 МПа
ударная вязкость	25 – 80 кДж/м ²
твёрдость по Бринеллю	250 МПа
водопоглощение за 24 ч	5 – 15 %

ДСП стойки в трансформаторном масле, уксусном альдегиде, моторном топливе, бутаноле, стироле; нестойки в окислителях, сильных кислотах и щелочах. Перерабатывают в изделия механической обработкой на обычных станках со специальными инструментами.

ДСП выпускают необлицованные и облицованные шпоном, бумагой, синтетической пленкой. Несомненным достоинством ДСП является то, что они хорошо обрабатываются, красятся, клеиваются, что находит применение в производстве мебели, строительных работах, а также в качестве декоративного и поделочного материала. Недостатком ДСП можно назвать низкую влагостойкость.

Способы защиты древесины. Одним из основных средств борьбы с деревопоражающими грибами и насекомыми являются химические меры защиты древесины, включающие в себя такие процессы, как антисептирование и консервирование.

Антисептирование древесины – процесс поверхностного нанесения на древесину защитного средства, препятствующего развитию в древесине биологических разрушителей.

К антисептированию относят следующие методы химической обработки:

- нанесение антисептических растворов кистью;
- нанесение защитных средств на поверхность древесины при помощи распылителей;
- кратковременное погружение деревянных деталей в растворы с подогревом или без подогрева.

Консервирование древесины — процесс введения защитных составов в глубокие слои древесины. К консервированию относят следующие методы химической защиты:

- автоклавная пропитка;
- пропитка в горяче-холодных и паро-холодных ваннах;
- диффузионная пропитка.

В последнее время широкое распространение получила пропитка древесины под атмосферным давлением с предварительным вакуумированием.

Во всём мире, для пропитки древесины активно используют антисептики на водной основе.

По пропитываемости защитными средствами породы древесины подразделяются на 3 группы:

- легкопропитываемые – заболонь сосны обыкновенной, березы, бука;
- умеренно пропитываемые – заболонь сибирской сосны (кедра), европейской лиственницы, граба, дуба, клёна, ольхи, липы и осины, ядро сибирской сосны (кедра), обыкновенной сосны, осины и ольхи;
- труднопропитываемые – заболонь ели, сибирской лиственницы, пихты, ядро ели, европейской и сибирской лиственницы, пихты, березы, дуба, вяза, бука и ясеня.

На проникаемость защитного состава в материал существенное влияние оказывает предпропиточная влажность древесины.

Для того чтобы древесина могла поглотить достаточное количество раствора, важно, чтобы природные пустоты в ней не были заполнены свободной влагой, поэтому консервированию подвергают только древесину, высушенную до определенной влажности.

Способы пропитки древесины выбираются в зависимости от назначения пропитываемого материала, условий его службы и вида защитного состава. Вот некоторые из наиболее распространённых способов пропитки:

- автоклавный под давлением выше атмосферного;
- прогрев – холодная ванна;
- нанесение на поверхность;
- автоклавно-диффузионный;
- совмещенная сушка-пропитка.

По пропитываемости защитными средствами породы древесины подразделяют на следующие группы: легкопропитываемые, умеренно пропитываемые, трудно пропитываемые.

Классификация древесины по стойкости к гниению. ГОСТ 20022.2-80 устанавливает классификацию древесины по: стойкости к гниению и пропитываемости защитными средствами; скорости расконсервирования и уязвимости объектов защиты; классификацию защитных средств древесины. По стойкости к гниению породы древесины подразделяют на 4 класса: стойкие, среднестойкие, малостойкие и нестойкие, причём классификация ведётся как по заболони, так и по ядру.

Таблица 3.8 – Классификация древесины по стойкости к гниению

Класс	Порода древесины	
	заболонь	ядро
Стойкие	Обыкновенная сосна, ясень	Сибирская сосна (кедр), лиственница, обыкновенная сосна, дуб, ясень
Среднестойкие	Ель, сибирская сосна	Ель, пихта, бук

	(кедр), лиственница, пихта	
Малостойкие	Береза, бук, вяз, граб, дуб, клен	Вяз, клен
Нестойкие	Липа, ольха, осина	Береза, липа, осина, ольха

3.6 Картон. Свойства картона

Картон – твердый листовой или полотнообразный материал толщиной от 0,3 до 5 мм, вырабатываемый подобно бумаге из волокнистой массы. Сырьем для выработки картона служат главным образом термомеханическая масса, полуцеллюлоза, небеленая целлюлоза, макулатура. Применяются также синтетические и минеральные волокна.

Наиболее распространенным картоном, применяемым в упаковочной отрасли, является гофрированный картон (гофрокартон, Corrugated board), под этим понятием подразумевается тарный картон, состоящий из чередующихся, склеенных между собой плоских и гофрированных слоев, предназначенный для изготовления коробок (гофрокоробов) и ящиков.

Виды картона. По сфере применения различают три вида картона:

- упаковочные;
- полиграфические;
- дизайнерские.

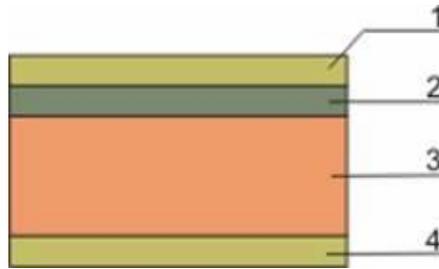
Упаковочный картон. Упаковочный картон применяется для изготовления тары и упаковки, что определяет основные требования к материалу: высокая жесткость, каркасность, барьерные свойства, прочность.

Структура упаковочного картона включает несколько слоев и представлена на рисунке 3.2.

Использование более дешевого сырья в среднем слое позволяет сохранить требуемые барьерные свойства картона, снизив его стоимость.

Сорта упаковочного картона. Различают несколько основных сортов упаковочного картона: немелованный (U), мелованный (G), картон литого мелования (GG), хромэрзац- картон (UC), хромокартон (GC), дуплекскартон (D), триплекскартон (T), целлюлозный картон (Z).

Немелованный картон – картон толщиной от 0,27 до 0,6 мм, не покрытый меловальными пастами. Он пропускает воздух, отлично подходит для skin-упаковки, упаковки пищевых продуктов, например, кондитерских изделий. Немелованный картон используется в случаях, когда функциональные свойства важнее печатных, и если на него наносится изображение, то обычно оно выполняется в 2 – 3 краски.



1 – из мелованных слоев (может быть несколько); 2 – верхний слой (беленая целлюлоза, небеленая целлюлоза, древесная масса, отбеленная макулатура); 3 – наполнитель (самый толстый слой из относительно дешевого и низкокачественного материала: макулатура, древесная масса, небеленая целлюлоза, различные отходы производства); 4 – нижний слой (один или несколько слоев качественного сырья (беленая целлюлоза, небеленая целлюлоза))

Рисунок 3.2 – Структура упаковочного картона

Мелованный картон – это картон, имеющий специальное мелованное покрытие и гладкую матовую или глянцевую поверхность. При отличных упаковочных свойствах этот картон демонстрирует и хорошие печатные. Он интенсивно воспринимает краски и отличается лучшим глянцем при лакировании. Мелованный картон широко применяется для блистерной упаковки продукции.

Картон литого мелования – высокоглянцевый картон, мелование которого производится на подогреваемом хромированном цилиндре, имеющем зеркальную гладкость. В результате на поверхности картона воспроизводится зеркальный глянец. Обычно этот материал состоит из 2 – 4 цельных целлюлозных слоев одностороннего мелования. Высокий глянец достигается способом литого мелования.

Хромэрзац – картон толщиной от 0,25 до 0,6 мм. Лицевая поверхность имеет белый или бурый цвет, а также может быть мелованной. Хромэрзац-картон применяется для упаковки легких изделий – кондитерских, парфюмерных, бытовой химии.

Хромокартон – мелованный или немелованный картон толщиной от 0,3 до 1,5 мм., изготовленный из белой целлюлозы. Хромокартон применяется для изготовления различной упаковки с многокрасочной печатью.

Дуплекскартон – картон с односторонним мелованием.

Триплекскартон – картон с двусторонним мелованием.

Полиграфический картон используется для производства многоцветной продукции, требующей высоко качества печати: папки, брошюры, дорогая подарочная упаковка и т. д. Этот тип картона не должен обладать такой жесткостью, как упаковочный. В первую очередь он отличается высоким качеством печати, благодаря наружному мелованному слою или двустороннему мелованию.

Дизайнерский картон применяется для создания имиджевой и презентационной продукции, элитной упаковки, каталогов, книг и журналов, поэтому для его производства используют самые дорогие сорта сырья. Такой картон отличается разнообразием фактуры и широкой цветовой палитрой.

Европейские производители пользуются классификацией картонов по способу производства, согласно которой выделяются четыре типа.

1. SBB (SBS) – Solid Bleached Board (Sulphate) – цельный чистоцеллюлозный картон (из беленой сульфатной целлюлозы). Соответствует картону GZ немецкой классификации. Как правило, имеет 2 – 4 цельных целлюлозных слоя, одностороннее мелование, белизну лицевой поверхности до 90 %. Характерные плотности – 185 – 390 г/м². Производятся также картоны с мелованием оборотной стороны.

2. SUB – Solid Unbleached Board – чистоцеллюлозный мелованный картон из небеленой целлюлозы. SUB производится исключительно из небеленой целлюлозы. Это картон с коричневой оборотной стороной (с так называемым «крафт-оборотом»). Для достижения белой поверхности он может быть покрыт меловым слоем, иногда в сочетании со слоем химически отбеленной целлюлозы (внешний верхний слой).

3. FBB – Folding Boxboard (GC-2) – хром-эрзац (с добавлением древесной массы). Трехслойный коробочный картон, как правило, двухсторонний. Верхний слой из беленой химической целлюлозы, с мелованием или без. Средний слой (вкладыш) содержит древесную массу. Нижний слой имеет легкое мелование. Благодаря высокой жесткости, достигнутой путем удачного комбинирования слоев, хром-эрзац может использоваться аналогично чистоцеллюлозному картону.

4. WLC – White lined Chipboard (GD-1или GD-2) – макулатурный мелованный картон, содержит 60–100 % макулатурной массы. Для производства макулатурных картонов используются как целлюлоза и древесная масса, так и макулатурная масса. Верхний и нижний слои картона изготавливаются из макулатуры высшего качества, а средний — из менее качественной, чем достигается существенное удешевление стоимости картона. Однако наряду с ценой снижаются показатели жесткости картона.

Картон, наполнитель которых содержит только целлюлозу называют картонами из первичных волокон или целлюлозными. Материал, сердцевина которого заполнена макулатурой – макулатурными. Картон, в который для увеличения жесткости, прочности и влагостойкости используется целлюлоза повышенной прочности – крафт-картон. Отличительной особенностью его является обратная сторона с характерным кремовым цветом (кофе с молоком). Этот материал обладает повышенными жесткостными и барьерными свойствами.

Гофрокартоны. Гофрокартоны разных видов и разной толщины – надежный, хорошо зарекомендовавший себя материал для изготовления упаковки. Число слоев гофрокартона может быть от 2 до 7, причем плоские чередуются с гофрированными, из бумажного ролевого материала. Коробки из гофрокартона применяются для упаковки мебели, обуви, бытовых приборов и изделий, автозапчастей, сантехники, посуды, пищевых продуктов.

Барьерные свойства. От правильного выбора барьерных свойств материала зависит не только внешний вид упаковки, но и срок хранения продукта и величина потерь на этапе его транспортирования.

Для повышения стойкости к воздействию влаги и жира может производиться специальная обработка картона: покрытие слоев лицевой или обратной стороны полиэтиленом или полимерной эмульсией, пропитка жироталкивающим фторосодержащим составом, повышенная проклейка оборота. Картоны со специальным покрытием используются для упаковки жиросодержащих продуктов (рыба горячего копчения), продуктов глубокой заморозки, прямого розлива мороженого. Одним из самых распространенных методов достижения газо-, паро-, водо- и жиронепроницаемости является обработка поверхности картона эмульсией из поливинилиденхлорида (ПВДХ) и его сополимерами. Применяют также обработку расплавом полиэтилена и парафина, солями трифторуксусной кислоты и др. Для обеспечения высоких барьерных свойств применяют комбинированные материалы с алюминиевой фольгой, металлизированными и другими типами пленок.

3.7 Бумага. Виды, сорта, свойства

Изобретение бумаги относится к началу нашей эры, когда в Китае около 1900 лет тому назад возник ручной метод производства бумаги. Этот метод изготовления бумаги медленно распространялся в страны Ближнего Востока, Восточной и Центральной Азии, Египет, а из них в XVI в. в Европу.

Бумага – это тонкие и ровные листы или ленты материала, состоящего в основном из целлюлозных волокон (древесная целлюлоза, древесная масса, волокна хлопка, льна, макулатурная масса и некоторые другие вспомогательные добавки). Длина растительных волокон, из которых создана бумага, 1 – 2 мм при диаметре около 25 мкм.

Классификация бумаги. Все многообразие видов бумаги, согласно ГОСТ 17586-80 подразделяется на десять классов.

Бумага для печати – наиболее массовый вид бумаг, предназначенных для печатания различными методами издательской и изобразительной продукции (газетная, типографская, офсетная, для глубокой печати, иллюстрационная, картографическая, обложечная, этикеточная и др.).

Декоративная – бумага, имеющая окрашенную гладкую, или крепированную поверхность, или поверхность, имитирующую бархат, мрамор, кожу, полотно; это – аэрографная, бархатная, крепированная, мраморная и другие виды бумаг, применяемые для отделки книжных переплетов, оформления книжно-журнальной продукции.

Бумага для письма, машинописи, черчения и рисования — писчая, писчая цветная, тетрадная, почтовая, машинописная, ротаторная, копировальная, чертежная, бумага ватман, бумажная калька, прозрачная чертежная бумага, рисовальная и др.

Электротехническая бумага – электроизоляционная, телефонная, конденсаторная, кабельная, полупроводящая кабельная, микалентная и др.

Упаковочная и оберточная бумага — бумага для упаковки продуктов на автоматах, упаковочная бумага для "сахара, чая, фруктов, стеклянной тары, текстильной продукции, мешочная бумага, бумага для спичечных коробок,

светонепроницаемая бумага для кинофотоматериалов, жиронепроницаемая упаковочная бумага, оберточная, растительный пергамент, пергамин, подпергамент и др.

Светочувствительная бумага – светочувствительная, диапозитивная светочувствительная и фотографическая бумага, бумажная диапозитивная светочувствительная калька.

Бумага для изготовления папирос и сигарет – курительная, мундштучная, папиросная и сигаретная.

Впитывающая бумага – впитывающая бумага для хроматографии, промокательная, фильтровальная различного назначения.

Промышленно-техническая бумага разного назначения для ртутно-цинковых элементов, химических источников тока, каландровая бумага, патронная, шпагатная, водорастворимая, перфокарточная, терморезистивная, теплочувствительная, для электрографии, гуммированная бумага для переводных изображений и др.

Бумага-основа – к ней относятся бумаги, используемые в качестве основы для производства многих видов бумаг, бумажных изделий и фибры путем соответствующих обработок, пропиток и покрытий (бумага-основа, основа мелованной, терморезистивной, копировальной, парафинированной, пергамента, фотобумаги, фотокальки, абразивной; основа для переводной фольги, облицовочного материала, упаковочной для молочных продуктов, гигиенических салфеток, клеевой ленты, склеенного картона и др.

Свойства бумаги зависят от волокнистого состава, природы растительных волокон, характера их обработки, содержания наполнителя, проклейки, а также технологии отлива и отделки, благодаря чему бумага удается с различными свойствами. Размолотое целлюлозное волокно, древесная масса, отбеленный и размельченный каолин, клей, подцветку смешивают в необходимых пропорциях. В качестве наполнителя печатной бумаги используют главным образом каолин – белую фарфоровую глину или тальк – сочетание из класса силикатов. Диоксид титана применяют в производстве мелованных бумаг. Оксид цинка употребляется как наполнитель для особых видов бумаги. Бумагу отливают из бумажной массы на бумагоделательной машине, функционирующей со скоростью до 800 м/мин и состоящей из четырех составных частей:

1. Сеточная часть: бумажная масса потоком поступает на сетку машины. Создающийся из кашеобразной массы тонкий волокнистый слой понемногу избавляется от воды на сеточной части.

2. Прессовая часть: тут вода выжимается давлением прессов.

3. Сушильная часть: бумажная лента, прижимаясь к сушильным цилиндрам, доводится до сухости 95 %. В сушильной части встраивают клеильный пресс для неглубокой проклейки бумаги, что нужно для бумаг, применяемых для печати с использованием увлажнения (фототипия, литография, офсетная печать).

4. Отделочная часть с накатом бумаги (намотка в рулоны): 3 – 8 полированных чугунных цилиндров уплотняют бумагу, делая её поверхность глаже.

Следует четко разграничивать понятия вид и сорт бумаги. Принадлежность бумаги к тому или иному виду определяется совокупностью свойств, обеспечивающих возможность ее применения для конкретных целей. Сорт обычно определяет качество одного и того же вида бумаги. Например, газетная бумага – это вид бумаги для печатания газет, но по качеству она может быть 1-го и 2-го сортов.

К числу основных показателей, характеризующих свойства различных видов бумаги, относятся: толщина, или объемная масса; зольность; степень проклейки; гладкость; белизна; прозрачность; сопротивление разрыву, излому, продавливанию, раздиранию; удлинение до разрыва; прочность поверхности; влагопрочность; деформация при намокании; скручиваемость; впитывающая способность; воздухопроницаемость; показатели электрической прочности.

Основные печатные свойства бумаги: белизна, гладкость, упругоэластичность, пластичность, впитываемость, непрозрачность, незасоренность, прочность поверхностного слоя, плоскостность.

Белизна бумаги. Высокий уровень белизны печатной бумаги крайне желателен, так как четкость, удобочитаемость издания зависят от контрастности запечатанных и пробельных участков оттисков. Уровень белизны бумаги зависит от её возможно более глубокого и равномерного отражения лучей разнообразной длины по всему спектру дневного рассеянного белого света. Для того чтобы увеличить белизну бумаги, ликвидировать вероятный желтоватый оттенок, бумагу в процессе изготовления подкрашивают синими и фиолетовыми красителями или вводят в её состав оптические отбеливатели. Степень белизны некоторых видов бумаги: мелованная с оптическим отбеливателем (84 %), мелованная без оптического отбеливателя (78 %), чистоцеллюлозная печатная бумага с оптическим отбеливателем (83 %), чистоцеллюлозная печатная бумага без оптического отбеливания (78 %), печатная бумага с белой древесной массой (72 %), газетная бумага (65 %).

Гладкость бумаги. Зависит от микрогеометрии поверхности бумаги, то есть рельефа, созданного выступами и впадинами между растительными волокнами и частичками наполнителя.

Глянцевитость или матовость бумаги также зависит от микрогеометрии её поверхности. Очень гладкая бумага будет глянцевой, шероховатая – матовой.

Упругоэластичность. Под действием рабочего органа машины бумага деформируется, однако в зависимости от степени механического напряжения и целей технологических операций появляются деформации всевозможного характера: упругие, эластические и пластические. Упругоэластические свойства основательно действуют на процесс печатания, но нередко они бывают недостаточными для подобающего выравнивания поверхности бумаги в процессе печатания и возмещения неровностей, как печатной формы, так и самой бумаги.

Впитываемость. Подобная впитывающая способность бумаги – значительное условие своевременного и абсолютного закрепления краски. Впитывание краски в бумагу определяется её пористо-капиллярным строением. Впитывающая способность бумаги в особенности важна для способов печати и

лакирования, где закрепление краски и лака в основном определяется впитыванием, к примеру, глубокая печать, флексографская печать на бумаге, лакирование дисперсионными лаками. Порядок высушивания бумаги на бумагоделательной машине сказывается на пористости бумаги. Так при высокотемпературном режиме сушки пористость бумаги возрастает.

Прочность. Это свойство в особенности существенно для иллюстрационной, многокрасочной печати. Прочность поверхности бумаги вырастает при употреблении хорошо разработанной длиноволокнистой бумажной массы, её проклейке карбамидной смолой и крахмалом.

Плоскостность. Для неизменной работы листовой печатной машины является безукоризненная плоскостность бумаги. Плоскостность бумаги во многом определяется климатическими условиями её упаковки, транспортировки и хранения.

3.8 Технические жидкости. Смазочные материалы

Технические жидкости – это, как правило, мало - и средне - вязкие нефтяные и синтетические жидкости, способствующие выполнению механизмом рабочих функций.

Классификация по назначению:

- 1) амортизаторные – для гашения колебаний;
- 2) гидравлические (рабочие жидкости)
- 3) охлаждающие
- 4) смазочно-охлаждающие жидкости; пусковые (смеси этилового эфира с низкокипящими углеводородами, изопропилнитратом и смазочным маслом) - для облегчения пуска двигателей внутреннего сгорания при низких температурах воздуха;
- 5) тормозные жидкости
- 6) хладагенты
- 7) другие: промывочные (смеси нефтяных дистиллятных масел с растворителями и моющими веществами, водные растворы этих веществ) - для очистки деталей и внутренних поверхностей механизмов от загрязнений; разделительные - для предотвращения контакта измерительных приборов с агрессивными средствами – сильными кислотами, пероксидом водорода; электролиты; антиобледенительные – для предотвращения обледенения поверхностей и стекол и многие другие жидкости.

Все технические жидкости содержат, как правило, противокоррозионные присадки, а некоторые из них – вязкостные, антиокислительные, реже противоизносные и противопенные присадки.

1. Амортизаторные жидкости (АЖ) работают в широком диапазоне температур: от -60 °С до 140 °С. Основное требование, предъявляемое к ним — полагая вязкостно-температурная характеристика. Выпускаются всесезонные амортизаторные жидкости АЖ-16 (получают загущением вязкостными присадками низковязкостных нефтяных масел) и АЖ-12т (смесь

низковязкостного нефтяного масла и высоковязкостной полисилоксановой жидкости с противоокислительными и противоизносными присадками). В качестве заменителей в амортизаторах могут применяться веретенные АУ или смесь турбинного и трансформаторного масел в соотношении 1:1. Широко для амортизаторов используются жидкости МГП-10 и МГП-12.

2. Гидравлические. В качестве рабочих жидкостей в гидравлическом приводе применяют минеральные масла, водомасляные эмульсии, смеси и синтетические жидкости. Выбор типа и марки рабочей жидкости определяется назначением, степенью надежности и условиями эксплуатации гидроприводов машин.

Минеральные масла получают в результате переработки высококачественных сортов нефти с введением в них присадок, улучшающих их физические свойства. Присадки добавляют в количестве 0,05 – 10 %. Присадки могут быть многофункциональными, т.е. влиять на несколько физических свойств сразу. Различают присадки антиокислительные, вязкостные, противоизносные, снижающие температуру застывания жидкости, антипенные и т.д.

Водомасляные эмульсии представляют собой смеси воды и минерального масла в соотношениях 100:1, 50:1 и т.д. Минеральные масла в эмульсиях служат для уменьшения коррозионного воздействия рабочей жидкости и увеличения смазывающей способности. Эмульсии применяют в гидросистемах машин, работающих в пожароопасных условиях и в машинах, где требуется большое количество рабочей жидкости (например, в гидравлических прессах). Применение ограничено отрицательными и высокими (до 60 °С) температурами.

Смеси различных сортов минеральных масел между собой, с керосином, глицерином и т.д. применяют в гидросистемах высокой точности, а также в гидросистемах, работающих в условиях низких температур.

Синтетические жидкости на основе силиконов, хлор- и фторуглеродистых соединениях, полифеноловых эфиров и т.д. негорючи, стойки к воздействию химических элементов, обладают стабильностью вязкостных характеристик в широком диапазоне температур. В последнее время, несмотря на высокую стоимость синтетических жидкостей, они находят все большее применение в гидроприводах машин общего назначения.

3. Охлаждающие жидкости. При эксплуатации машин в условиях отрицательных температур применяют жидкости с низкой температурой застывания. Самой распространенной такой жидкостью является смесь этиленгликоля с водой. Температура кипения этиленгликоля 197 °С, температура кристаллизации –11,5 °С. Меняя соотношение воды и этиленгликоля, можно получать смеси с температурой застывания от 0 до –70 °С. При применении смеси этиленгликоля с водой в системах охлаждения необходимо учитывать следующее. При нагревании смеси происходит ее увеличение в объеме до 6 – 8 %, следовательно, на эту величину систему охлаждения не заполнять. При отсутствии утечек в процессе эксплуатации следует доливать воду, так как этиленгликоль практически не испаряется. Необходимо исключить попадание в смесь нефтепродуктов. Этиленгликоль является сильным пищевым ядом,

поэтому после контакта с ним следует тщательно мыть руки с мылом. Смесь имеет повышенную коррозионность по отношению к металлам и требует специальных присадок.

Промышленность выпускает несколько марок охлаждающих жидкостей на основе этиленгликоля, которые различаются комбинациями составляющих (таблица 3.9).

В процессе эксплуатации присадки распадаются и качество жидкости снижается. Кроме того, образуется шлам из остатков накипи и коррозии. Это вызывает изменение первоначального цвета. При сильном изменении цвета и помутнении жидкость заменяют.

Таблица 3.9 – Характеристика некоторых охлаждающих жидкостей

Показатель	Антифриз		Тосол		ОЖ Лена 40
	40	65	А-40	А-65	
Внешний вид	Светло-желтая, слегка мутная жидкость		Зеленовато-голубая прозрачная жидкость		
Плотность при 20 °С, кг/м ³	1067...1072	1085...1090	1075...1085	1085...1095	–
Температура кристаллизации, °С, не выше	-40	-65	-40	65	-40
Температура кипения, °С, не ниже	100	100	105	105	105
Содержание этиленгликоля, масс. %, не менее	52	64	53	63	60
Присадки, г/л					
декстрин	1,0	1,0	0,4	0,5	0,6
динатрийфосфат	2,5...3,5	3,0.. 3,5	–	–	–
антивспениватель			0,05	0,08	0,08
композиция антикоррозионных соединений			2,55	2,95	3,5

Наибольшее распространение получила низкотемпературная охлаждающая жидкость «Тосол». Ее применяют круглогодично как в зимнее, так и в летнее время. Жидкость готовят на основе этиленгликоля с добавлением антикоррозионных присадок и антивспенивателя. Выпускают три марки - Тосол А, Тосол А-40 и Тосол А-65.

Тосол А концентрированный этиленгликоль с присадками. Пользоваться Тосолом А следует только после разведения его дистиллированной водой. Смесь Тосола А и воды в соотношении 1:1 имеет температуру начала кристаллизации минус 35 °С.

Для предотвращения коррозии цинковых и хромовых покрытий на деталях системы охлаждения в охлаждающую жидкость добавляют молибденовый натрий 7,5 – 8 г на литр. При этом в обозначения добавляют букву М.

4. Смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), обычно сложные многокомпонентные системы, предназначенные в основном для смазки и

охлаждения металлообрабатывающих инструментов и деталей, что способствует снижению износа инструментов и повышению точности обработанных деталей (в процессе обработки материалов СОЖ выполняют, кроме того, ряд других функций: вымывают абразивную пыль и стружку, защищают обработанные детали, инструмент и оборудование от коррозии, улучшают санитарно-гигиенические условия работы). В зависимости от состава различают три группы СОЖ. Чистые минеральные масла или масла с противоизносными и противозадирными присадками жиров, органических соединений серы, хлора, фосфора; часто к ним добавляют также антикоррозионные, антиокислительные и антипенные присадки в количестве 5 – 50 %. Водные эмульсии минеральных масел, которые получают на месте потребления разбавлением водой эмульсолов, состоящих из 40 – 80 % минерального масла и 20 – 60 % эмульгаторов, связующих веществ, ингибиторов коррозии, антивспенивателей, бактерицидов. Водные растворы поверхностно-активных веществ и низкомолекулярных полимеров, которые, аналогично эмульсолам, получают из концентратов, содержащих 40 – 60 % поверхностно-активных веществ, полимеров, ингибиторов коррозии, антивспенивателей, бактерицидов и 40 – 60 % воды. Концентрация рабочих эмульсий и растворов зависит от условий применения и обычно составляет 2 – 10 %. СОЖ получают компаундированием (смешением) базовой основы с присадками.

5. Тормозные жидкости (ТЖ) производят на касторовой или гликолевой основе. ТЖ на касторовой основе имеют хорошие смазывающие свойства и нейтральны к резиновым изделиям. Однако уже при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ касторовое масло выпадает в осадок в виде сгустков, что может нарушить нормальную работу тормозной системы. Поэтому не рекомендуется применять ТЖ на касторовой основе при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ и ниже. Наибольшее распространение получила ТЖ БСК, которая представляет собой смесь 50 % бутилового спирта и 50% касторового масла. На касторовой основе выпускаются еще жидкости ЭСК (60% касторового масла и 40% этилового спирта) и АСК (60% изоамилового спирта и 40 % касторового масла). ЭСК обладает большой склонностью к образованию паровых пробок в тормозной системе, а так как этиловый спирт при температуре $78\text{ }^{\circ}\text{C}$ кипит, широкого применения эта жидкость не нашла. Для ТЖ на касторовой основе опасно обводнение. При попадании воды касторовое масло выпадает в осадок. Это явление возникает и при смешивании жидкостей на касторовой и гликолевой основе.

На гликолевой основе выпускаются тормозные жидкости ГТЖ-22М, ГТЖ-22РК, «Нева», ФЭБ «Томь», «Роса». Для придания хороших защитных и смазывающих свойств в эти жидкости добавляют антикоррозионные и противоизносные присадки. Температурный интервал работоспособности широкий: от -50 до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Жидкости на гликолевой основе ядовиты, токсичны и огнеопасны. При эксплуатации необходимо исключить попадание в любую тормозную жидкость нефтепродуктов: это снижает их качество и разрушает резиновые изделия.

6. Хладагенты. Холодильный агент (хладагент) – рабочее вещество холодильной машины, которое при кипении и в процессе изотермического

расширения отнимает теплоту от охлаждаемого объекта и затем после сжатия передаёт её охлаждающей среде за счёт конденсации.

Международный стандарт (МС) ИСО 817 «Органические хладагенты» предусматривает цифровые обозначения хладагентов в технической документации на холодильное оборудование, хладагенты, масла, тару для транспортирования хладагентов и масел, приборы автоматики, контроля и сигнализации холодильного оборудования и терминологию холода.

Стандарт допускает несколько обозначений хладагентов: условное (символическое), торговое название (марка), химическое название, химическая формула. При этом условное обозначение хладагентов является предпочтительным и состоит из символа R и определяющего числа. Например: хладон-12 имеет обозначение R12, хладон-22 – R22(таблица 3.10).

Таблица 3.10 – Список некоторых органических и неорганических хладагентов

Условное обозначение	Химическое название	Химическая формула
Органические хладагенты		
R10	Тетрахлорметан	CCl ₄
R11	Фтортрихлорметан	CFCl ₃
R12	Дифтордихлорметан	CF ₂ Cl ₂
R22	Дифторхлорметан	CHF ₂ Cl
R50	Метан	CH ₄
R290	Пропан	CH ₃ CH ₂ CH ₃
R1150	Этилен	CH ₂ =CH ₂
R1270	Пропилен	CH ₂ =CH-CH ₃
Неорганические хладагенты		
R717	Аммиак	NH ₃
R718	Вода	H ₂ O
R729	Воздух	-
R744	Двуокись углерода	CO ₂

Хладоны (фреоны) – техническое название группы насыщенных алифатических фторсодержащих углеводородов, применяемых в качестве хладагентов. Кроме атомов фтора хладоны могут содержать атомы хлора или брома. Название «фреон» фирмы DuPont (США) в течение многих лет использовалось в литературе как общетехнический термин для хладагентов. В Республике Беларусь укоренился термин «хладоны».

К хладагентам предъявляются термодинамические (минусовую температуру кипения при атмосферном давлении, низкое давление конденсации, высокую объемную холодопроизводительность, высокий коэффициент теплопроводности и теплопередачи), физико-химические (малая плотность и вязкость, обеспечивающие незначительное сопротивление хладагента при циркуляции в агрегате; химическая пассивность к металлам, материалам изоляции обмоточных проводов электродвигателя; химическая стойкость; негорючесть; малая способность проникать через неплотности; способность растворять воду и т.д.), физиологические (быть безвредными для здоровья человека) и экономические требования.

Помимо перечисленных рабочее вещества абсорбционных холодильников должны отвечать дополнительным требованиям: образовывать между собой растворы и обладать разными температурами кипения (вещество с более низкой температурой кипения является хладагентом, с более высокой — абсорбентом).

На сегодняшний день существует три типа хладагентов:

1) хлорфторуглероды (*CFC*), обладающие самым высоким потенциалом истощения озона. Хладагенты этого типа включают: R-11, R-12, R-13, R-500, R-502 и R-503.

2) гидрохлорфторуглероды (*HCFC*), например, R-22. Содержание атомов водорода в HCFC приводит к более короткому времени существования этих хладагентов в атмосфере по сравнению с CFC, в результате - меньшее влияние на истощение озонового слоя.

3) гидрофторуглероды (*HFC*), которые вообще не содержат хлора. Они не разрушают озоновый слой и имеют короткий период жизни в атмосфере. HFC считаются долгосрочными альтернативными заменителями CFC и HCFC для большинства холодильных систем.

В компрессионных холодильниках хладагентом служит хладон R-134a и др. В абсорбционных холодильниках используют два рабочих вещества: хладагент R717 — аммиак и абсорбент R718 — воду.

Аммиак (R717) — газ с резким удушливым запахом, вредный для здоровья человека. Газ без цвета, допустимая концентрация в воздухе 0,02 мг/дм³ (0,0028 % по объему). В соединении с воздухом при концентрации 16:26,8% (по объему) и наличии открытого пламени аммиак взрывоопасен.

Пары аммиака легче воздуха, он хорошо растворяется в воде (один объем воды может растворить 700 объемов аммиака, что исключает замерзание влаги в системе). На черные металлы аммиак практически не действует, но вступает в реакции с медью и ее сплавами. Поэтому холодильные агрегаты абсорбционного типа изготавливают только из стали.

Озонабезопасные хладагенты. В 1987 году в Монреале всеми индустриальными государствами был подписан международный протокол о постепенном сокращении, а затем и полном прекращении выпуска озоноразрушающих хладагентов. Но проблема продолжала обостряться, и в ноябре 1992 года в Копенгагене на очередной встрече стран-участниц Монреальского протокола была принята более жесткая редакция этого документа и установлены следующие сроки запрета производства и применения озоноразрушающих хладагентов: R-11, R-12, R-502 - полное прекращение производства 1 января 1996 года, R-22 - в силу меньшей экологической опасности полное прекращение к 2030 году.

На данный момент, на постсоветском пространстве жесткого запрета на использование R-22 нет, хотя в европейском союзе он запрещен к использованию.

Сегодня в бытовых холодильниках чаще всего используются различные смеси и хладагент R-134a (C₂H₂F₄), а в промышленных – хладагенты R507, R717, R-407C и их аналоги. R134a не воспламеняется во всем диапазоне температур эксплуатации. Пар R134a разлагается под влиянием пламени с

образованием отравляющих и разряжающих соединений, таких как фтороводород.

В соответствии со степенью воздействия на озоновый слой хладонов делят на следующие группы (таблица 3.11).

Таблица 3.11 – Классификация фреонов (хладонов) по степени воздействия на озоновый слой

Группа	Класс соединений	Фреоны (хладоны)	Воздействие на озоновый слой
А	Хлорфторуглероды (CFC)	R11, R12, R13, R111, R112, R113, R114, R115	Вызывают истощение озонового слоя
	Бромфторуглероды	R12B1, R12B2, R113B2, R13B2, R13B1, R21B1, R22B1, R114B2	
В	Хлорфторуглеводороды (HCFC)	R21, R22, R31, R121, R122, R123, R124, R131, R132, R133, R141, R142, R151, R221, R222, R223, R224, R225, R231, R232, R233	Вызывают слабое истощение озонового слоя
С	Фторуглеводороды (HFC)	R23, R32, R41, R125, R134, R143, R152, R161, R227, R236, R245, R254	Озонобезопасные фреоны (хладоны)
	Фторуглероды (перфторуглеводороды) (CF)	R14, R116, R218, RC318	

Смазочные материалы предназначены для уменьшения износа трущихся поверхностей, повышения КПД механизмов и машин, предохранения от коррозии. Смазочные материалы разделяют на два вида: жидкие масла и пластичные смазки (консистентные пасты). Масла разделяют на конструкционные (моторные, трансмиссионные, промышленные, турбинные, и др.) и технологические, применяемые при обработке металлов. Основные свойства и область применения промышленных масел общего назначения приведены в таблице 3.12. Пластичные смазки – это сложные соединения, в состав которых входят масло – основа, загуститель – мыла (литиевые, кальциевые, натриевые или смешанные), твердые углеводороды, часто стабилизатор для сохранения однородности смазки, наполнитель (например, графит).

Таблица 3.12 – Характеристика промышленного масла общего назначения

Масло	Кинематическая вязкость (сСт) при температуре 50 °С	Температура, °С		Назначение
		вспышки не ниже	застывания, не выше	
И-5А	4,0-5,1	112	-25	Для смазки поверхностей при высоких скоростях скольжения
И-8А	5,1-8,5	125	-20	То же
И-12А	10-14	165	-30	Для различных механизмов
И -20 А	17-23	170	-20	То же
И-30А	37-38	180	-15	Для смазок крупных и тяжелых станков

И -45	44-52	190	-10	Для смазки тяжелых низкоскоростных станков Для подшипников сепараторов
Сепараторное Л	6,0-10,0	-	-	

Основные характеристики смазок – кинематическая вязкость, температура вспышки и застывания. Пластичные смазки по температуре каплеотделения ($T_{к.о.}$) разделяют на низкоплавкие ($T_{к.о.} < 65$ °С), среднеплавкие ($60 \leq T_{к.о.} \leq 100$ °С) и тугоплавкие ($T_{к.о.} > 100$ °С). Их основу составляют загущенные минеральные масла (таблица 3.13).

Таблица 3.13 – Характеристика пластичных смазок

Товарное наименование	Температура каплеотделения, °С	Предел прочности при 20 °С, Па	Вязкость при 0°С и скорости деформации 10 с ⁻¹ , Па×с	Коллоидная стабильность, %, не более
1	2	3	4	5
Антифрикционные смазки общего назначения				
Солидол С	85... 105	200...500(при 50 °С)	≤190	1...5
Пресс -солидол	85 ...93	100... 400 (при 50 °С)	≤90	2. ...10
Солидол Ж	78	196 (при 50 °С)	≤250	-
Графитная	77	100 (при 50 °С)	≤100	5
1-13	120	500...1000	≤500	20
Консталин	130	150...300	250...500	8 ... 20
Смазки многоцелевые				
Литол-24	185	500. ...1000	≤280	12
Фиол-1	185	250	≤200	25
Фиол-2	188	300	≤250	16
Фиол-2м	180	300	≤250	15
Алюмол	230	500...1000	≤250	12
Смазки термостойкие				
ЦИАТИМ-221	200	250...450	80...200	7
Смазки канатые				
Канатая 39у	65...75	-	2000	-
Торсиол-35Б	65...80	350...360	800. ...1400	3
Торсиол-55	63 ...78	350	200. ...260	-
Уплотнительные смазки				
Бензопорная	35	2500	-	1.2
Замазка ЗЗК-3у	115	2000	-	-

Продолжение таблицы 3.13

1	2	3	4	5
Смазки автомобильные				
АМ карданная	115	500...700	300...600	10... 15
ЛСЦ-15	185	500	≤ 280	15
ШРБ-4	230	200	80...160	10
ШРУС-4	190	300...700	≤250	16
Фиол-2у	180	2300	≤170	12
№158	132	150...500	≤400	23
МЗ-10	70	210	70...220	8

ЛЗ-31	188	500...620	≤ 280	12
Автомобильная	150	180 (при 50 °С)	≤ 200	-

РАЗДЕЛ IV. УПАКОВКА И ТАРА

4.1 Стекло́нная и полимерная тара. Упаковка

История упаковки. Первые изделия предназначены для хранения продуктов начали изготавливаться из глины (около 13 тыс. лет назад). Стекло́нная тара – наиболее древний искусственный материал, из него изготавливаются сосуды для пищевых и других продуктов. В Европе первым центром по производству стекла стала Венеция. В XVI веке венецианские флаконы считались лучшими и служили предметами роскоши. К концу первого тысячелетия производство стекло́нных изделий осваивается и на территории современной Беларуси. Известные центры стекло́нного производства формируются в Турове, Полоцке, Новогрудке, Гродно и др. городах. Одновременно с бутылками появились пробки для их укупорки. Событием в эволюции упаковки стало изобретение процесса консервирования пищевых продуктов с помощью стекло́нных и жестяных банок. В 1810 году в Англии Томасом Саддингтоном был запатентован процесс, аналогичный аппертовскому (т.е. хранение в стекло́нных банках изобретение француза Николаса Апперта) хранение в жестяных банках. Жестяное ремесло к тому времени было достаточно развито, с техникой нанесения тонкого олова для защиты ее от коррозии. Центром жестяного ремесла в Европе еще в XIII веке стала Южная Германия.

В 1840-х значимым было изобретение американского художника тубы (тюбика) – который являлся простейшим дозатором.

В 1827 году француз Барета вошанку – дешевую, покрытую с одной стороны олифой упаковочную бумагу. С появлением станков для изготовления бумажных пакетов (1860 – 1870) они получили широкое распространение.

Картон для упаковки первым начали использовать в середине XVIII века аптекари, а затем ювелиры. После изобретения 1869 белого древесного картона получил широкое распространение для упаковывания кондитерских изделий.

Под упаковкой понимают средство или комплекс средств, обеспечивающих: защиту продукции от повреждений и потерь; окружающей среды от загрязнений, а также процесс обращения продукции. Под процессом обращения понимают транспортирование, складирование, перевалку, хранение и реализацию продукции.

В обобщенном виде упаковка включает в себя тару, укупорочные средства, функциональные приспособления, средства защиты от проникновения и

подделки, средства декорирования, средства декорирования и информации, укладочные и амортизирующие средства, вспомогательные упаковочные средства и материалы.

Тара – основной элемент упаковки, представляющий собой изделие для размещения продукции (ящик, мешок, бутылка, банка и т.д.). Термин «тара» включает также понятие разницы между общим весом товара с упаковкой (брутто) и чистым весом товара (нетто), т.е. отражает вес упаковки товара, а также средств перевозки (вес вагона, автомобиля и пр.). Требования к используемой таре и упаковочным материалам, условиям упаковывания, составу и конструктивному исполнению оборудования во многом определяются физико-механическими свойствами и назначением упаковываемой продукции.

Классификация тары: по функциональному назначению (потребительская, транспортная, производственная, экспортная, импортная, дисплей тара, специальная), по применяемым материалам (деревянная, картонная, бумажная, металлическая, полимерная, стеклянная, тканевая, керамическая, из съедобных материалов, из композиционных материалов, комбинированная), по видам (ампула, банка, бутылка, капсула, коробка, кулек, лоток, мешок, пакет, пенал, сумка, ящик и др.), по конструктивному исполнению (неразборная, разборная, складная, закрытая, открытая, плотная, герметичная, изотермическая), по размерам (малогабаритная, крупногабаритная), по степени жесткости конструкции (хрупкая, жесткая, полужесткая, мягкая), по кратности использования (разовая, возвратная многооборотная, инверторная), по сфере использования (индивидуальная, порционная, групповая, комплексная, универсальная, специализированная), по форме (прямоугольная, цилиндрическая, квадратная, трех- четырех- многогранная, сложной конфигурации), по назначению (для газов, жидкостей, пастообразной, сыпучей продукции, гибкой длинномерной, смешанной продукции), по технологии производства (выдувная, литьевая, сварная, прессовая, закатная, сливная, клеенная, штампованная, сборная).

Бутылка и флаконы – материальное исполнение – чаще стеклянные, реже полимерные, еще реже керамические и металлические.

Стеклянная тара. Стеклянная тара для пищевой продукции обычно производится из силикатного стекла содержащего $SiO_2-Na_2O-CaO-MgO-Al_2O_3$. Стекло для парфюмерной продукции должно обладать особым блеском и прозрачностью, поэтому в его составе отсутствуют окиси железа и др. металлов. В фармацевтике обычно применяют натриево-кальциевое стекло, а для упаковывания физиологических препаратов очень дорогое нейтральное боросиликатное стекло.

Изделия из стекла подвергаются термической обработке в виде отжига или закалки. Отжигом обеспечивается снятие внутренних напряжений в

стеклянных изделиях, а закалкой достигается значительное повышение механической прочности и термической стойкости стекла. Достоинства стекла: высокая механическая прочность на сжатие, хорошая теплостойкость, чистота и химическая стойкость, абсолютная герметичность, прозрачность, хорошо очищается, пригодна для многократного использования, низкая цена, хорошо перерабатывается. Недостатки: хрупкость, относительно большой удельный вес ($\rho = 2...2,21 \text{ г/см}^3$, $\sigma_{\text{изг}} = 40 \text{ МПа}$, $\sigma_{\text{сж}} = 600 \text{ МПа}$). Всю производимую стеклянную тару можно разделить на две категории: стандартную и декоративную. Стеклянная бутылка и флаконы изготавливаются из бесцветного, полубелого и цветного (голубоватого, желтоватого, оранжевого, зеленого, коричневого) стекла.

Дальнейшее развитие стеклянной упаковки итарыэто увеличение ударной прочности, уменьшение веса, снижение затрат на производство.

Увеличение прочности возможно изменением структуры и изменением состояния поверхности.

Полимерная тара. Полимерные бутылки изготавливаются из полиэтилена, полипропилена, поливинилхлорида, полиэтилентерефталата, поликарбоната.

Из всех пластмасс **полиэтилен (ПЭ)** имеет наиболее простую молекулярную структуру. Полиэтилен является также самым дешевым полимером, сочетающим хорошие эксплуатационные свойства с высокой технологичностью. Он характеризуется низким удельным весом (легче воды), высокой химической стойкостью к кислотам, щелочам и неорганическим растворителям, чувствителен к углеводородам, маслам и жирам, прозрачен, водо- и паронепроницаем, сочетает хорошую прочность с высокой вязкостью, упругостью и эластичностью в диапазоне температур от $-70 \text{ }^\circ\text{C}$ до $+100 \text{ }^\circ\text{C}$; легко обрабатывается всеми способами, применяемыми для термопластов; хорошо соединяется тепловыми видами сварки и удовлетворительно склеивается. Однако относительно высокая проницаемость через полиэтилен кислорода, углекислого газа, ароматных и душистых веществ, а также способность его к растрескиванию при контакте с определенными средами накладывают соответствующие ограничения на область применения полиэтиленовых бутылок и флаконов.

Полипропилен (ПП) Полипропилен характеризуется более низкой плотностью ($0,90 \text{ г/см}^3$) по сравнению с полиэтиленом, тверже, жестче и прозрачнее его, более устойчив на разрыв, хуже сваривается, обладает такой же высокой химической стойкостью и другими близкими свойствами. Имеет более высокую температуру размягчения, что позволяет заполнять изготовленные из него бутылки горячей жидкостью, а также стерилизовать продукты в упаковке при температуре до $120 \text{ }^\circ\text{C}$. Существенный недостаток полипропиленовой тары

заключается в низкой стойкости к ударным нагрузкам (хрупкости) при температурах около и ниже 0 °С.

Поливинилхлорид (ПВХ) характеризуется высокой твердостью и склонностью к деструкции, поэтому для придания материалу требуемых свойств в его состав вводят соответствующие стабилизаторы, пластифицирующие и другие добавки. Плотность применяемого в упаковке материала – от 1,2; до 1,5 г/см³, термостойкость – до 140 °С, морозостойкость – до – 0 °С. Прочность при растяжении – от 20 до 60 МПа. Этот материал характеризуется высокой химической стойкостью к кислотам, щелочам, солевым растворам, многим неполярным растворителям, маслам и жирам; неустойчив к полярным растворителям, таким как эфир, кетоны, хлорпроизводные углеводорода, и ароматическим растворителям. В сравнении с полиэтиленом менее проницаем для газов, не склонен к образованию трещин, обладает очень хорошей свето- и атмосферостойкостью. Бутылки, флаконы и другие полые емкости могут быть изготовлены из этого материала практически любых формы и цвета – от прозрачных, как хрусталь, до почти не просвечиваемых. Путем двухосного вытягивания из поливинилхлорида можно изготавливать прочные бутылки, которые благодаря малой газопроницаемости пригодны для упаковывания напитков с концентрацией углекислого газа до 8 г/дм³ (например, минеральной воды). В изделиях из поливинилхлорида в связанном состоянии присутствует хлор, а значит, и диоксины — высокотоксичные яды, сопутствующие хлорным технологиям. Поэтому тару, изготовленную из поливинилхлорида, не рекомендуется (в ряде стран запрещено) применять для упаковывания продуктов питания. Особенно большое количество диоксинов выделяется при утилизации упаковки методом сжигания, а также при их разложении в свалках мусора. Свалка, содержащая поливинилхлоридные отходы, — экологическая бомба длительного замедленного действия.

Широкое применение в настоящее время находят бутылки и флаконы, изготовленные из **полиэтилентерефталата (ПЭТ)** – сложного полиэфира, получаемого поликонденсацией терефталевой кислоты и этиленгликоля или двухстадийным способом: переэтерификацией диметилтерефталата этиленгликолем с последующей конденсацией диоксиэтилтерефталата. Плотность этого материала – 1,2 – 1,38 г/см³, теплостойкость 150 °С, прочность при растяжении – 150 МПа и выше. Изделия из полиэтилентерефталата характеризуются высокой прочностью наряду с хорошей ударной вязкостью, высокой размерной точностью, широким диапазоном рабочих температур, низкой паро- и газопроницаемостью, высокой прозрачностью и блеском. Полимер устойчив к маслам, жирам, спиртам, эфиру, бензину, слабым кислотам и щелочам; воспламеняется с трудом и при удалении пламени гаснет; неустойчив к сильным кислотам и щелочам, а также кетонам. Достоинства этого

полимера заключаются также в его экологической безопасности: способности подвергаться повторной переработке без отрицательных последствий для окружающей среды. Бутылки из полиэтилентерефталата широко применяются для упаковывания напитков с содержанием углекислого газа до 8 г/дм^3 , а также другой самой разнообразной пищевой, химической и косметической продукции.

Поиски новых упаковочных материалов привели к созданию и такого полимера, как **полинафталенодвукарбоксилат этилена (ПЭН)**. Этот полимер в сравнении с полиэтилентерефталатом обладает более низкой газопроницаемостью по отношению к O_2 и CO_2 , более высокой теплостойкостью ($123 \text{ }^\circ\text{C}$), механической прочностью (на 20 % выше) и химической устойчивостью; не пропускает ультрафиолетовое излучение. Изготовленные из этого материала бутылки имеют янтарный цвет и по барьерным свойствам создают идеальные условия для упаковывания и хранения таких быстропортящихся продуктов, как пиво и соки. Поскольку стоимость этого полимера в 3 – 4 раза выше, чем полиэтилентерефталата, а свойства их по сополимерам схожи, то практикуется изготовление из этих материалов двухслойных бутылок (внутренний слой – ПЭН, а наружный из ПЭТ) – более дешевых и применяемых для тех же целей.

В последнее время молочная промышленность Западной Европы заменяет традиционно используемые стеклянные бутылки полимерными из поликарбоната.

Поликарбонат (ПК) представляет собой линейный полиэфир угольной кислоты плотностью $1,2 \text{ г/см}^3$, с теплостойкостью до $150 \text{ }^\circ\text{C}$ и прочностью при растяжении 60 – 70 МПа. Бутылки из этого материала обладают высокой механической прочностью (не бьются), малым весом (на 85 % легче стеклянных), устойчивы к низким и высоким температурам, не взаимодействуют с упакованной продукцией, прозрачны как стекло, легко моются химически агрессивными средствами и являются тарой многократного применения, которая, несмотря на увеличение цены, была хорошо принята потребителями.

Наряду с рассмотренными, осваиваются технологии производства и других видов полимерных бутылок, например, трехслойных, где наружный и внутренний из полиэтилентерефталата, средний слой из утилизированного полимера или многослойных металлизированных с низкой теплопроводностью и т. д.

4.2 Керамическая и металлическая тара. Примеры использования различной тары

Керамические декоративные бутылки и флаконы выпускаются в небольших количествах в качестве подарочной и функциональной упаковки.

Керамикой называют изделия и материалы, получаемые спеканием глин и их смесей с минеральными добавками и другими неорганическими соединениями. Основным сырьем в керамическом производстве являются глины и каолины.

Глины – тонкодисперсные осадочные горные породы, состоящие из частиц минералов — силикатов со слоистой кристаллической структурой и органических примесей, способствующих окрашиванию глин от светло-серого до черного цвета. Глины при увлажнении разбухают и приобретают пластичность, а после обжига переходят в камнеподобное состояние. Для изготовления керамической тары применяются, в частности, глины с содержанием глинозема не менее 35 %, красящих веществ и окислов ($Fe_2O_3 + TiO_2$) – не более 2,5 % и огнеупорностью не ниже 1710 °С.

Различают грубую керамику, имеющую крупнозернистую неоднородную в изломе структуру (например, строительный кирпич), и тонкую керамику с однородным мелкозернистым в изломе и равномерно окрашенным черепком (например, фарфор, фаянс), из которой изготавливают декоративную тару.

Фарфор – плотный керамический материал, непроницаемый для воды и газов (водопоглощение до 0,5%), обычно белый, просвечивающий в тонком слое, обладающий высокой механической прочностью, термической и химической стойкостью. Высококачественную тару и другие художественно-декоративные фарфоровые изделия получают, в частности высокотемпературным обжигом (1300 – 1450 °С) полуфабрикатов, выполненных из сырья, содержащего тонкую смесь глины и каолина (45 – 50 %) кварца (25 %), полевого шпата (25 %) и других примесей (до 5 %).

Фаянс – керамический материал с белым пористым черепком (водопоглощение 8 – 12 %), получаемый высокотемпературным обжигом фабрикатов из тонкой смеси беложгущейся глины, каолина, кварца и полевого шпата.

Декоративную отделку керамической тары производят глазурью и с помощью керамических красок, закрепляемых обжигом.

Керамическая (фарфоровая, фаянсовая) тара характеризуется высокой химической стойкостью, паро- и водонепроницаемостью, высокой термостойкостью, светонепроницаемостью, низкой теплопроводностью красивым внешним видом. Она имеет относительно большой удельный вес

трудоемка в изготовлении, и поэтому стоимость ее значительно выше, чем стеклянной тары. Подарочная керамическая тара обычно выпускается в красивом художественном исполнении и используется для упаковывания высококачественных сортов винно-водочной продукции, а также бальзамов, настоек и других жидкостей, которые сохраняются без доступа света при стабильной температуре.

Из **металлов** в небольших количествах изготавливают только флаконы, которые применяются в качестве подарочной упаковки для водочной и другой аналогичной продукции. Эта тара в основном изготавливается из нержавеющей стали, а также алюминия и некоторых его сплавов, не взаимодействующих с пищевыми жидкостями. Металлические флаконы характеризуются относительно большим удельным весом, идеальными барьерными свойствами, высокой механической прочностью, красивым внешним видом.

Металлические банки изготавливаются из листовой или рулонной белой горячелуженой жести марки ГЖК (из стали 08кп или 08пс), белой жести электролитического лужения марки ЭЖК, черной лакированной, хромированной лакированной и алюминированной лакированной жести, а также из алюминия марок А5, А6, А7 и его сплавов марок АД0, АД00, АМц и АМг2. Толщина материала — в пределах от 0,2 до 0,36 мм. В частности, широкое распространение получили стандартные металлические банки, предназначенные для упаковывания консервов, пищевых нестерилизуемых (ТУ 63.033.008-89) и сыпучих продуктов, химической продукции, напитков и других товаров. Сборные банки всех видов изготавливаются с продольным швом «в замок» с последующей пропайкой его припоями марок ПОС40, ПОССу40-2, ПОССу50-0,5 и другими, основными компонентами которых являются олово и свинец. Концы (доньшко и крышка) соединяются с корпусами консервных банок закатным двойным фальцевым швом, включающим герметизирующую прокладку 3 и пять слоев жести. Для герметизации соединений уплотнительными прокладками в жестебаночном производстве используют водно-аммиачную пасту, представляющую собой коллоидно-дисперсную композицию, основным компонентом которой является натуральный или синтетический латекс (например, СКС-30П и СКС-50П). Уплотнительные пасты изготавливают также на основе других полимеров, например, поливинилхлорида или эпоксидных смол.

Одно из приоритетных направлений развития производства полужестких цельноштампованных консервных банок заключается в их изготовлении из комбинированных материалов на основе полиолефинов и алюминиевой фольги. Наиболее известным и конкурентоспособным материалом из созданных для этих целей за рубежом является **стералкон**, состоящий из алюминиевой фольги толщиной от 0,05 до 0,2 мм покрытой с одной стороны лаком на основе

эпоксифенольных смол, а со второй — полипропиленовой пленкой толщиной от 0,07 до 0,15 мм. Аналог этого материала, созданный в России, называется **ламистером**. Состоит ламистер из алюминиевой фольги толщиной 0,1 - 0,125 мм, которая с наружной стороны покрыта лаком, а с внутренней ламинирована полипропиленовой пленкой толщиной 0,05 мм. В такую тару упаковывают джемы, плавленый сыр, паштеты, готовые блюда, мясные, рыбные, мясорастительные консервы и другую продукцию. Тара из стералкона и ламистера в пять раз легче жестяной и в 1,5 раза — алюминиевой, хорошо формуется, абсолютно непроницаема, обладает высокими теплофизическими характеристиками, достаточной прочностью, хорошо литографируется и маркируется тиснением, открывается без консервного ножа, является одновременно удобной одноразовой посудой, имеет низкую стоимость и проста в утилизации.

Примеры использования различной тары и упаковки. Стаканы из стекла, хрусталя, фарфора и металлов в качестве тары практически не применяются, однако изготавливаются в больших количествах и широко используются в быту в качестве посуды.

Пластмассовые стаканы изготавливают из термопластичных рулонных материалов толщиной 0,2 – 1,5 мм и листов толщиной 0,5 – 3 мм методом термоформования. Наиболее широко для этих целей применяют полистирол ударопрочный, полипропилен, поливинилхлорид, полиэтилен высокой плотности, полиэтилентерефталат и другие материалы, такие, как поливинилхлорид/полиэтилен, полиэтилентерефталат/полиэтилен и другие.

Туба. Металлические тубы на начальном этапе применения изготавливались из пластичных сплавов на основе олова и свинца. Начиная с 1920-х годов и по настоящее время их изготавливают из более легкого, безвредного и дешевого высокопластичного алюминия технической чистоты, содержащего не более 0,3% примесей. У которого 2 – 3-кратным напылением лакируется внутренняя поверхность тубы, высушивается и производится внешнее оформление корпуса, которое включает окраску поверхности.

Совершенствование этого вида тары привело к созданию и широкому применению **ламинатных туб**. Ламинатные тубы изготавливаются из гибких многослойных материалов, называемых ламинатами. **Ламиниты** — гибкие многослойные материалы, получаемые в результате соединения исходных материалов в многослойные ламинированием и кэшированием. Изготавливают тубы из ламинатов, содержащих в основе как алюминиевую фольгу толщиной 30 – 40 мкм, так и специальную полимерную пленку с высокой диффузионной плотностью. Наиболее широко для этих целей применяется, например, пятислойные ламинаты толщиной 0,3 – 0,4 мм, у которых средний слой из алюминиевой фольги или специального полимера соединяется с наружными

слоями из полиэтилена через промежуточные слои из соответствующего сополимера, например, такого, как нукрел, созданный фирмой «DuPont».

Достоинства алюминиевых труб заключаются в прочном и герметичном цельноштампованном корпусе, идеальных барьерных характеристиках материала, эффективном процессе производства, а также в высокоэластичном корпусе, практически не имеющем остаточной упругости.

Пластмассовые трубы появились на рынке упаковки в 1980-х годах и к настоящему времени получили достаточно широкое распространение. Они дешевле алюминиевых, обладают исключительными возможностями для привлекательного декоративного оформления, их упругий корпус после сжатия всегда восстанавливает свою первоначальную форму, сохраняя тем самым на всем протяжении использования содержимого привлекательный внешний вид. Изготавливают пластмассовые трубы в основном из полиэтилена высокой и низкой плотности, а также из смеси этих материалов с толщиной стенки корпуса 0,4 – 0,5 мм. Полиэтилен хорошо окрашивается в массе и предоставляет широкие возможности для декоративного многокрасочного оформления труб сухим офсетным способом, тиснением фольгой, трафаретной печатью и другими методами.

Полиэтиленовые трубы непригодны для упаковывания продукции, чувствительной к кислороду и воздуху, так как, во-первых, сам этот материал проницаем для кислорода, углекислого газа, ароматных и душистых веществ, а, во-вторых, вследствие упругости корпуса свободный объем трубы при очередном использовании содержимого заполняется всякий раз новой порцией всасываемого через горловину воздуха. При этом содержимое трубы подвергается не только непосредственному воздействию воздуха, но и загрязняется содержащимися в нем частицами, например, пылью. Применяются пластмассовые трубы в основном для упаковывания косметической продукции, не содержащей окислительных веществ и быстроулетучивающихся ароматических масел, а также для упаковывания смазочных материалов, дисперсных красок, пищевых продуктов и т. д.

Ведра. Наиболее широкое распространение получили ведра, изготовленные из металла и комбинированных материалов.

Металлические ведра многооборотные и одноразового применения изготавливают различной вместимости из тонколистовой или рулонной стали марок Ст2пс, Ст3пс толщиной 0,5 – 1,0 мм, луженой жести марки ГЖК, белой жести электролитического лужения марки ЭЖК и черной лакированной жести толщиной 0,25 – 0,5 мм на сварных и фальцевых соединительных швах, с крышками и без крышек.

Пластмассовые ведра изготавливают из полиэтилена высокой плотности, полипропилена, полистирола ударопрочного, поливинилхлорида и других

пластмасс литьем под давлением и термоформованием из листовых материалов.

Канистры. Коррозионностойкие канистры изготавливаются из тонколистовой стали марок 12Х18Н10Т или 08Х18Н10Т на сварных соединительных швах и применяются для упаковывания агрессивных жидких продуктов, не действующих активно на коррозионно-стойкую сталь, а также для упаковывания и хранения жидкой пищевой продукции. Канистры, изготовленные из алюминиевых сплавов, при ударах и трении с другими металлическими изделиями и бетонными полами не образуют искры, поэтому в них упаковываются разнообразные легковоспламеняющиеся жидкости. Применяют их также для доставки и хранения воды и других пищевых жидкостей, инертных к материалу тары. В канистры, выполненные из белой жести и оцинкованной стали, упаковывают различные реактивы и особо чистые вещества, горюче-смазочные материалы, пищевые и другие жидкости.

Пластмассовые канистры изготавливаются экструзией с раздувом, ротационным формованием и другими способами из полиэтилена высокой плотности, полипропилена, полистирола ударопрочного, поливинилхлорида и других, однородно окрашенных в различные цвета пластмасс вместимостью от 2 до 30 дм³.

Фляги. Флягой называется транспортная многооборотная тара с корпусом цилиндрической формы и цилиндрической горловиной, диаметр которой меньше диаметра корпуса, с приспособлением для переноса и крышкой с затвором.

Фляги, применяемые в качестве многооборотной транспортной тары, изготавливаются обычно из металлов и пластмасс и используются для упаковывания, доставки и хранения разнообразной жидкой и пастообразной продукции, такой, как молоко и молочные продукты, лакокрасочные и другие материалы. В них можно также упаковывать сыпучую, смешанную и мелкоштучную продукцию.

Фляги цельнотянутые алюминиевые (типа ФА) выполняются из следующих материалов: корпус – из листового алюминия марок А7, А6, А5, А0, АД0, АД 1, АД0М или АД1М; крышка – из нагартованного листового алюминия марок А7Н, А6Н, А5Н, А0Н, АД0Н или АД1Н; опорный обруч – из стального листа толщиной не менее 2 мм или алюминиевого фасонного профиля.

Фляги сварные стальные с последующим лужением (типа ФЛ) изготавливаются из следующих материалов: корпус и крышка — из тонколистовой низкоуглеродистой холоднокатаной качественной стали или холодно- и горячекатаной углеродистой с качественной и обыкновенного качества общего назначения; опорный обруч – из стального листа или полосы толщиной 3 мм.

Упаковка типа «Тетра Пак». Такая асептической упаковка кашируется (покрывается) алюминиевой фольгой толщиной около 0,007 мм, размещаемой между картоном и внутренним полиэтиленовым слоем и обладающей

идеальными барьерными свойствами. Например, из картона, ламинированного с двух сторон полиэтиленом, выполняют обычные упаковки «Тетра Классик», «Тетра Рекс» «Комбиблок» и «Тетра Брик». Для асептической упаковки «Тетра Классик Асептик» применяется четырехслойный материал, содержащий картон, алюминиевую фольгу, а также наружный и внутренний слои из полиэтилена. Но самым многослойным является материал, применяемый в упаковке «Тетра Брик Асептик». Он содержит картон, алюминиевую фольгу и четыре слоя из полиэтилена. При этом один слой полиэтилена является внешним, второй — располагается между картоном и фольгой, а третий и четвертый — на внутренней стороне рулонного материала.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Основная литература

1. Новые материалы / В.Н. Анциферов [и др.]; под науч. ред. Ю.С. Карабасова. – М.: Мисис, 2002 – 738 с.
2. Малахов, А.И. Основы металловедения и теории коррозии / А.И. Малахов, А.П. Жуков. – М.: Высшая школа, 1978. – 192с.
3. Справочник по гальванопокрытиям в машиностроении / Мельников П.С. - М.: Машиностроение, 1979. – 298с.
4. Адаскин А.М. Материаловедение (металлообработка) / А.М. Адаскин, В.М. Зуев. – М.: Академия, 2004. – 240 с.
5. Конструкционные материалы: справочник / Б.Н. Арзамасов, В.А. Брострем, Н.А. Буше [и др.], – М.: Машиностроение, 1990. – 684с.
6. Гальванические покрытия в машиностроении: Справочник / Под ред. М.А. Шлугера, т.2. – М.: Машиностроение, 1985. – 244с.
7. Кенько, В.М. Неметаллические материалы и методы их обработки / В.М. Кенько. – Мн.: Дизайн ПРО, 1998. – 240 с.
8. Кривошей, В. Н. Тара из полимерных материалов / В. Н. Кривошей. М.: Химия, 1990. – 397 с.

Дополнительная литература

9. Бородулин, Г.М. Нержавеющая сталь / Г.М. Бородулин, Е.И. Мошкевич. - М.: Металлургия. – 1973. – 320с.
10. Масленников, С.Б. Жаропрочные стали и сплавы: Справочник / С.Б. Масленников. – М.: Металлургия, 1983. – 192с.
11. Солнцев, Ю. П. Материалы для низких и криогенных температур: Энциклопедический справочник / Ю. П.Солнцев, Б. С.Ермаков, О. И. Слепцов.– СПб.: Химздат, 2008. – 768 с.
12. Штарке, Л. Использование промышленных и бытовых отходов пластмасс. / Пер. с нем. Под ред. В.А. Брагинского. – Л.: Химия, 1987 – 252 с.
13. Шефтель, В. О. Вредные вещества в пластмассах / В. О. Шефтель. М.: Химия, 1991. – 544 с.
14. Яковлев, А.Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий: Учебное пособие для вузов / А.Д. Яковлев. – Л.: Химия, 1981.– 352 с.
15. Энциклопедия полимеров / редкол.: Б.А.Каргин [и др.]; Т. 1: А – К. – М.: Советская энциклопедия, 1972. – 1224 с.
16. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Справочник/ И.Г. Анисимов [и др.] ; Под ред. В.М. Школьников. - 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Техинформ». 1999, – 596 с.
17. Восстановление деталей машин. Справочник / Ф. И. Пантелеенко, В.П. Лялякин, В.П. Иванов, В.М. Константинов; Под ред. В.П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.