

Часть I. Классификация конструкционных материалов

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение
1. Metallургия сплавов железа (доменное производство, производство стали)	
2. Metallургия цветных металлов и сплавов	
3. Производство полимерных материалов	
4. Производство стекла	
5. Производство керамических материалов	
6. Производство материалов из древесины	
7. Производство волокнистых материалов	
7.1 Композиционные материалы с волокнистыми наполнителями	
7.2 Композиционные материалы со слоистыми наполнителями	
7.3 Композиционные материалы с газообразными наполнителями	
Список рекомендуемой литературы.....

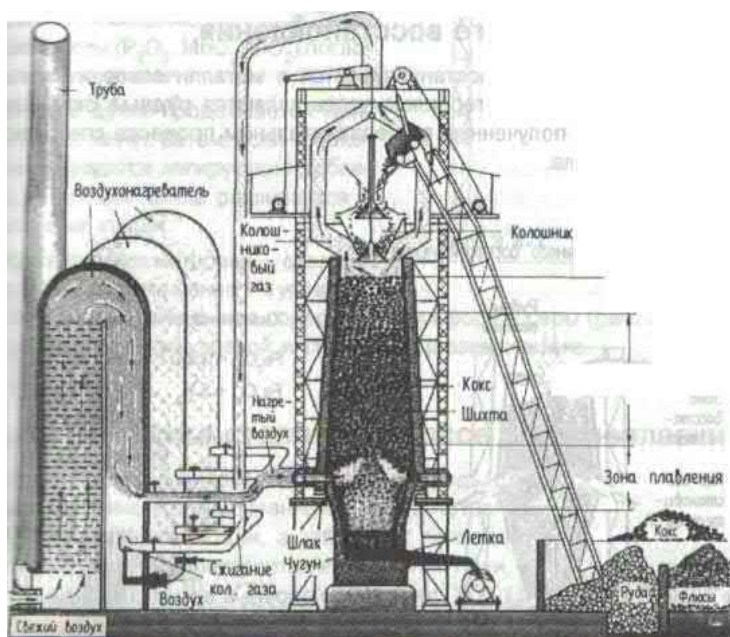
ВВЕДЕНИЕ

Обработка материала предусматривает придание ему необходимых размеров, формы, определенных свойств и включает в себя широкий класс процессов. Это резание, шлифование, давление, прессование, термообработка, склеивание, пайка, сварка, оксидирование, сплавление, травление, электролиз, глубинное и поверхностное закаливание, обработка взрывом, водоструйная и пескоструйная обработка, обработка токами высокой частоты, растворение, окрашивание и другие. В период бурного развития техники и технологий будущему специалисту необходимо знать всю гамму этих процессов для грамотного выбора того или иного технологического процесса обработки различных материалов.

1.Металлургия сплавов железа

Доменное производство Производство чугуна в доменной печи

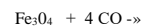
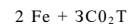
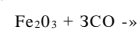
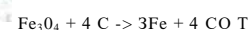
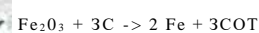
Во всем мире, чугун производится в основном в доменных цехах (рис. 3.3-1, левая часть). Они состоят из доменной печи высотой примерно 60 м с отдельными установками, такими как воздухо-нагреватели (для получения нагретого воздуха для горения), установки для подготовки руды и установки для дозирования флюсов.



Доменная печь

Химические процессы

Железная руда сверху поступает в зону восстановления и там восстанавливается:



Подаваемый снизу нагретый воздух реагирует с углеродом:

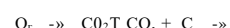
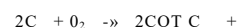


Рис. 3.3-1. Доменная печь, материальные потоки и химические процессы

Доменная печь загружается сверху через колошник шихтой и коксом (послойно). Шихтой в металлургии называется смесь из железной руды и флюсов, состоящих из извести и доломита, каждый компонент загрузки доменной печи выполняет свою задачу:

- железная руда содержит конечный продукт, железо. Флюсы (известь, доломит) образуют в процессе плавки легкоплавкие шлаки и способствуют растворению пустой породы в жидком шлаке за счет снижения ее температуры плавления. Кокс восстанавливает железо из руды, а также благодаря частичному сгоранию создает необходимые для восстановления высокие температуры.

В нижней части доменной печи подается нагретый воздух; он сжигает часть кокса до газообразной двуокиси и окиси углерода. Этот газ, взаимодействуя при своем дальнейшем подъеме с рудой, действует как

восстановитель (рис. 3.3-1, справа).

Загружаемый материал скользит вниз, во все более горячие зоны доменной печи. В восстановительной зоне с температурой от 600°C до 1100°C железная руда Fe_2O_3 восстанавливается поднимающимися вверх восстанавливающими газами и горячим коксом до металлического железа Fe (рис. 3.3-1, химические процессы). Оно образуется здесь сначала в виде твердого, пористого губчатого железа. При дальнейшем сползании в зону плавления с температурой около 1000°C губчатое железо плавится, стекает в горн » образует жидкий чугун.

Опускающиеся вместе с железом флюсы (известь, доломит) также плавятся и растворяют пустую породу. Образующийся шлак стекает вниз, где собирается над жидким чугуном. Шлаки и чугун время от времени по отдельности выпускаются через летки.

Готовый чугун содержит примерно 8% примесей: около 4% углерода, а также марганец, кремний, фосфор и серу, которые в зависимости от вида руды и флюсов могут встречаться в различных концентрациях. Чугун с высоким содержанием кремния является исходным материалом для отливок. Он называется литейным чугуном или, благодаря серой поверхности излома, серым чугуном. Чугун с высоким содержанием марганца перерабатывается в сталь. Он называется передельным чугуном или, из-за светлой поверхности излома, белым чугуном.

Литейный чугун после выпуска ОГЛИвается в чушки (железные стержни-заготовки) и является сырьем для чугунолитейного производства. Передельный чугун собирается в передвижных чугуновозных ковшах и миксерах, где из него примешиванием обессеривающих средств (CaC_2) удаляется сера. После этого он подается в ближайший сталеплавильный цех для выплавки стали. В больших доменных печах за сутки выплавляется около 10 000 т чугуна.

Производство стали

В стали по сравнению с чугуном содержится меньше углерода, кремния, серы и фосфора. Для получения стали из чугуна необходимо снизить концентрацию веществ путем окислительной плавки.

В современной металлургической промышленности сталь выплавляют в основном в трех агрегатах: конверторах, мартеновских и электрических печах.

Производство стали в конверторах

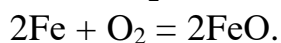
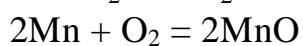
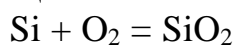
Конвертор представляет собой сосуд грушевидной формы. Верхнюю часть называют козырьком или шлемом, она имеет горловину, через которую жидкий чугун и сливают сталь и шлак. Средняя часть имеет цилиндрическую форму. В нижней части есть приставное днище,

которое по мере износа заменяют новым. К днищу присоединена воздушная коробка, в которую поступает сжатый воздух. Емкость современных конвекторов равна 60 - 100 т и более, а давление воздушного дутья 0,3-1.35 Мн/м. Количество воздуха необходимого для переработки 1 т чугуна, составляет 350 м³. Перед заливкой чугуна конвектор поворачивают до горизонтального положения, при котором отверстия фурм оказываются выше уровня залитого чугуна. Затем его медленно возвращают в вертикальное положение и одновременно подают дутье, не позволяющее металлу проникать через отверстия фурм в воздушную коробку. В процессе продувки воздухом жидкого чугуна выгорают кремний, марганец, углерод и частично железо,

При достижении необходимой концентрации углерода конвектор возвращают в горизонтальное положение и прекращают подачу воздуха. Готовый металл раскисляют и выливают в ковш.

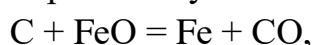
Бессемеровский процесс. В конвертор заливают жидкий чугун с достаточно высоким содержанием кремния (до 2.25% и выше), марганца (0,6-0,9%) и минимальным количеством серы и фосфора.

По характеру происходящей реакции бессемеровский процесс можно разбить на три периода. Первый период начинается после пуска дутья в конвертор и продолжается 3-6 мин. Из горловины конвертора вместе с газами вылетают мелкие капли жидкого чугуна с образованием искр. В этот период окисляются кремний, марганец и частично железа по реакциям:



Образующаяся закись железа частично растворяется в жидком металле, способствуя дальнейшему окислению кремния и марганца. Эти реакции протекают с выделением большого количества тепла, что вызывает разогрев металла. Шлак получается кислым (40-50% SiO₂).

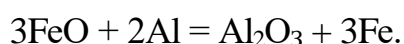
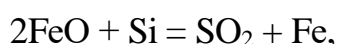
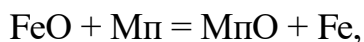
Второй период начинается после почти полного выгорания кремния и марганца. Жидкий металл достаточно хорошо разогрет, что создаются благоприятные условия для окисления углерода по реакции



которая протекает с поглощением тепла. Горение углерода продолжается 8-10 мин и сопровождается некоторым понижением температуры жидкого металла. Образующаяся окись углерода сгорает на воздухе. Над горловиной конвектора появляется яркое пламя.

По мере снижения содержания углерода в металле пламя над

горловиной уменьшается и начинается третий период. Он отличается от предыдущих периодов появлением над горловиной конвертора бурого дыма. Это показывает, что из чугуна почти полностью выгорели кремний, марганец и углерод и началось очень сильное окисление железа. Третий период продолжается не более 2-3 мин, после чего конвектор переворачивают в горизонтальное положение и в ванну вводят раскислители (ферромарганец, ферросилиций или алюминий) для понижения содержания кислорода в металле. В металле происходят реакции



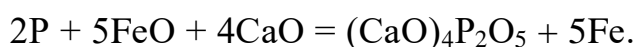
Готовую сталь выливают из конвектора в ковш, а затем направляют на разливку.

Чтобы получить сталь с заранее заданным количеством углерода (например, 0,4 - 0,7% C), продувку металла прекращают в тот момент, когда из него углерод еще не выгорел, или можно допустить полное выгорание углерода, а затем добавить определенное количество чугуна или содержащих углерод определенное количество ферросплавов.

Томасовский процесс. В конвертор с основной футеровкой сначала загружают свежесожженную известь, а затем заливают чугун, содержащий 1,6-2,0% P, до 0,6%Si и до 0,8%S. В томасовском конвекторе образуется известковый шлак, необходимый для извлечения и связывания фосфора. Заполнение конвектора жидким чугуном, подъем конвертора, и пуск дутья происходят также как и в бессемеровском процессе.

В первый период продувки в конвекторе окисляется железо, кремний, марганец и формируется известковый шлак. В этот период температура металла несколько повышается.

Во второй период продувки выгорает углерод, что сопровождается некоторым понижением температуры металла. Когда содержание углерода в металле достигнет менее 0,1%, пламя уменьшится и исчезнет. Наступает третий период, вовремя которого интенсивно окисляется фосфор



В результате окисления фосфор переходит из металла в шлак, поскольку тетрафосфат кальция может раствориться только в нем. Томасовские шлаки содержат 16 - 24% P₂O₅.

Данная реакция сопровождается выделением значительного

количества тепла, за счет которого происходит более резкое повышение температуры металла. Перед раскислением металла из конвертора необходимо удалить шлак т.к. содержащиеся в раскислителях углерод, кремний, марганец будут восстанавливать фосфор из шлака, и переводить его в металл. Томасовскую сталь применяют для изготовления кровельного железа, проволоки и сортового проката.

Кислородно-конверторный процесс. Для интенсификации бессемеровского и томасовского процессов в последние годы начали применять обогащенное кислородом дутье.

При бессемеровском процессе обогащения дутья кислородом позволяет сократить продолжительность продувки и увеличить производительность конвертора и долю стального скрапа, подаваемого в металлическую ванну в процессе плавки. Главным достоинством кислородного дутья является снижение содержания азота в стали с 0,012-0,025 (при воздушном дутье) до 0,008-0,004% (при кислородном дутье). Введение в состав дутья смеси кислорода с водяным паром или углекислым газом позволяет повысить качество бессемеровской стали, до качества стали, выплавляемой в мартеновских и электрических печах.

Большой интерес представляет использование чистого кислорода для выплавки чугуна в глуходонных конверторах сверху с помощью водоохлаждаемых фурм.

Производство стали кислородно-конверторным способом с каждым годом увеличивается.

Производство стали в мартеновских печах

В мартеновских печах сжигают мазут или предварительно подогретые газы с использованием горячего дутья.

Печь имеет рабочее (плавильное) пространство и две пары регенераторов (воздушный и газовый) для подогрева воздуха и газа. Газы и воздух проходят через нагретую до 1200°C огнеупорную насадку соответствующих регенераторов и нагреваются до 1000-1200°C. Затем по вертикальным каналам направляются в головку печи, где смешиваются и сгорают, в результате чего температура под сводом достигает 1680-1750°C. Продукты горения направляются из рабочего пространства печи в левую пару регенераторов и нагревают их огнеупорную насадку, затем поступают в котлы-утилизаторы и дымовую трубу. Когда огнеупорная насадка правой пары регенераторов остынет, остынет так что не сможет нагревать проходящие через них газы и воздух до 1100°C, левая пара регенераторов нагревается примерно до 1200-1300°C, В этот момент

переключают направление движения газов и воздуха. Это обеспечивает непрерывное поступление в печь подогретых газов и воздуха.

Большинство мартеновских печей отапливают смесью доменного, коксовального и генераторного газов. Также применяют и природный газ. Мартеновская печь, работающая на мазуте, имеет генераторы только для нагрева воздуха.

Шихтовые материалы (скрапы, чугун, флюсы) загружают в печь наполненной машиной через завалочные окна. Разогрев шихты, расплавление металла и шлака в печи происходит в плавильном пространстве при контакте материалов с факелом раскаленных газов. Готовый металл выпускают из печи через отверстия, расположенные в самой низкой части подины. На время плавки выпускное отверстие забивают огнеупорной глиной.

Процесс плавки в мартеновских печах может быть кислым или основным. При кислом процессе огнеупорная кладка печи выполнена из диносов ого кирпича. Верхние части подины наваривают кварцевым песком и ремонтируют после каждой плавки. В процессе плавки получают кислый шлак с большим содержанием кремнезема (42-58%).

При основном процессе плавки подину и стенки печи выкладывают из магнезитового кирпича, а свод - из диносов ого или хромомagneзитового кирпича. Верхние слои подины наваривают магнезитовым или доломитовым порошком и ремонтируют после каждой плавки. В процессе плавки получают кислый шлак с большим содержанием 54 - 56% CaO.

Основной мартеновский процесс. Перед началом плавки определяют количество исходных материалов (чушковый чугун, стальной скрап, известняк, железная руда) и последовательность их загрузки в печь. При помощи заливочной машины мульда (специальная коробка) с шахтой вводится в плавильное пространство печи и переворачивается, в результате чего шихта высыпается на подину печи. Сначала загружают мелкий скрап, затем более крупный и на него кусковую известь (3 - 5 % массы металла). После прогрева загруженных материалов подают оставшийся стальной лом и предельный чугун двумя тремя порциями.

Этот порядок загрузки материалов позволяет их быстро прогреть и расплавить. Продолжительность загрузки шихты зависит от емкости печи, характера шихты, тепловой мощности печи и составляет 1,5 - 3 ч. В период загрузки и плавления шихты происходит частичная окисление железа и фосфора почти полное окисление кремния и марганца и образования первичного шлака. Указанные элементы окисляются сначала за счет кислорода печных газов и руды, а затем за счет закиси железа, растворенной в шлаке.

Первичный шлак формируется при расплавлении и окислении

металла и содержит 10 -15% FeO, 35 -45% CaO, 13 - 17% MnO. После образования шлака жидкий металл оказывается изолированным от прямого контакта с газами, и окисление примесей происходит под слоем шлака. Кислород в этих условиях переносится закисью железа, которая растворяется в металле и шлаке. Увеличение концентрации закиси железа в шлаке приводит к возрастанию ее концентрации в металле.

Для более интенсивного питания металлической ванны кислородом в шлак вводят железную руду. Кислород, растворенный в металле, окисляет кремний, марганец, фосфор и углерод по реакциям, рассмотренным выше.

К моменту рас плавления всей шихты значительная часть фосфора переходит в шлак, так как последний содержит достаточное количество закиси железа и извести. Во избежание обратного перехода фосфора в металл перед началом кипения ванны 40 - 50% первичного шлака из печи.

После скачивания первичного шлака в печь загружают известь для образования нового и более основного шлака. Тепловая нагрузка печи увеличивается, для того чтобы тугоплавкая известь быстрее перешла в шлак, а температура металлической ванны повысилась. Через некоторое время 15-20 мин в печь загружают железную руду, которая увеличивает содержание окислов железа в шлаке, и вызывает в металле реакцию окисления углерода

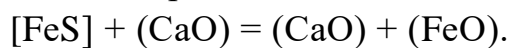


Образуется окись углерода и выделяется из металла в виде пузырьков, создавая впечатление его кипения, что способствует перемешиванию металла, выделение металлических включений и растворенных газов, а также равномерному распределению температуры по глубине ванны. Для хорошего кипения ванны необходимо подводить тепло, так как данная реакция сопровождается поглощением тепла. Продолжительность периода кипения ванны зависит от емкости печи и марки стали, и находится 1,25 - 2,5 ч и более. Обычно железную руду добавляют в печь в первую периода кипения, называемого полировкой металла. Скорость окисления углерода в этот период в современных мартеновских печах большой емкости равна 0.3 - 0,4% в час.

В течение второй половины периода кипения железную руду в ванну не подают. Металл кипит мелкими пузырьками за счет накопленных в шлаке окислов железа. Скорость выгорания углерода в этот период равна 0,15 - 0,25% в час, В период кипения, следя за основностью и

жидкотекучестью шлака. Когда содержание углерода в металле окажется несколько ниже, чем требуется для готовой стали, начинается последняя стадия плавки - период доводки и раскисления металла. В печь вводят определенное количество кускового ферромарганца (12% Mn), а затем через 10-15 мин ферросилиций (12-16% Si). Марганец и кремний взаимодействуют с растворенным в металле кислородом, в результате чего реакция окисления углерода приостанавливается. Внешним признаком освобождения металла от кислорода является прекращение выделения пузырьков окиси углерода на поверхности шлака.

При основном процессе плавки происходит частичное удаление серы из металла по реакции



Для этого необходимы высокая температура и достаточная основность шлака.

Кислый мартеновский процесс. Этот процесс состоит из тех же периодов, что и основной. Шихту применяют очень чистую по фосфору и сере. Объясняется это тем, что образующийся кислый шлак не может задерживать указанные вредные примеси.

Печи обычно работают на твердой шихте. Количество скрапа равно 30 - 50% массы металлической шихты. В шихте допускается не более 0,5% Si. Железную руду в печь подавать нельзя, так как она может взаимодействовать с кремнеземом подины и разрушать ее в результате образования легкоплавкого соединения $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$. Для получения первичного шлака в печь загружают некоторое количество кварцита или мартеновского шлака. После этого шихта нагревается печными газами; железо, кремний, марганец окисляются, их окислы сплавляются с флюсами и образуют кислый шлак, содержащий до 40 - 50 % SiO_2 .

В этом шлаке большая часть закиси железа находится в силикатной форме, что затрудняет его переход из шлака в металл. Кипение ванны при кислом процессе начинается позже, чем при основном, и происходит медленнее даже при хорошем нагреве металла. Кроме того, кислые шлаки имеют повышенную вязкость, что отрицательно сказывается на выгорании углерода,

Так как сталь выплавляется под слоем кислого шлака с низким содержанием свободной закиси железа, этот шлак защищает металл от насыщения кислородом.

Перед выпуском из печи в стали содержится меньше растворенного кислорода, чем в стали, выплавленной при основном процессе.

Для интенсификации мартеновского процесса воздух обогащают кислородом, который подается в факел пламени. Это позволяет получать более высокие температуры в факеле пламени, увеличивать ее

лучеиспускающую способность, уменьшать количество продуктов горения и благодаря этому увеличивать тепловую мощность печи

Кислород можно вводить и в ванну печи. Введение кислорода в факел и в ванну печи сокращает периоды плавки и увеличивает производительность печи на 25-30%. Изготовление хромомagneзитовых сводов вместо диасовых позволяет увеличивать тепловую мощность печей, увеличить межремонтный период в 2-3 раза и повысить производительность на 6-10%,

Производство стали в электрических печах

Для выплавки стали используют электрические печи двух типов; дуговые и индукционные (высокочастотные). Первые из них получили более широкое применение в металлургической промышленности. Дуговые печи имеют емкость 3 - 80 т и более. На металлургических заводах устанавливают печи емкостью 30 -80 тонн. В электрических печах можно получать очень высокие температуры {до 2000(С), расплавлять металл с высокой концентрацией тугоплавких компонентов иметь, иметь основной шлак, хорошо очищать металл от вредных примесей, создавать восстановительную атмосферу или вакуум (индукционные печи) и достигать высокого раскисления и дегазации металла.

Нагревание и расплавление шихты осуществляется за счет тепла, излучаемого тремя электрическими дугами. Электрические дуги образуются в плавильном пространстве печи между вертикально подвешенными электродами и металлической шихтой.

Дуговая печь имеет следующие основные части: сварной или клепанный кожух цилиндрической формы, со сфероидальным днищем; подины и стенок; съемный арочный свод с отверстиями для электродов; механизм для закрепления вертикального перемещения электродов; две опорные станины; механизм наклона печи, позволяющий поворачивать печь при выпуске стали по желобу и в сторону загрузочного окна для скачивания шлака.

В сталеплавильных печах применяют угольный и графитированные электроды.

Диаметр электродов определяется мощностью потребляемого тока и составляет 350 - 550 мм. В процессе плавки нижние концы электродов сгорают. Поэтому электроды постепенно опускают и в необходимых случаях наращивают сверху.

Технология выплавки стали в дуговых печах

В электрических дуговых печах высококачественную углеродистую или легированную сталь. Обычно для выплавки стали, применяют шихту в твердом состоянии. Твердую шихту в дуговых печах с основной футеровкой используют при плавке стали с окислением шихты и при переплавке металла без окисления шихты.

Технология плавки с окислением шихты в основной дуговой печи подобна технологии плавки стали в основных мартеновских печах (скрап-процессам).

После заправки падины в печь загружают шихту. Среднее содержание углерода в шихте на 0,5 -0,6% выше, чем в готовой стали. Углерод выгорает и обеспечивает хорошее кипение ванны. На подину печи загружают мелкий стальной лом, затем более крупный. Укладывать шихту в печи надо плотно. Особенно важно хорошо уложить куски шихты в месте нахождения электродов. Шихту в дуговые печи малой и средней емкости загружают мульдами или лотками через завалочное окно, а в печи большой емкости через свод, который отводят в сторону вместе с электродами. После загрузки шихты электроды опускают до легкого соприкосновения с шихтой. Подложив под нижние концы электродов кусочки кокса, включают ток, и начинают плавку стали. При плавки стали в дуговых печах различают окислительный и восстановительный периоды.

Во время окислительного периода расплавляется шихта, окисляется кремний, марганец, фосфор, избыточный углерод, частично железо и другие элементы, например хром, титан, и образуется первичный шлак. Реакция окисления такие же, как и при основном мартеновском процессе. Фосфор из металла удаляется в течение первой половины окислительного периода, пока металл в ванне сильно не разогрелся. Образовавшийся при этом первичный фосфористый шлак в количестве 60 - 70% удаляют из печи. Для получения нового шлака в основную дуговую печь подают обожженную известь и другие необходимые материалы. После удаления фосфора и скачивания первичного шлака металл хорошо прогревается и начинается горение углерода. Для интенсивного кипения ванны в печь забрасывают необходимое количество железной руды или окалины и шлакообразующих веществ.

Во время кипения ванны в течение 45-60 мин избыточный углерод сгорает, растворенные газы и неметаллические включения удаляются. При этом отбирают пробы металла для быстрого определения в нем содержания углерода и марганца и пробы шлака для определения его состава. Основность шлака поддерживается равной 2-2,5, что необходимо

для задержания в нем фосфора.

После удаления углерода скачивают весь шлак. Если в металле в период окисления углерода содержится меньше, чем требуется по химическому анализу, то в печь вводят куски графитовых электродов или кокс. В восстановительный период плавки раскисляют металл, переводят максимально возможное количество серы в шлак, доводят химический состав металла до заданного и готовят его к выпуску из печи. Восстановительный период плавки в основных дуговых печах при выплавке сталей с низким содержанием углерода проводится под белым (известковым) слоем шлаком, а при выплавке высокоуглеродистых сталей - под карбидным шлаком.

Для получения белого шлака в печь загружают шлаковую смесь, состоящую из извести и плавикового шпата. Через некоторое время на поверхности образуется слой шлака с достаточно высокой концентрацией FeO и MnO. Пробы шлака имеют темный цвет.

Перед раскислением металла в печь двумя-тремя порциями забрасывают вторую шлаковую смесь, состоящей из кусковой извести, плавикового шпата, молотого древесного угля и кокса. Через некоторое время содержание FeO и MnO понижается. Пробы шлака становятся светлее, закись железа из металла начинает переходить в шлак. Для усиления раскисляющего действия к концу восстановительного периода в печь забрасывают порошок ферросилиция, под влиянием которого содержание FeO в шлаке понижается. В белом шлаке содержится до 50 - 60% CaO, а на поверхности его плавает древесный уголь, что позволяет эффективно удалять серу из металла.

Во время восстановительного периода плавки в металл вводят необходимые добавки, в том числе и легирующие. Окончательно металл раскисляют в печи алюминием.

Выплавка стали под карбидным шлаком на первой стадии восстановительного процесса происходит так же, как и под белым шлаком. Затем на поверхность шлака загружают карбидообразующую смесь, состоящую из кокса, извести и плавикового шпата. При высоких температурах протекает реакция $CaO + 3C = CaC_2 + CO$.

Образующийся карбид кальция увеличивает раскислительную и обессеривающую способность карбидного шлака. Для ускорения образования карбидного шлака печь хорошо герметизируют. Карбидный шлак содержит 55-65% CaO и 0,3 - 0,5% FeO; он обладает науглероживающей способностью. При выплавке стали методом переплава, в печь не загружают железную руду; условия для кипения

ванны отсутствуют. Шихта состоит из легированных отходов с низким содержанием фосфора, поскольку его нельзя будет удалить в шлак. Для понижения содержания углерода в шихту добавляют 10 - 15% мягкого железа. Образующийся при расплавлении шихты первичный шлак из печи не удаляют. Это сохраняет легирующие элементы (Сг, Ti, V), которые переходят из шлака в металл.

Устройство и работа индукционных печей. Индукционные печи отличаются от дуговых способом подвода энергии к расплавленному металлу. Индукционная печь примерно работает так же как обычный трансформатор: имеется первичная катушка, вокруг которой при пропускании переменного тока создается переменное магнитное поле. Магнитный поток наводит во вторичной печи переменный ток, под влиянием которого нагревается и расплавляется металл. Индукционные печи имеют емкость от 50 кг до 100 т и более. В немагнитном каркасе имеются индуктор и огнеупорный плавильный двигатель. Индуктор печи выполнен в виде катушки с определенным числом витков медной трубки, внутри которой циркулирует охлаждающая вода. Металл загружают в тигель, который является вторичной обмоткой. Переменный ток вырабатывается в машинных или ламповых генераторах. Подвод тока от генератора к индуктору осуществляется посредством гибкого кабеля или медных шин. Мощность и частота тока определяются емкостью плавильного тигля и состава шихты. Обычно в индукционных печах используется ток частотой 500 - 2500 Гц. Крупные печи работают на меньших частотах. Мощность генератора выбирают из расчета 1,0 - 1,4 кВт/кг шихты. Плавильные тигли печей изготавливают из кислых или основных огнеупорных материалов,

В индукционных печах сталь выплавляют методом переплава шихты. Угар легирующих при этом получается очень небольшим. Шлак образуется при загрузке шлакообразующих компонентов на поверхность расплавленного металла.

Температура шлака во всех случаях меньше температуры металла, так как шлак не обладает магнитной проницаемостью и в нем не индуцируется ток. Для выпуска стали из печи, тигель наклоняют в сторону сливного носка. В индукционных печах нет углерода, поэтому металл не науглероживается. Под действием электромагнитных сил металл циркулирует, что ускоряет химические реакции и способствует получению однородного металла. Индукционные печи применяют для выплавки высоколегированных сталей и сплавов особого назначения, имеющих низкое содержание углерода и кремния.

Новые методы производства и обработки стали

Электроннолучевая плавка металлов

Для получения особо чистых металлов и сплавов используют электроннолучевую плавку. Плавка основана на использовании кинетической энергии свободных электронов, получивших ускорение в электрическом поле высокого напряжения. На металл направляется поток электронов, в результате чего он нагревается и плавится. Электроннолучевая плавка имеет ряд преимуществ: электронные лучи позволяют получить высокую плотность энергии нагрева, регулировать скорость плавки в больших пределах, исключить загрязнение расплава материалом тигля и применять шихту в любом виде. Перегрев расплавленного металла в сочетании с малыми скоростями плавки и глубоким вакуумом создают эффективные условия для очистки металла от различных примесей.

Электрошлаковый переплав. Очень перспективным способом получения высококачественного металла является электрошлаковый переплав. Капли металла, образующиеся при переплаве заготовки, проходят через слой жидкого металла и рафинируются. При обработке металла шлаком и направленной кристаллизации слитка снизу вверх содержание серы в заготовке снижается на 30 - 50%, а содержание неметаллических включений - в два-три раза.

Вакуумирование стали. Для получения высококачественной стали, широко применяется вакуумная плавка. В слитке содержатся газы и некоторое количество неметаллических включений. Их можно значительно уменьшить, если воспользоваться вакуумированием стали при ее выплавке и разливке. При этом способе жидкий металл подвергается выдержке в закрытой камере, из которой удаляют воздух и другие газы. Вакуумирование стали производится в ковше перед заливкой по изложницам. Лучшие результаты получаются тогда, когда сталь после вакуумирования в ковше разливают по изложницам так же в вакууме. Выплавка металла в вакууме осуществляется в закрытых индукционных печах.

Рафинирование стали в ковше жидкими синтетическими шлаками. Сущность этого метода состоит в том, что очистка стали от серы, кислорода и неметаллических включений производится при интенсивном перемешивании стали в ковше с предварительно слитым в него шлаком, приготовленным в специальной шлакоплавильной печи.

Сталь после обработки жидкими шлаками обладает высокими механическими свойствами. За счет сокращения периода рафинирования в дуговых печах, производительность которых может быть увеличена на 10 -15%. Мартеновская печь, обработанная синтетическими шлаками, по качеству близка к качеству стали, выплавляемой в электрических печах.

2. Metallurgy of non-ferrous metals and alloys

Aluminum and its alloys

Aluminum is characterized by the fact that its density is 2,7 t/m³ against 7,8 for iron and 9,0 for copper. Alloys based on aluminum are deformable, i.e. they are obtained by the method of rolling, pressing, forging and so on. Aluminum alloys are characterized by high thermal and electrical conductivity, good corrosion resistance, high technological plasticity, good processability, cutting and a wide variety of mechanical, physical, anti-friction properties and so on.

On the basis of aluminum the following alloys are produced: AD, AD1, AMc, AMg, AMg5P, AMg3, AMg5, AMg6, D1, D1P, D6, D16P, D18, D18P, AK4, AK41-1, AK6, AK:-1, AK8, B93, B94, B95, B96C, B65, VD17Ю D20, D21, AD31, AD33, APBA-1, as well as sintered aluminum powder (SAP) and sintered aluminum alloys (SAC). The main alloying elements are copper, magnesium, manganese, zinc, silicon, as well as titanium, chromium, beryllium, nickel, zirconium, iron and so on.

From aluminum alloys semi-fabricated products (sheets, pressed profiles, forgings and stampings, rods, wire, foil) of various shapes and sizes are produced.

Deformable aluminum alloys are divided into non-strengthened and strengthened by thermal treatment. Mechanical properties of non-strengthened alloys are improved by alloying. Additional strengthening of these alloys can be achieved as a result of aging (deformation in a cold state). However, the use of aging leads to a decrease in plasticity, therefore after aging they are subjected to thermal treatment with the aim of increasing plasticity. To strengthening belong such alloys, which, in addition to strengthening by alloying, are strengthened also by the decomposition of supersaturated solid solutions. Thermal treatment of alloys in this case usually consists of quenching and aging (natural or artificial). For additional strengthening of such alloys aging is used, producing it between quenching and aging. After these operations it is possible to apply annealing.

В зависимости от области применения алюминиевых сплавов к ним предъявляются и соответствующие требования. Для деталей, несущих большие механические нагрузки, выбираются высокопрочные сплавы, работающие в условиях растяжения, сжатия, кручения и т.д. Для деталей, работающих в условиях знакопеременных нагрузок, основным параметром будет выступать усталость (выносливость) алюминиевых сплавов; для деталей, работающих под действием статических нагрузок, – долговечность, для заклепок – сопротивление срезу, для электротехнической промышленности – электропроводность, температурный коэффициент электрического сопротивления, коэффициент термического расширения и т.д.

Весьма существенным свойством алюминиевых сплавов является их коррозионная стойкость. Например, чистый алюминий (АД, АД1), сплавы АМц, АМг2 и АМг3 обладают высокой коррозионной стойкостью и могут применяться в морских и тропических условиях. Коррозионная стойкость этих сплавов не чувствительна к методам производства полуфабрикатов. Сварные соединения этих сплавов по коррозионной стойкости близки к основному металлу. Коррозионная стойкость более легированных сплавов АМг5, АМг6 чувствительна к методам производства и условиям эксплуатации. Так, при длительном нагреве их на 60...70°C они склонны к коррозии под напряжением и межкристаллитной коррозии. Холодная деформация усиливает эту склонность. Производство полуфабрикатов при строго контролируемых условиях обеспечивает им вполне удовлетворительную коррозионную стойкость в условиях эксплуатации.

Сварные соединения этих сплавов по коррозионной стойкости близки к основному металлу и не подвержены коррозионному растрескиванию под напряжением. Однако нагрев материала выше 100°C после сварки делает его склонным к межкристаллитной коррозии. Заклепки из сплава АМгП следует ставить в конструкцию анодированными в серной кислоте с наполнением анодной пленки хромпиком. Сплавы АВ, АД31, АД33 и АД35 обладают удовлетворительной коррозионной стойкостью. Они не чувствительны к технологическим и эксплуатационным нагревам; основной металл и сварные соединения не склонны к коррозионному растрескиванию под напряжением. Сплав АВ из-за наличия в его составе меди обладает меньшей коррозионной стойкостью, чем сплавы АД31, АД33 и АД35. Удовлетворительной коррозионной стойкостью в искусственно состаренном состоянии обладает сплав АВ, содержащий не более 0,1% Си.

Сплавы, содержащие в своем составе медь (Д1, Д18, Д3П, Д16, ВД17, Д6, Д19, М40), а также сплавы типа В95 имеют пониженную коррозионную стойкость.

Литейные алюминиевые сплавы (АЛ1, АЛ2...АЛ13) имеют ряд особенностей: повышенную жидкотекучесть, обеспечивающую получение тонкостенных и сложных по конфигурации отливок; невысокую линейную

усадку; пониженную склонность к образованию горячих трещин.

В основном используются сплавы на основе: Al-Mg (АЛ8, АЛ27; высокая коррозионная стойкость, наибольшая удельная прочность и ударная вязкость, хорошая обрабатываемость резанием); Al-Si (АЛ2, АЛ4, АЛ9; высокие литейные свойства; повышенная герметичность отливок); Al-Cu (АЛ7, содержание меди до 6%; высокая прочность); Al-Cu-Si (АЛ3, АЛ10, АЛ14, АЛ15; простая технология литья, хорошая обрабатываемость резанием) и др.

Весьма существенным свойством алюминиевых сплавов является их коррозионностойкость. Например, чистый алюминий (АД, АД1), сплавы АМц, АМг2 и АМг3 обладают высокой коррозионной стойкостью и могут применяться в морских и тропических условиях. Коррозионная стойкость этих сплавов не чувствительна к методам производства полуфабрикатов. Сварные соединения этих сплавов по коррозионной стойкости близки к основному металлу. Коррозионная стойкость более легированных сплавов АМг5, АМг6 чувствительна к методам производства и условиям эксплуатации. Так, при длительном нагреве их на 60...70°C они склонны к коррозии под напряжением и межкристаллитной коррозии. Холодная деформация усиливает эту склонность. Производство полуфабрикатов при строго контролируемых условиях обеспечивает им вполне удовлетворительную коррозионную стойкость в условиях эксплуатации. Сварные соединения этих сплавов по коррозионной стойкости близки к основному металлу и не подвержены коррозионному растрескиванию под напряжением. Однако нагрев материала выше 100°C после сварки делает его склонным к межкристаллитной коррозии. Заклепки из сплава АМгП следует ставить в конструкцию анодированными в серной кислоте с наполнением анодной пленки хромпиком. Сплавы АВ, АД31, АД33 и АД35 обладают удовлетворительной коррозионной стойкостью. Они не чувствительны к технологическим и эксплуатационным нагревам; основной металл и сварные соединения не склонны к коррозионному растрескиванию под напряжением. Сплав АВ из-за наличия в его составе меди обладает меньшей коррозионной стойкостью, чем сплавы АД31, АД33 и АД35. Удовлетворительной коррозионной стойкостью в искусственно состаренном состоянии обладает сплав АВ, содержащий не более 0,1% Си.

Сплавы, содержащие в своем составе медь (Д1, Д18, Д3П, Д16, ВД17, Д6, Д19, М40), а также сплавы типа В95 имеют пониженную коррозионную стойкость.

Литейные алюминиевые сплавы (АЛ1, АЛ2...АЛ13) имеют ряд особенностей: повышенную жидкотекучесть, обеспечивающую получение тонкостенных и сложных по конфигурации отливок; невысокую линейную усадку; пониженную склонность к образованию горячих трещин. В основном используются сплавы на основе: Al-Mg (АЛ8, АЛ27; высокая коррозионная стойкость, наибольшая удельная прочность и ударная

вязкость, хорошая обрабатываемость резанием); Al-Si (АЛ2, АЛ4, АЛ9; высокие литейные свойства; повышенная герметичность отливок); Al-Cu (АЛ7, содержание меди до 6%; высокая прочность); Al-Cu-Si (АЛ3, АЛ10, АЛ14, АЛ15; простая технология литья, хорошая обрабатываемость резанием) и др.

Спеченный алюминиевый порошок (САП) по сравнению с обычными алюминиевыми сплавами обладает высокой прочностью при температурах в интервале 300...500°C и в отличие от них он не изменяет свои свойства после длительного (до 10000 ч) нагрева при температурах до 500 °С.

По коррозионной стойкости САП равноценен чистому алюминию. При введении в САП небольшого количества железа и никеля (в сумме 1,2...1,5%) он способен длительно работать в паровоздушной среде при температурах до 350°C. Листовой САП можно сваривать контактной (точечной и роликовой) сваркой; для этой цели применяют плакирование листов САП сплавом АМц и АЛ.

САП может свариваться аргонодуговой сваркой, плавлением, если брикеты, из которых изготовлены полуфабрикаты, подвергались высокотемпературной дегазации. Механическая обработка резанием САП не вызывает трудностей; при этом может быть обеспечен 10-й класс точности.

Спеченные материалы (САС) содержат в своем составе минимальное количество окиси алюминия, а в качестве легирующих элементов в них используются железо, хром, никель и другие элементы, образующие с алюминием малорастворимые интерметаллические соединения. Прочность таких материалов достигает значения 400 МПа, а предел текучести – 330 МПа. Прочность САС на 50% выше прочности нелегированных САП.

Из материалов САП-1 и САП-2 освоено производство тех же полуфабрикатов, что и из обычных алюминиевых сплавов (листы, профили, штамповки, фольга, трубы). Максимальный вес прессованного полуфабриката составляет 300...400 кг. Листы изготавливают толщиной 0,8...10 мм, размером 1000x7000 мм.

Детали и конструкции, работающие в интервале температур 300...500°C, могут быть изготовлены из материала САП вместо нержавеющей стали. Так, например, корпус колеса вентилятора может быть выполнен из листового материала, а ступица изготовлена штамповкой. Соединение деталей осуществляется клепкой. В результате применения САП вес вентилятора уменьшается на 25...30%. Большие преимущества получаются при применении листового и прессованного материала САП в летательных аппаратах, где уменьшение веса имеет решающее значение. Из прутков САП изготавливают штамповки весом от 1 до 150 кг, которые используются для работы при температурах до 500°C и для кратковременной работы (в течение 90...120 с) при температурах газового потока 900...1000°C.

Высокая жаропрочность и коррозионная стойкость САП позволяют применять его для изготовления ответственных деталей: вентилях для сжатого воздуха (500°), вентилях управляющей системы реактивных двигателей, дроссельных и редукционных клапанов гидравлических и топливных систем самолетов. САП находит также применение в электротехнической, химической и машиностроительной промышленности.

Фольга и тонкая проволока из САП могут найти успешное применение для изготовления конденсаторов и обмотки электродвигателей, работающих в условиях повышенных температур (350...400°С).

Гладкие и ребристые трубы из САП могут быть использованы как теплообменники до 500...550°С и благодаря высокой коррозионной стойкости в агрессивных средах находят применение в нефтяной и химической промышленности.

Из САП-1 и САП-2 изготавливают компрессорные диски, лопасти вентиляторов и турбин, заклепки, из САП-3 и САП-4 – болты, винты и другие детали.

При низком удельном весе ($\gamma = 2,75 \text{ т/м}^3$) и сравнительно небольшой стоимости САП является перспективным материалом для изготовления поршней форсированных двигателей. В больших дизельных поршнях САП вводят только в температурно-нагруженные места. В авиационной и автомобильной промышленности из САП-1 и САП-2 изготавливают поршневые штоки, небольшие шестерни, лопадки компрессора и ряд других деталей, работающих при 300...500°С.

Высокая коррозионная стойкость САП позволяет использовать его в судостроительной промышленности. Трубы из САП используются и в атомных реакторах.

Медь и ее сплавы

Медь обладает наивысшей после серебра электропроводностью и теплопроводностью, обладает высокой коррозионной стойкостью, хорошо полируется и легко покрывается разнообразными покрытиями, однако плохо обрабатывается резанием, имеет невысокие литейные свойства, что затрудняет изготовление из нее сложных фасонных отливок.

Применяют медь в виде листов, лент, прутков, труб, проволоки, в виде порошка для нужд керамики и др.

Физические свойства меди очень сильно зависят от примесей. Медные сплавы обладают высокой тепло- и электропроводностью, высокой коррозионной стойкостью во влажной атмосфере, хорошим сопротивлением износу без смазки и даже при абразивном износе, низким коэффициентом трения, хорошей притираемостью в паре с другими более твердыми металлами.

Медные сплавы имеют $\sigma_{0.2}$ от 150 до 900 МПа, удлинение до 53% и сужение до 40%. Особенно характерна для них высокая пластичность.

Большинство медных сплавов хорошо обрабатывается давлением, легко поддается обработке резанием, полированию и разнообразным покрытиям.

Медные сплавы являются надежными материалами для работы при отрицательных температурах. Прочность и удлинение у некоторых из них даже повышаются при понижении температуры до -250°C , тогда как сплавы, например на основе железа, становятся хрупкими при этих температурах.

Недостатками медных сплавов являются их сравнительно высокий удельный вес и низкие свойства при повышенных температурах. Однако в последнее время разработана серия медных сплавов (медно-циркониевые, медно-хромистые и другие) отличающихся более высокими свойствами при повышенных температурах. Очень хорошо проявляют себя в работе при повышенных температурах вставки и целые прессформы из этих сплавов для литья под давлением высокотемпературных сплавов. Стойкость таких прессформ выше, чем прессформ из сталей с хромом, вольфрамом и другими легирующими элементами, так как высокопластичные медные сплавы не чувствительны к термическим напряжениям, поэтому на поверхности медных прессформ не появляется сетка разгара, выводящая их из строя. По коррозионной стойкости во влажной атмосфере и в воде медь и сплавы на ее основе уступают только благородным металлам.

Высокие пластические свойства меди и ее сплавов позволяют получать из них полуфабрикаты и изделия весьма сложного профиля, разнообразной толщины, размеров и т.д. Медные сплавы немагнитны.

Стандартные медные сплавы имеют обозначения, указывающие на принадлежность их к определенной группе сплавов в зависимости от химического состава.

В марке сплава указываются начальные буквы сплавов (Л – латунь, Б – бронза), начальные буквы основных легирующих элементов (например, О – олово, Ц – цинк, Мц – марганец и т.д.), а затем цифры, обозначающие содержание этих элементов в сплавах.

Например, сплав ЛАЖМц-66-6-3-2 – это латунь (Л) алюминиево-железисто-марганцовистая, которая состоит из 66% Cu, 6% Al, 3% Fe, 2% Mn, остальное Zn. Буква Л в конце, встречающаяся у некоторых марок латуней, обозначает, что сплав литейный (обычно от деформируемого отличается повышенным количеством примесей). Бр АЖ9-4 – бронза алюминиевая с железом, содержащая 9% Al, 4% Fe и остальное Cu. Бр ОЦС6-6-3 оловяно-цинково-свинцовистая бронза, содержащая 6% Sn, 6% Zn, 3% Pb, остальное Cu.

Латуни (сплавы меди с цинком). Техническое применение имеют сплавы, содержащие до 50% Zn. Этим сплавам присущи все положительные свойства меди и других медных сплавов, т.е. сравнительно высокие электропроводность и теплопроводность (20...50%) при более высокой прочности и лучшие технологические свойства по сравнению с чистой

медью. Латунь применяют в виде катаных полуфабрикатов и отливок. Поэтому различают деформируемые и литейные латуни. По химическому составу латуни разделяются на двойные (простые), т.е. состоящие из меди и цинка, и многокомпонентные (сложные), в состав которых, кроме цинка, входят другие элементы, улучшающие некоторые свойства сплавов.

Латуни, содержащие примерно до 30% Zn (по структуре это однофазные сплавы), более пластичны; дальнейшее увеличение содержания цинка повышает прочность латуни (двухфазные сплавы), но ее пластичность резко уменьшается. Другие легирующие элементы (алюминий, марганец, кремний и др.) еще более повышают прочность и твердость латуни, уменьшая пластичность. Изменение свойств латуни при разном содержании цинка и других легирующих элементов объясняется изменением ее структуры. Латуни, состоящие из α -твердого раствора, обладают высокой пластичностью; ($\alpha+\beta$)-латуни имеют высокую прочность и твердость, но пониженную пластичность.

Высокомедистые латуни применяют в тех случаях, где требуется высокая пластичность металла, например, при изготовлении полуфабрикатов холодным прессованием. Чем больше меди в латунях, тем выше их электро- и теплопроводность и коррозионные свойства. В то же время латуни с повышенным содержанием цинка дешевле, легче обрабатываются резанием, обладают способностью лучше прирабатываться и противостоять износу без смазки. Для повышения антифрикционных свойств в латуни вводят свинец. Свинцовистые латуни по обрабатываемости резанием стоят на первом месте среди других медных сплавов. Большинство специальных латуней (марганцовистая и др.) склонно к коррозионному растрескиванию под напряжением, поэтому не рекомендуется их применение в конструкциях при длительном действии растягивающих нагрузок в среде аммиака, морской воде и в среде, содержащей углекислоту или серный ангидрид.

Коррозионная стойкость латуней повышается применением покрытий (хромирование, никелирование и др.) Не рекомендуется применение латуни в контакте с железом, алюминием и цинком.

Оловянные бронзы – это такие медные сплавы, у которых основным легирующим элементом является олово. В состав оловянных бронз входят также цинк, свинец, фосфор, никель.

Оловянные бронзы применяют в тех материалах, где требуется высокая коррозионная стойкость в сочетании с достаточной прочностью (различная водяная и морская арматура). Эти бронзы отличаются также высокими антифрикционными свойствами, т.е. небольшим износом, малыми значениями коэффициентов трения и хорошей притираемостью в паре, например со сталью. В этом отношении они не имеют себе равных среди медных сплавов. Благодаря хорошей теплопроводности и сравнительно высоким механическим свойствам изделия из оловянных бронз могут

хорошо служить в качестве подшипниковых деталей при высоких скоростях вращения и довольно значительных удельных нагрузках без заеданий.

В отечественных оловянных бронзах содержится 2...4% Sn, 2...15% Zn, 1...30% Pb, до 3% Ni. Повышение содержания олова до 12% увеличивает предел прочности и текучести и твердость, но при этом уменьшается удлинение и ударная вязкость.

Цинк повышает механические свойства и жидкотекучесть малооловянных бронз, облегчает сварку и пайку. Свинец улучшает антифрикционные свойства и обрабатываемость резанием, но понижает механические свойства. Добавка никеля измельчает зерно, повышает механические свойства и улучшает структуру оловянно-свинцовых бронз. Фосфор повышает антифрикционные свойства, износостойчивость и жидкотекучесть бронз, но при содержании более 0,02% понижает механические свойства. Оловянные бронзы делятся на литейные и деформируемые. Они сравнительно дефицитны, и поэтому их рекомендуется применять только в тех случаях, когда заменители (безоловянные бронзы и латуни, биметаллы, цинковые, легкие сплавы, пластмассы, прессованное дерево и др.) не могут обеспечить равноценную службу.

Литейные оловянные бронзы чаще всего получают путем переплавки отходов и лома и применяют главным образом для получения пароводяной (герметичной) арматуры, работающей под давлением, и для отливки антифрикционных деталей (втулки, подшипники, вкладыши, червячные пары и др.).

Все бронзы хорошо паяются мягкими припоями, однако их свариваемость затруднена (особенно многокомпонентных оловянных бронз).

Деформируемые оловянные бронзы содержат 4...8% олова и добавки фосфора, цинка и свинца. Они выпускаются в виде прутков, труб, лент и проволоки в твердом, полутвердом и мягком (отожженном) состоянии.

Высокие механические, физические и антифрикционные свойства в сочетании с удовлетворительной электропроводностью, а также высокая коррозионная стойкость делают деформируемые оловянные бронзы незаменимым материалом для изготовления пружин и пружинистых деталей в машино- и приборостроении, в авиационной и химической промышленности. Наиболее высокие упругие свойства у фосфористых бронз. Электропроводность оловянных бронз меньше, чем у чистой меди на 50...60%, но выше, чем у всех других медных сплавов одинаковой прочности. Наиболее существенным показателем деформируемых оловянных бронз является высокая усталостная прочность в коррозионных средах.

Безоловянные (специальные) бронзы – это медные сплавы, содержащие в качестве легирующих элементов Al, Ni, Si, Mn, Fe, Cd, Be, Cr

и др. Название бронзы определяется легирующими элементами. Они имеют высокие механические, антикоррозионные и антифрикционные свойства, а также ряд специальных свойств (высокую электропроводность, теплопроводность, жаропрочность). Наибольшее распространение в различных отраслях машиностроения получили алюминиевые бронзы. В зависимости от структуры и процентного содержания алюминия (до 14%) бронзы могут быть одно-, двух- и многофазными. Однофазные сплавы имеют высокие пластичные свойства и хорошо обрабатываются давлением в холодном и горячем состоянии. Двухфазные сплавы отличаются повышенной прочностью, но имеют пониженную пластичность, поэтому могут быть обработаны давлением только в горячем состоянии. Алюминиевые бронзы трудно паяются.

Кремнистые бронзы содержат кремний (1...3%), а также никель, цинк, свинец и марганец. Они отличаются высокими механическими свойствами, высокой упругостью и выносливостью, коррозионной стойкостью, антифрикционными свойствами, немагнитны, удовлетворительно свариваются, паяются и обрабатываются резанием, хорошо обрабатываются давлением.

Бериллиевые бронзы (1,7...2,5% Be) являются наиболее дорогими и дефицитными из всех медных сплавов, обладают высокой химической стойкостью, износоустойчивостью и упругостью в сочетании с прочностью и твердостью, равной свойствам легированных сталей.

В качестве жаропрочных бронз применяют **марганцевые** (Бр.Мц5) и **хромистые** (Бр.Х0,5) бронзы. Кадмиевые бронзы используют для изготовления токоснимающих щеток, проводов и других деталей, требующих высокой электропроводности и жаропрочности материала. Свинцовистые бронзы (например, Бр.С-30) применяют для заливки подшипников (вкладыши, втулки), способных работать при высоких удельных давлениях до 15 МПа, высоких температурах до 350°C и скоростях до 4...5 м/с.

Олово, свинец и их сплавы

Олово – пластичный металл белого цвета с низкой температурой плавления. Высокая коррозионная стойкость на воздухе и в некоторых агрессивных средах, нетоксичность, хорошая адгезия со многими металлами обуславливают широкое применение олова для защитных покрытий. Олово стойко в нейтральных растворах солей, разбавленных растворах слабых щелочей, уксусной кислоте, молоке и фруктовых соках, в пресной и морской воде. Наибольшее количество олова используется для защитных покрытий железа, меди и их сплавов (особенно в пищевой промышленности). Оловянные покрытия хорошо защищают медные провода от воздействия серы, содержащейся в резине. Олово также широко применяют для производства припоев, баббитов, бронз и легкоплавких

сплавов. Пластичное белое олово устойчиво при температурах от точки затвердевания до 13,2°C, а хрупкое серое олово (.) образуется ниже этой температуры. При отрицательных температурах происходит превращение белого олова в серое с достаточно низкой скоростью. Самопроизвольное разрушение оловянных изделий на холоде называют «оловянной чумой», так как переход в .-модификацию сопровождается большими объемными изменениями, в результате которых олово рассыпается в порошок. Контакт белого олова с серым ускоряет процесс перехода олова из пластичной в хрупкую модификацию. Введение в олово небольших добавок сурьмы, свинца, мышьяка, меди, золота, никеля, и особенно висмута, резко снижает температуру и скорость превращения .-в .-олово (0,05% висмута и 0,1% сурьмы практически полностью предотвращают этот переход). Наоборот, введение в олово германия, цинка, алюминия, теллура, марганца, кобальта и магния увеличивает скорость превращения. Серое олово можно перевести в белое переплавкой.

Свинец – пластичный металл белого цвета с низкой температурой плавления. Свинец хорошо сплавляется с другими металлами, легко наносится в расплавленном состоянии или электролитически на различные металлы, хорошо поглощает вибрацию и звук, обладает хорошими смазывающими и антифрикционными свойствами, низкой проницаемостью для радиоактивных излучений. Образующаяся на поверхности свинца тонкая плотная окисная (а также сульфатная, карбонатная, хроматная) пленка хорошо защищает его от коррозии. Свинец стоек во внешних условиях (в том числе и в земле), в серной и других кислотах, в контакте со многими металлами. Стойкость в агрессивных средах повышается добавкой в свинец сурьмы, олова, серебра, кальция, мышьяка, теллура и меди. Благодаря высокой коррозионной стойкости и хорошей обрабатываемости давлением свинец широко используется в химической аппаратуре для облицовок различных резервуаров, ванн и др. Свинец является одним из лучших материалов для уплотнителей, сальников и прокладок, работающих в широком интервале температур. Из свинца изготавливают коррозионностойкие оболочки для кабелей, а благодаря низкой температуре плавления свинец применяют для производства плавких предохранителей, бойлерных пробок и др. Способность к поглощению звука и вибраций делает свинец ценным материалом для различного рода демпфирующих устройств (например, опорных плит на мостах). Свинец широко применяется в качестве легирующего элемента для стали, меди и других металлов с целью придания им антифрикционных свойств. Свинцово-серебряные сплавы являются хорошим протектором для стальных изделий, работающих в солесодержащих водах. Свинец токсичен, и его содержание в воздухе не должно превышать 0,01 мг/м³. Полуфабрикаты свинца выпускаются в виде листов (толщиной 0,2...15 мм, шириной 500 и 600 мм и длиной 750...1200 мм), труб (с толщиной стенок 2...10 мм и наружным

диаметром 15...170 мм) и фольги. Для заливки вкладышей подшипников различных машин используют баббиты – мягкие антифрикционные сплавы на оловянной и свинцовой основах (например, Б83 – 83% олова, остальное свинец). Для повышения твердости и ударной вязкости в состав баббитов вводят различные легирующие элементы: сурьму, медь, мышьяк, кадмий, никель, теллур, магний.

Прочие металлы (магний, титан, цинк, кадмий)

Магний и сплавы на его основе имеют малую плотность (1,76...1,99 т/м³) при сравнительно высоких механических свойствах, что позволяет использовать их в качестве конструкционных материалов легковесных машин и оборудования (деталей двигателей мотоциклов и автомобилей, отбойных молотков и т.п.), а способность хорошо противостоять ударам позволяет применять их для колес автомобилей, самолетов, орудий и др.

Магниевые сплавы исключительно хорошо обрабатываются резанием (детали оптических приборов с исключительно тонкими стенками, мелкой резьбой и др.), они очень чувствительны к знакопеременным нагрузкам, поэтому при конструировании деталей следует избегать резких переходов сечения, острых надрезов, образования пазов и карманов. Для защиты от коррозии детали из магниевых сплавов оксидируют, окрашивают или смазывают маслом или наносят неорганические пленки. Во избежание контактной коррозии не рекомендуется непосредственный контакт деталей из магниевых сплавов с деталями из сплавов алюминия, меди, никеля, стали, благородных металлов, а также с деревом и текстолитом (для стыковки используются изоляционные прокладки – фибра, пропарафиненная бумага и др.).

Температура литья магния 650...710°C, он очень ковкий и пластичен, при температуре 230...480°C хорошо обрабатывается давлением, температура прессования – 400...440°C, прокатки – 480...470°C, отжиг осуществляется при 340°C в течение 30 мин, охлаждение на воздухе.

При производстве магниевых сплавов в качестве легирующих элементов выступают: марганец (марка МА1, МА8), алюминий и цинк (МА2, МА3, МА5), а также кальций, цирконий, кадмий, неодим, серебро.

Чистая поверхность, легко получаемая при обработке резанием, делает деформируемые магниевые сплавы пригодными для изготовления гравировальных плит, механическая обработка которых стоит дешевле таких же плит, изготовленных из других материалов.

Хорошая травимость магниевых сплавов делает их пригодными для изготовления клише, дающих более четкие отпечатки по сравнению с другими применяемыми для этой цели металлами.

Магниевые сплавы обладают наибольшей износостойкостью по сравнению с другими металлами, применяемыми и для изготовления печатных форм в полиграфии. Благодаря мелкозернистой структуре листов

из деформируемых магниевых сплавов значительно повышается качество печатных форм.

Большим преимуществом деформируемых магниевых сплавов является их незначительная деформация при многократных нагревах и охлаждениях. Линейные размеры цинка изменяются уже при 150°C и весьма значительно при 250°C, в то время как линейные размеры деформируемых магниевых сплавов при указанных температурах почти не изменяются.

Скорость травления пластин из деформируемых магниевых сплавов в азотной кислоте вдвое больше скорости травления цинка. Применение деформируемых магниевых сплавов в полиграфической промышленности приводит также к экономии большого количества дефицитного свинца.

Титан имеет следующие основные преимущества по сравнению с другими конструкционными металлами: малый удельный вес (плотность 4,42...4,52 г/см³), высокие механические свойства в широком интервале температур, отсутствие хладноломкости и хорошую коррозионную стойкость. Титан в виде тонкой стружки (например, при обработке тупым режущим инструментом) может гореть на воздухе или в атмосфере азота. Высокая химическая активность титана при плавке требует применения специального оборудования, в том числе и вакуумирования.

Для придания титану требуемых свойств сплавы его легируют небольшим количеством металлов платиновой группы (для повышения коррозионной стойкости), а также алюминием, молибденом, ванадием, марганцем, хромом, оловом, железом, цирконием, ниобием.

Титановые сплавы выпускают в виде листов, прутков, труб, проволоки, чушек. Титановые сплавы низкой и средней прочности (BT1-00, BT1, OT4-0, OT4-1, OT4) обладают хорошей штампуемостью в холодном состоянии. Титановые сплавы повышенной прочности (BT4, BT5-1, BT14, BT15 до 1,3 ГПа) обладают высокой упругой отдачей штампуемого материала и высоким остаточным напряжением в готовых изделиях, поэтому при штамповке осуществляют нагрев деформируемого материала, а также межоперационный отжиг при температуре 600...750°C.

Цинк – пластичный металл голубовато-белого цвета с низкой температурой плавления (420°C), обладающий хорошими литейными свойствами и сравнительно высокой стойкостью на воздухе и в пресной воде. Цинк легко прессуется, штампуется, прокатывается и протягивается. Около половины выпускаемого цинка используется для защитных покрытий сталей, а также в качестве протекторов для катодной защиты стальных сооружений. Цинк имеет высокую коррозионную стойкость не только на воздухе, но и в воде, в том числе и в морской. Для литья под давлением применяют тройные сплавы цинк-алюминий-магний и четверные сплавы цинк-алюминий-медь-магний. Добавки алюминия, меди и магния повышают прочность и улучшают жидкотекучесть цинка. При литье цинковых сплавов под давлением получают отливки сложной формы,

тонких сечений, с точными размерами, не требующими дальнейшей механической обработки. Цинковые сплавы хорошо обрабатываются резанием.

Кадмий – мягкий пластичный металл серебристо-белого цвета с низкой температурой плавления и коррозионной стойкостью, близкой к цинку. Покрытия из кадмия обладают высокой коррозионной стойкостью на воздухе и в некоторых газовых и жидких средах. По сравнению с цинковыми кадмиевые электролитические покрытия более плотные, и для защиты стали и других металлов от коррозии требуется в 2 – 3 раза тоньше слой кадмия, чем цинка. Кадмий широко применяется для антикоррозионных покрытий деталей точных приборов (болтов, пружин и др.), работающих в агрессивных средах. Пары кадмия ядовиты, максимально допустимая концентрация кадмия в атмосфере составляет 1 мг/м³. Кадмий применяется в качестве легирующего элемента в сплавах других металлов.

Цинк и кадмий широко используются в производстве гальванических элементов и аккумуляторов.

3. Производство полимерных материалов

Неметаллические материалы

Термопластичные полимеры

По отношению к нагреву полимеры подразделяются на термопластичные и термореактивные. Термопластичные полимеры при нагревании переходят из твердого агрегатного состояния в вязкотекучее, а при охлаждении вновь затвердевают. Это свойство термопластичные полимеры сохраняют при многократных нагревах.

К термопластичным полимерам относятся полиолефины, полиамиды, поливинилхлорид, фторопласты, полиуретаны.

Термопласты имеют невысокую температуру перехода в вязкотекучее состояние, хорошо перерабатываются литьем под давлением, экструзией и прессованием. Применяются термопласты в качестве диэлектриков (изоляторов), химически стойких конструкционных материалов, прозрачных оптических стекол, пленок, волокон, а также в качестве связующих для получения композиционных материалов, лаков, клеев и др.

Полиэтилен, молекула которого состоит из многократно повторяющегося звена $[- \text{CH}_2 - \text{CH}_2 -]_n$, представляет собой продукт полимеризации этилена. Это относительно твердый и упругий материал, без запаха, белый в толстом слое и прозрачный в тонком. Для получения окрашенных полимеров применяют органические красители (минеральные пигменты и спиртовые растворы органических красок). Полиэтилен различается по плотности, которая зависит от технологии получения.

Различают полиэтилен низкого (ПЭНД), высокого (ПЭВД) и среднего (ПЭСД) давления. Чем выше давление, при котором получают полиэтилен, тем выше его плотность, степень кристалличности, прочность, твердость и теплостойкость материала.

Полиэтилен легко перерабатывается различными методами, сваривается при изготовлении изделий сложной конфигурации, устойчив к ударным и вибрационным нагрузкам, агрессивным средам и воздействию радиации, обладает высокой морозостойкостью (до -70°C). Однако в присутствии сильных окислителей (растворы азотной кислоты и перекиси) материалы на основе полиэтилена разрушаются. Полиэтилен также склонен к старению при воздействии на него света. Для подавления необратимых процессов старения полиэтилена в него (как и в другие термопласты) вводят специальные добавки – стабилизаторы: антиоксиданты, антиозонаты, светостабилизаторы, антипирены (для снижения горючести), антистатика, а также антимикробные компоненты (ртуть, мышьяк, соединения олова и др.) и пластификаторы. Так, введение в полиэтилен в процессе его синтеза и переработки 2...3% сажи и 0,1% аминов позволяет замедлить процесс его старения в 30 раз.

Полиэтилен применяют для изготовления труб, литых и прессованных несилевых деталей, пленок, изоляции высокочастотных проводов и кабелей, радиотехнических деталей, а также в качестве защитных покрытий металлов от коррозии. Полипропилен $[-\text{CH}_2 - \text{CH}(\text{CH}_3) -]_n$ – жесткий нетоксичный полимер, допускающий более высокую температуру эксплуатации, чем полиэтилен. Полипропилен негигроскопичен, химически стоек к действию кислот щелочей, при 80°C растворим в ксилоле и толуоле, хорошо формуется в изделия и сваривается контактной сваркой. Полипропилен имеет невысокую морозостойкость до $-10... -20^{\circ}\text{C}$ и склонен к старению при воздействии света. Выпускается в виде гранул и порошков. Полипропилен применяется для антикоррозионной футеровки резервуаров, арматуры, изготовления деталей электроаппаратуры, волокон и пленок.

Поливинилхлорид $[-\text{CH}_2 - \text{CHCl} -]_n$ – аморфный полимер белого или светло-желтого цвета, обладает высокими диэлектрическими свойствами, атмосферной и химической стойкостью, стоек к маслам и бензину, негорюч. Непластифицированный поливинилхлорид называется винипластом. Винипласт имеет высокую механическую прочность и обладает хорошими электроизоляционными свойствами, легко формуется, хорошо поддается механической обработке, склеивается и сваривается, хрупок при отрицательных температурах (рабочий диапазон температур от 0 до 70°C).

Винипласт хорошо приклеивается к металлу, древесине, бетону. Листовой винипласт применяется в качестве футеровочного материала, в том числе и для облицовки гальванических ванн. Из винипласта изготавливают различную фурнитуру – краны, клапаны, задвижки, детали насосов, вентиляторов и др.

Назначение материала указывается в его марке: Т – термостабилизированный, М,Ж – для изготовления соответственно мягких и жестких материалов, П – пастообразующий.

При введении в поливинилхлорид пластификаторов (дибутилфталата, трикрезилфосфата) в количестве 1:3 получается пластикат, который обладает высокой морозостойкостью до – 70%. Пластикат применяется для изготовления изоляции проводов, изоленты, а также для изготовления труб и различных покрытий.

Политетрафторэтилен $[-CF_2-CF_2-]_n$ (фторопласт-4, фторлон-4) является фторопроизводным продуктом этилена и представляет собой мелкий порошок белого цвета. В вязкотекучее состояние переходит при температуре 423°C, а при 420°C сильно окисляется, поэтому литьем под давлением и экструзией его не перерабатывают. Кроме того, при этих температурах выделяется токсичный фтор. Фторопласт-4 прессуют при температуре 360-380°C. Материал обладает высокой термостойкостью, стоек к действию кислот, щелочей, окислителей, растворителей, негигроскопичен. Разрушается при действии расплавленных щелочных металлов, элементарного фтора, набухает во фреонах. Фторопласт-4 имеет очень низкий коэффициент трения, сохраняет упругие свойства до -269°C.

Фторопласт-4 применяется для изготовления уплотнительных элементов, мембран, фурнитуры, деталей антифрикционного назначения, а также, благодаря высоким диэлектрическим свойствам, для изготовления высокочастотной аппаратуры, коаксиальных кабелей, конденсаторов и др. Из фторопласта-4 изготавливают очень тонкие изоляционные пленки толщиной до 0,005 мм. Для лаковых покрытий применяют фторопласт – 42Л.

Политрифторхлорэтилен $[-CF_2-CFCl-]_n$ (фторопласт-3, фторлон-3) – полимер стойкий к действию кислот, щелочей, окислителей, растворителей, диапазон рабочих температур от -195°C до +125°C. При высокой температуре растворяется в бензине, толуоле, ксилоле. Перерабатывается литьем под давлением, экструзией и прессованием. Применяют для изготовления труб, шлангов, фурнитуры, защитных покрытий, низкочастотных диэлектриков, пленок, а также для термо- и влагостойких покрытий.

Полистирол $[-CH_2-CHC_6H_5-]_n$ – твердый, жесткий, прозрачный полимер, обладает хорошими диэлектрическими свойствами, химически стоек к кислотам и щелочам, масло-и бензостоек, хорошо склеивается и окрашивается. Имеет низкую теплостойкость и ударную вязкость. Применяется для изготовления химически стойких сосудов, деталей электротехнического назначения. Полистирол, полученный эмульсионным методом (ПСЭ - 1), используется для производства пенопластов.

Полиизобутилен $[-C(CH_3)_2-CH_2-]_n$ – полимер близкий по эластичности к каучуку, имеет хорошие диэлектрические свойства, стоек к

старению, действию кислот, щелочей, окислителей, морозостоек (до -74°C). Применяется в смеси с каучуком для изоляции ультравысокочастотных кабелей и проводов. В смеси с графитом, тальком, асбестом используют как уплотнительный и прокладочный антикоррозионный материал.

Полиметилметакрилат (органическое стекло) – прозрачный полимер, стойкий к действию разбавленных кислот и щелочей, бензо- и маслостоек, обладает оптической прозрачностью до 92%, морозостоек (до -60°C), растворяется в эфирах и кетонах, в органических растворителях, ароматических и хлорированных углеводородах. При температуре $-105...+150^{\circ}\text{C}$ пластичен. Перерабатывается литьем под давлением, экструзией, прессованием. Имеет невысокую твердость. Применяется для изготовления светотехнических изделий, оптических линз, радиодеталей.

Полиамиды [$-\text{NH} - (\text{CH}_2)_m - \text{CO} -]_n$ (капрон, нейлон, анид и др.) – полимер, обладающий хорошими механическими свойствами, высокой износостойкостью. Полиамиды не набухают в масле и бензине, не растворяются во многих растворителях, стойки к ударным нагрузкам и вибрациям, устойчивы в тропических условиях. Однако имеют некоторую гигроскопичность, не стойки к растворам минеральных кислот и окислителей, при повышенных температурах растворяются в муравьиной и уксусной кислотах, в фенолах. Полиамиды выпускаются в виде гранул белого и светло-желтого цвета размером 2... 5 мм марок ПА6, ПА12, ПА66, ПА610. Перерабатываются литьем под давлением и экструзией. Используются с наполнителями, в качестве которых применяется стекловолокно до 30% или графит до 10%. Применяются для изготовления зубчатых колес, звездочек цепных передач, колес центробежных насосов, подшипников скольжения, а также нанесения защитных покрытий.

Полиуретаны [$-\text{NH} - \text{CO} - \text{O} -]_n$ – полимеры, обладающие высокой эластичностью, морозостойкостью (до -70°C), износостойкостью, устойчивы к действию разбавленных органических и минеральных кислот и масел. Перерабатываются литьем под давлением, экструзией и прессованием. Применяются для изготовления труб, шлангов, уплотнителей, приготовления клеев для склеивания металлов, стекла, керамики.

Поликарбонаты [$-\text{O}(\text{ROCOOR}) -]_n$ (дифлон) – полимеры, обладающие высокими механическими свойствами, атмосферо- и термостойки, диапазон рабочих температур от -135 до $+140^{\circ}\text{C}$, стойки к воздействию разбавленных кислот, щелочей, растворов солей, масло- и бензостойки. Перерабатываются литьем под давлением и экструзией. Применяются для изготовления шестерен, подшипников, деталей машин и аппаратов, деталей криогенной техники.

Полиарелаты [$-\text{O}(\text{CRCORO}) -]_n$ – полимеры, имеющие высокие механические свойства, термостойки, диапазон температур от -100 до $+170^{\circ}\text{C}$, устойчивы к действию многих химических реагентов и

ультрафиолетового излучения, хорошо растворяются в хлороформе, трикрезоле, метиленхлориде, наполненные твердыми смазками (графитом, дисульфидом молибдена и др.) обладают хорошими антифрикционными свойствами. Выпускаются в виде гранул, перерабатываются литьем под давлением.

Применяются полиарилаты для изготовления деталей электротехнического назначения; для нагруженных деталей, работающих в вакууме без смазки; для уплотнительных узлов буровой техники и др.

Полиэтилентерефталат [- $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OCOC}_6\text{H}_4\text{OCO}$ -]_n (лавсан) – полимер, обладающий высокими прочностными свойствами, устойчивый к действию ультрафиолетовых и рентгеновских излучений, негорюч, диапазон рабочих температур от -70°C до $+255^\circ\text{C}$, легко металлизуется алюминием, цинком, оловом и другими металлами, в 10 раз прочнее полиэтилена, гигроскопичен, хорошо сваривается ультразвуком и склеивается полиэфирным лаком. Полиэтилентерефталат применяется для теплостойкой изоляции обмоток трансформаторов, электродвигателей, кабелей, деталей радиоаппаратуры, конденсаторов, а также в качестве основы магнитофонных лент и киноплёнок.

Пентапласт [- $\text{OCH}_2\text{C}(\text{CH}_2\text{Cl})_2\text{CH}_2$ -]_n – полимер, близкий по прочностным свойствам к поливинилхлориду, обладает высокой водо- и химической стойкостью, удовлетворительными электроизоляционными свойствами, перерабатывается литьем под давлением и экструзией, пневмоформованием, хорошо склеивается и сваривается, применяется для изготовления емкостей, труб деталей насосов и защитных покрытий.

Полиамиды, полиимиды – полимеры, обладающие высокими механическими свойствами, химической стойкостью, износостойкостью и усталостной прочностью, хорошие диэлектрики, диапазон рабочих температур от -200 до $+300^\circ\text{C}$. Применяются эти полимеры для изготовления деталей машин, зубчатых колес, подшипников, электротехнических деталей, а также как связующие для получения композиционных материалов.

Полибензимидазолы – полимеры, обладающие высокими механическими и диэлектрическими свойствами, термостойкостью и огнестойкостью, термостойкость может составлять от 300 до 600°C . Полибензимидазолы применяются для получения плёнок, волокон, тканей, используемых для изготовления летних и специальных костюмов, привязных авиаремней, при использовании в качестве связующего стеклопластиков, для изготовления теплозащитных материалов и деталей авиа- и ракетной техники.

Терморреактивные полимеры

Фенолоформальдегидные смолы представляют собой продукты

поликонденсации фенолов с формальдегидом. Выпускаются смолы резольного и новолачного типа. Резольные смолы отверждаются путем нагревания, новолачные – при нагреве с отвердителем (уротропином, 6...14% массы смолы). Фенолоформальдегидные смолы обладают высокими атмосферо- и термостойкостью, хорошими электроизоляционными свойствами, стойки к действию большинства кислот, за исключением концентрированной серной кислоты и кислот-окислителей (азотной, хромовой). Неотвержденные смолы растворимы в фенолах и растворах едких щелочей, а также в органических растворителях.

Эпоксидные смолы – олигомеры или мономеры, содержащие в молекуле не менее двух эпоксидных $\backslash / \text{CH}_2 \cdot \text{CH}_2 \cdot \text{CH}_2\text{C} \begin{matrix} \diagup \\ \diagdown \end{matrix} \begin{matrix} \diagdown \\ \diagup \end{matrix}$ или глицидиловых $\begin{matrix} \diagup \\ \diagdown \end{matrix}$ групп, способные превращаться в полимеры пространственного строения. Отверждаются смолы посредством отвердителей, в качестве которых могут использоваться мономерные, олигомерные и полимерные соединения различных классов.

Для холодного отверждения эпоксидных смол применяют в качестве отвердителей алифатические полиамины (полиэтиленполиамин, гексаметилендиамин, 5...15% массы смолы). Длительность отверждения 24 ч (степень отверждения до 70%). Для повышения степени отверждения желательна термообработка при температуре 60...120°C в течение 12...2 ч. Применяются для отверждения также олигоаминоамиды, но в количестве 50...100% массы смолы.

Для горячего отверждения применяют ароматические ди- и полиамины (15...50% массы смолы). Отверждение проводят при температуре 100...180°C в течение 16...4 ч. Прочность, химическая стойкость и теплостойкость эпоксидных компаундов при горячем отверждении выше, чем при холодном. Используют в качестве отвердителей также ангидриды дикарбоновых кислот и синтетические смолы (фенолоформальдегидные, мочевино- и метиламино-формальдегидные и др.).

Эпоксидные смолы обладают высокой адгезией к металлам, стеклу, керамике и другим материалам. Отвержденные смолы имеют хорошие диэлектрические свойства, высокую химическую стойкость, исключая органические кислоты, кетоны и углеводороды, стойки к воздействию радиоактивного излучения.

Кремнийорганические полимеры отличаются высокой термостойкостью, стойкостью к воздействию агрессивных сред, хорошими диэлектрическими свойствами, однако обладают высокой адгезией. Для повышения адгезионных свойств их модифицируют эпоксидными, фенольными и полиэфирными смолами. Наиболее широкое применение для производства композиционных материалов, лаков, эмалей и клеев из кремнийорганических полимеров получили полиорганосилоксаны.

4. Производство стекла Неорганические стекла и эмали для защиты металлов

Неорганическое стекло представляет собой аморфный, изотропный, прозрачный, твердый и хрупкий термопластичный материал, получаемый в результате переохладения расплава различных стеклообразующих компонентов и оксидов металлов. По стеклообразующему веществу стекла классифицируются на: 1) силикатные (SiO_2); 2) алюмосиликатные ($\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$); 3) алюмоборосиликатные ($\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$); 4) алюмофосфатные ($\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{P}_2\text{O}_5$) и др.

Наличие в стекле модификаторов (оксидов щелочных и нещелочных металлов) позволяет придать ему определенные физико-механические свойства.

По назначению стекла подразделяются на **техническое** (оптическое, светотехническое, медицинское, химико-лабораторное, электротехническое, автотранспортное и др.), **строительное** (оконное, витринное, армированное, стеклоблоки), **бытовое** (стеклотара, зеркала и пр.).

Переработка стекломасс в изделия осуществляется при температуре $1000 \dots 1100^\circ\text{C}$, температура размягчения – $600 \dots 800^\circ\text{C}$, при температуре ниже $500 \dots 425^\circ\text{C}$ стекла переходят в стеклообразное состояние.

Плотность стекол зависит от их химического состава и лежит в пределах от 2200 до 6500 $\text{кг}/\text{м}^3$. При нормальных температурах стекла не имеют пластической деформации и обладают низким временным сопротивлением ($30 \dots 90$ МПа), при сжатии предел прочности составляет $500 \dots 2000$ МПа. Стекла обладают низкой ударной вязкостью $1,5 \dots 2,5$ $\text{кДж}/\text{м}^2$.

Для изменения свойств стекол применяют его термическую обработку. Так, отжиг обеспечивает снятие внутренних напряжений, а закалка позволяет повысить механическую прочность и термическую стойкость.

Термические свойства стекол характеризуются теплопроводностью, термостойкостью и тепловым расширением. Самую низкую теплопроводность имеют свинец- и барийсодержащие стекла, а более теплопроводны кварцевые и боросиликатные стекла, коэффициент теплопроводности лежит в пределах от 0,68 до 1,55 $\text{Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$. Для большинства видов стекол термостойкость лежит в пределах от 90 до 170°C , а для кварцевого от 800 до 1000°C . Коэффициент теплового расширения может изменяться в широких пределах (в 10 раз и более) и зависит от содержания оксидов (оксиды бария, свинца, натрия, лития, калия

увеличивают коэффициент теплового расширения; оксиды бора, кремния, титана, цинка – уменьшают.).

При нормальных температурах стекла имеют высокую химическую стойкость к действию воды и кислот (кроме плавиковой и фтористой), в то же время в растворах щелочей прочность стекла резко снижается. При температурах ниже 200°C стекла являются отличными диэлектриками и используются в качестве высоковольтных изоляторов ($\rho_v=1010\dots1020\text{Ом}\cdot\text{м}$; $E_{пр}=100\dots600\text{кВ}/\text{мм}$ – на постоянном токе и $E_{пр}=16\dots50\text{кВ}/\text{мм}$ – на переменном токе).

Важнейшими свойствами стекол являются оптические свойства: **светопрозрачность, отражение, рассеивание, поглощение и преломление света**. Обычное оконное стекло пропускает до 90%, отражает 8%, поглощает 1% видимого и частично инфракрасного света, почти полностью поглощает ультрафиолетовые лучи. Прозрачным для ультрафиолетовых лучей являются кварцевые стекла. Коэффициент преломления стекол составляет 1,47...1,96. При введении большого количества оксида свинца стекло поглощает рентгеновские лучи.

Для упрочнения стекол применяется их закалка, термохимическая и создание слоистых материалов – триплексов и термопанов.

Закалка заключается в нагреве стекол до температуры 500...700°C и резкого равномерного охлаждения в потоке воздуха или в масле. При этом сопротивление статическим нагрузкам увеличивается в 3-6 раз, ударная вязкость в 5-7 раз. При закалке также возрастает термостойкость стекол.

Термохимическое упрочнение основано на обработке поверхности плавиковой кислотой (для снижения дефектности поверхности) с последующей закалкой в кремнийорганических жидкостях, в результате чего меняется структура стекла, а на его поверхности образуется прочная полимерная пленка.

Триплексы представляют собой два листа закаленных стекол толщиной 2...3 мм, склеенных тонкой прозрачной эластичной полимерной пленкой. **Термопаны** также изготавливаются из двух листов закаленных стекол с воздушной прослойкой между ними. Стекла этого вида являются безосколочными.

Триплекс, термопан и закаленные стекла применяются для остекления транспорта. В литейных и мартеновских цехах используются стекла с большим содержанием оксидов железа и ванадия, они поглощают до 70% инфракрасного излучения.

Оптические стекла, используемые в приборах, подразделяются на **кроны** (с малым коэффициентом преломления), **флинты** (с большим содержанием свинца и большим коэффициентом преломления), **светорассеивающие стекла** (содержат фтор). В электротехнической промышленности широко используются электропроводящие халькогенидные, оксидно-ванадиевые стекла, а также литиевые, магниевые,

борные и фотоситаллы. Для футеровки емкостей, контактирующих с агрессивными средами, для защиты металлических поверхностей от коррозии и воздействия высоких температур применяются шлакоситаллы (на основе доменных шлаков, кварцевого песка и катализаторов).

Ситаллы представляют собой поликристаллические материалы с очень мелкими равномерно распределенными по объему кристалликами диаметром 0,01...1,0 мкм, соединенными тонкими прослойками остаточного стекла. Плотность ситаллов 2450...2950 кг/м³. Временное сопротивление 110...160 МПа, предел прочности при сжатии 700...2000 МПа, ударная вязкость $\psi = 45...105$ кДж/м². Ситаллы устойчивы к кислотам и щелочам, не поглощают воду, стойки к термоударам. Для изготовления стекловолокна и стеклотканей используются термоизоляционные материалы АСИМ, АТИМС, АТМ-3 и др. Температурный диапазон их эксплуатации составляет от – 60 до +500°С, плотность – 20...130 кг/м³.

Эмаль – это легкоплавкое стекло, обычно непрозрачное (заглушенное), часто окрашенное, которое в виде тонкого слоя наплавляют на металлические изделия.

Назначение эмали – защитить металл от окисления, а также от разрушения различными химически действующими жидкостями, в том числе крепкими минеральными кислотами и щелочными растворами. Эмалевые покрытия выдерживают нагрев до 200...300°С, устойчивы к свету и не изменяются во времени.

Помимо защиты от коррозии, эмалевое покрытие придает изделиям красивый внешний вид. В эмалированных изделиях удачно сочетаются механическая прочность металла с химической устойчивостью стекла и его декоративными качествами – блеском, заглуженностью и окраской.

Основными металлами для эмалирования являются черные металлы – в первую очередь сталь, а затем чугун. В значительно меньших масштабах эмалируют цветные металлы – алюминий и его сплавы, а также медь, латунь и другие металлы.

Различают эмали **грунтовые** и **покровные**. Первые служат для лучшего сцепления покровной эмали с поверхностью металла, вторые придают поверхности необходимую химическую устойчивость и декоративный вид. Толщина слоя эмали на тонкостенных (0,3...1,0 мм) изделиях составляет 0,2...0,6 мм, на толстостенные (10...20 мм) изделия эмаль наносят в несколько слоев, общая толщина слоя при этом достигает 1...2 мм. Эмали для черных металлов получают сплавлением шихты, состоящей из песка, полевого шпата, буры, соды и небольших количеств веществ, сообщающих грунтовой эмали способность прочно сцепляться с металлом (главным образом окислов кобальта и никеля).

5. Производство керамических материалов

Под **керамикой** понимаются поликристаллические материалы, получаемые спеканием неметаллических порошков природного или искусственного происхождения.

Керамические материалы выгодно отличаются от металлических и полимерных высокой коррозионной стойкостью и возможностью регулирования свойств материала в широких пределах за счет изменения структуры, низкой плотностью.

По составу керамику можно подразделить на **кислородную**, состоящую из оксидов металлов и неметаллических элементов (бериллия, магнезия, алюминия, кремния, титана, циркония), и **бескислородную** – нитридную, карбидную, боридную и др.

Основные характеристики конструкционных керамических материалов представлены в табл. 24.

Таблица 24

Свойства и области применения керамических материалов

Основа

керамики

Темпе-

ратура

плавле-

Плот-

ность,

103 кг/м³

Предел проч-

ности при

20°C, МПа

Особенности

применения

ния, °C При

изгибе

При

сжатии

Оксидная керамика

Al₂O₃

(корун-

довая)

2050 3,99 150 3000 Химически стойкая,

отличный диэлектрик,

высокая прочность

Применение – резцы

для чистовой обработки,

абразивные инструмен-

ты, фильтры для кабельной промышленности, детали машин, свечи зажигания ДВС

109

Окончание табл. 24

Основа

керамики

Темпе-

ратура

плавле-

Плот-

ность,

103 кг/м³

Предел проч-

ности при

20°C, МПа

Особенности

применения

ния, °C При

изгибе

При

сжатии

ZnO 2700 3,60 230 2100 Высокая термостой-

кость (до 2200°C). Низ-

кая стойкость к термо-

удару

Применение – огне-

упорные тигли, тепловая

изоляция печей и аппара-

ратов, термическая за-

щита металлических

поверхностей

Бескислородная керамика

SiC

(карбо-

рунд)

3,20 250 1500 Устойчива к кисло-

там, неустойчива к ще-

лочам

Применение – абра-

зивные инструменты

BN 3,45 Диэлектрик

Применение – инструментальное производство, абразивные инструменты

Эти материалы представляют собой многофазные системы, в которых присутствуют **кристаллическая, аморфная и газовая фазы**. **Кристаллическая фаза**, составляющая основу конструкционной керамики, представляет собой твердые растворы или определенные химические соединения. **Аморфная фаза** находится по границам кристаллической и может составлять до 40%. **Газовая фаза** образуется при обжиге керамики и для конструкционной керамики в основном нежелательна. В зависимости от формы пор и количества газовой фазы керамику подразделяют на плотную, без открытых пор и пористую. Наличие пор обуславливает снижение прочности керамики, однако она представляет собой особый класс химически стойких материалов и используется для фильтрации агрессивных химических жидкостей и суспензий.

Существенное влияние на механическую прочность керамики оказывает температура. Например, для оксидной керамики характерна незначительная потеря прочности (до 15%) при температурах до 800°C, а затем более резкое ее падение, при температурах выше 1200°C потеря прочности составляет более 50%.

Из чистых окислов производятся термоизоляционные керамические изделия, которые могут служить при температурах в 1600...1800°C, применяющиеся для нанесения антикоррозионных и теплозащитных покрытий в реактивных двигателях.

Одним из основных недостатков керамики является ее хрупкость, так как для распространения трещины в керамическом материале расходуется энергии в тысячу раз меньше, чем в металлах. Снижения хрупкости добиваются путем армирования керамики волокнами из хрома, никеля, ниобия, вольфрама, введением в состав диоксида циркония. Применяются также методы поверхностного упрочнения керамических материалов путем лазерной аморфизации поверхности. Керамические изделия в большинстве случаев являются хорошими диэлектриками и используются в качестве высоковольтных изоляторов (главным образом фарфор и стеатит).

Большое распространение в технике получила **пьезокерамика**, способная поляризоваться при упругой деформации или деформироваться под действием внешнего электрического поля. В основном используется титанат бария $BaTiO_3$ и керамика на основе системы $PbZrO_3 - PbTiO_3$. Пьезокерамические материалы нашли применение в качестве электромеханических и электроакустических преобразователей.

Керамические материалы используются также в качестве терморезисторов и варисторов, изменяющих электросопротивление под действием соответственно температуры и приложенного напряжения.

Алюмооксидная керамика широко используется в электронике для изготовления подложек интегральных схем, а также для подложек корпусов больших интегральных схем (чипов).

Ферромагнитная керамика, представляющая собой соединения типа $Me_2O-Fe_2O_3$ или $MeO-Fe_2O_3$ (Me обозначает металл), характеризуется высокой магнитной проницаемостью и хорошими диэлектрическими свойствами. Наибольшее распространение получили ферриты, содержащие оксиды магния, никеля, цинка, кальция, марганца.

В промышленности используется *керамика со специфическими оптическими свойствами: оптически прозрачная, с люминисцентными свойствами, светочувствительная*. Такая керамика изготавливается на основе оксида алюминия, оксида иттрия, легированного редкоземельными элементами, оксида бериллия, цирконата или титаната свинца, теллурида кадмия.

Процесс изготовления керамических изделий состоит из подготовки формовочной массы (смешивание компонентов в виде порошков в сухом виде или в жидкой среде), формования изделия (прессование в формах под давлением 100...600 МПа), сушки и обжига (температура спекания определяется составом исходных компонентов зачастую в контролируемой газовой среде). Механическая обработка изделий из керамики заключается в их шлифовке алмазными кругами.

Керамические материалы наряду с высокой твердостью, как правило, имеют повышенную хрупкость, низкое сопротивление изгибу и ударным нагрузкам. Ликвидировать многие из этих недостатков позволяет сочетание керамических материалов с металлической связкой. Материалы, получаемые путем спекания металлических и керамических порошков, называются керметами. Керметы обладают высокими прочностными свойствами, химической стойкостью, высокой тепло- и электропроводимостью. Они нашли применение в машиностроении для изготовления режущего инструмента, электрических скользящих контактов, подшипников скольжения, в авиационной и космической технике для изготовления камер сгорания ракет и авиационных двигателей и т.д.

Металлокерамические композиционные материалы изготавливают методами порошковой металлургии из железа, ванадия, молибдена, вольфрама, кобальта, меди и других металлов, тугоплавких оксидов, а также карбидов, боридов, нитридов и силицидов металлов.

Для режущего инструмента применяются *твердые сплавы на основе высокотвердых тугоплавких карбидов* ванадия, титана, тантала на кобальтовой связке. Формовочную смесь спекают при температуре 1400...1550°C в среде водорода или в вакууме.

Вольфрамкобальтовые сплавы состоят из карбидов вольфрама и кобальтовой связки. Теплостойкость этих сплавов – до 800°C. Обозначаются

они буквами ВК, за которыми следует цифра, указывающая количество кобальта в массовых процентах, например ВК3, ВК8, ВК10.

Титановольфрамовые сплавы состоят из карбидов титана и вольфрама с кобальтовой связкой. Теплостойкость сплавов этой группы составляет 900...1000°С. Обозначаются сплавы буквами ТК. Например, сплав Т15К6 содержит 15% TiC, 6% кобальта и 79% WC.

Титано-кобальтовые сплавы применяют для обработки резанием сталей.

Титано-тантало-вольфрамо-кобальтовые сплавы применяют для обработки труднообрабатываемых сплавов. Обозначаются эти сплавы буквами ТТК, например ТТ10К8 (10% карбидов титана и тантала, 8% - кобальта). Теплостойкость этих сплавов составляет 1000°С.

Для изготовления режущего инструмента применяется также **безвольфрамовая минералокерамика** на основе глинозема Al₂O₃ (оксидная), например ЦМ-332 (микролит), ВО-13; смеси Al₂O₃ с карбидами (ВЗ, ВОК-60, СС620, СМ2), нитридами (кортинит, СС680, СС650) и другими соединениями (керметы), а также безвольфрамовые твердые сплавы на основе карбида титана (ТН20), карбонитрида титана (КНТ16, СД-3), нитрида титано-тантала (Т12А, Т23А).

Оксидную керамику применяют для чистовой и получистовой обработки незакаленных сталей и серых чугунов со скоростями резания до 15 м/с.

Резцы из пластинок микролита применяют при обработке конструкционных и легированных сталей, различных чугунов и особенно цветных металлов, а также графита, твердых пород дерева, пластмасс и др. Из микролита, кроме режущего инструмента, изготавливают детали к машинам и аппаратам, подвергающимся интенсивному износу, различные фильеры, втулки, мундштуки и др.

Кроме компактной (беспористой), применяется и **пористая металлокерамика**, получаемая путем введения в исходную композицию дисперсных или волокнистых компонентов, которые из готовых изделий выплавляются или вымываются, образуя открытые поры. Таким образом, получают материалы с открытыми порами. Их применяют для изготовления фильтров очистки жидкостей и газов, подшипников скольжения, подшипников на воздушной подушке. В подшипниках скольжения поры заполняются смазочными веществами и выполняют функции емкостей для удержания смазки и подачи ее в нужный момент в зону трения.

Материалы с закрытыми порами получают путем введения в исходную композицию газообразующих веществ – **порофоров**.

В ряде областей машиностроения находят применение **теплоизоляционные керамические материалы** (пористые окисные огнеупоры, изготовленные по разной технологии из чистых окислов или

карбидов). Пористость такой керамики достигает 85...90%, а предельная рабочая температура – 2200°C. Химически стойкая керамика отличается незначительной прочностью, удовлетворительной термостойкостью и незначительной проницаемостью для жидкостей и газов. В зависимости от назначения она подразделяется на футеровочную (для защиты различных аппаратов и строительных конструкций), насадочную и изделия для химической аппаратуры.

Футеровочные и насадочные изделия изготавливаются из шамотированных масс и обладают грубозернистым строением (кислотоупорные кирпичи и плитка). Кислотоупорные кирпичи применяют для футеровки крупных химических аппаратов (башен, скрубберов и др.), резервуаров, газоходов, желобов, а также для кладки фундаментов аппаратов, колонок и т.п. Кислотоупорные плитки изготавливают трех видов: кислотоупорные, термокислотоупорные и термокислотоупорные для гидролизной промышленности.

6. Производство материалов из древесины

Натуральные древесные материалы

Древесина имеет капиллярно-пористое строение. Стенки капилляров состоят на 90...95% из высокомолекулярных (целлюлоза, лингин, гемицеллюлоза) соединений и на 5...10% из низкомолекулярных соединений (углеводороды, эфирные масла, смолы) и минеральных веществ. Капилляры имеют сечение от 0,05 до 0,4 мм и выполняют роль проводящих систем. Физико-механические свойства древесины зависят от ее макро- и микроструктуры, влажности, направления приложения нагрузки, возраста и пороков отдельных участков (механические повреждения, грибковые поражения, червоточины, отклонения строения из-за наличия сучков и др.).

Древесина содержит свободную воду, заполняющую капилляры, и связанную, входящую в клеточные оболочки. При высыхании сначала теряется свободная вода, а затем связанная. У свежесрубленного дерева общая влажность может достигать 100% (70% приходится на свободную воду). Равновесная влажность сухой древесины составляет 7...10% в закрытом помещении и 10...20% на воздухе. При потере связанной воды происходит усушка древесины, сокращение размеров капилляров, что приводит к возникновению внутренних напряжений и, как следствие, к короблению древесины и образованию трещин.

Скорость и условия сушки также влияют на появление коробления и трещин.

Для повышения стойкости древесины к гниению, снижения горючести и влагопоглощения применяют ее пропитку разными составами (антисептиками, синтетическими смолами, антипиренами), а также окраску

огне- и влагозащитными красками, перхлорвиниловыми покрытиями и др. В качестве антисептиков используют фторид- и кремнефторид натрия, хлористый цинк, креозотовое масло и др. В качестве антипиренов используют составы, содержащие соли аммония, фосфорной или борной кислоты.

Натуральную древесину подразделяют на хвойные и лиственные породы. Основные показатели механических свойств древесины представлены в таблице 30.

В народном хозяйстве натуральная древесина применяется в виде пиломатериалов и заготовок. По характеру обработки различают пиломатериалы: обрезные – четыре боковые стороны пропилены, а обзол (непропиленная боковая поверхность бревна) не превышает нормы; необрезные – пласти пропилены, а кромки не пропилены или пропилены частично, и размеры обзолов превышают норму; ширина необрезных материалов равна полусумме ширин двух пластей посередине длины с точностью 0,5 см.

По соотношению размеров поперечного сечения различают: доски – ширина более двойной толщины, бруски – ширина не более двойной толщины, брусья – ширина и толщина более 100 мм (табл. 31)

По толщине пиломатериалы бывают тонкие (до 32 мм) и толстые (40 мм и более). Поперечные размеры пиломатериалов установлены для древесины с влажностью 15%, при большей влажности предусматривают припуск на усушку. Пиломатериалы хвойных пород. В зависимости от допускаемых пороков древесины доски и бруски получают пяти сортов: отборного и 1-5-го, а брусья четырех сортов: 1-4-го.

Таблица 31
Размеры пиломатериалов хвойных пород
Длина 1 - 6,5 м (через 0,25 м)

Пило-материал	Толщина, мм		Ширина, мм							
			80	90	100	110	130	150	-	-
Доски	13		80	90	100	110	130	150	-	-

16 80 90 100 110 130 150 180 ---
 19 80 90 100 110 130 150 180 200 --
 22 80 90 100 110 130 150 180 200 --
 25 80 90 100 110 130 150 180 200 220 250
 32 -- 100 110 130 150 180 200 220 250
 40 -- 100 110 130 150 180 200 220 250
 Бруски 50 -- 100 - 130 150 180 200 220 250
 60 -- 100 - 130 150 180 200 220 250
 75 -- 100 - 130 150 180 200 220 250
 100 -- 100 - 130 150 180 200 220 250
 Брусья 130 ----- 130 150 180 ---
 150 ----- 150 180 200 --
 180 ----- 180 - 220 -
 200 ----- 200 - 250
 220 ----- 220 250
 250 ----- 250

Примерное назначение хвойных пиломатериалов следующее:

- сорт отборный – детали обшивки и связей судов, дышла, мотовильные планки сельскохозяйственных машин, решетки бортов грузовых автомобилей и т.п. нагруженные детали;
- сорт 1-й – внутренние палубы судов, детали семенных ящиков сеялок, делители жаток, поперечные балки кузовов автомобилей и другие ответственные детали;
- сорт 2-й – брусья спиц и укосин сельскохозяйственных машин, верхние доски бортов и крайние доски пола грузовых автомобилей, тонкая обшивка стен и доски пола в просвете дверей грузовых, железнодорожных вагонов и другие массивные детали изделий;
- сорт 3-й – доски бортов и пола грузовых автомобилей, доски пола и толстая обшивка стен, обшивка крыши грузовых железнодорожных вагонов и другие менее нагруженные детали, раскрой на мелкие заготовки;
- сорт 4-й – раскрой на мелкие заготовки и тару.

Пиломатериалы лиственных пород должны иметь влажность не более 25%.

Пиломатериалы изготовляют трех сортов. Размеры (для древесины с влажностью 15%): длина 1 – 6,5 м (через 0,25 м); толщина 13...25 мм (через

3 мм); 32, 40, 50, 60 и 75 мм; ширина (необрезные) 50 мм и более (через 10 мм). При большей влажности предусматривают припуски на усушку для ширины и толщины. Бруски изготавливают квадратного и прямоугольного сечения.

Композиционные древесные материалы

На основе древесных полуфабрикатов (древесная мука, стружка, опилки, щепя технологическая) изготавливают композиционные материалы.

Массы древесные прессовочные, состоящие из мелких частиц древесины, пропитанной различными смолами, используют для изготовления деталей машин (втулок, шкивов, роликов), а также строительных изделий методом горячего прессования. Переработка этих масс производится при температуре 150°С, давлении прессования 400...600 МПа. Выпускаются массы древесные прессовочные, содержащие частицы длиной до 80 мм (МДПК), стружку (МДПС), опилки (МДПО), частицы игловидной формы (МДПВ) (табл. 32).

Таблица 32

Механические свойства древесных прессовочных масс

Свойство	МДПК	МДПС	МДПО	МДПВ
Плотность, 10 ³ кг/м ³	1,27	1,27...1,38	1,30...1,39	1,30...1,40
Предел прочности, МПа:				
при сжатии	80...100	90	110	100
при изгибе	70...120	55	50	50
Ударная вязкость, кДж/м ²	8...15	5	4	4

Древесина прессованная (ДПО, ДПД, ДПК, ДПР, ДПГ) в виде заготовок, обработанных по различным технологиям (с пропаркой, нагревом, пропиткой аммиаком) из различных пород древесины, используется для изготовления деталей, испытывающих ударные нагрузки: подшипников, прокладок, ползунов лесопильных рам и других деталей машин, а также мебели, паркета и т.д. Плотность этих материалов 700...1300 кг/м³, временное сопротивление (вдоль волокна) 140...230 МПа, ударная вязкость 60...80 кДж/м².

Шпон лущеный используется для изготовления фанеры в качестве материала для отделки изделий из древесных прессовочных масс и

древопластиков. Шпон строганый применяют в качестве отделочного материала.

Фанера представляет собой многослойный материал, полученный путем склеивания листов шпона с различными схемами его ориентации в слоях. Он широко используется в мебельной промышленности, судостроении, вагоно- и автомобилестроении, радиотехнической промышленности и др. Выпускаются различные разновидности фанеры: с пропиткой наружных слоев смолами, металлизированная, покрытая смесью асбеста с цементом, декоративная и др.

Древопластики представляют собой композиционные материалы на основе полимеров, в которых наполнителями являются измельченная древесина, опилки, стружки, лом шпона, щепа.

Древесностружечные плиты изготавливают методом горячего прессования, толщиной от 10 до 25 мм, облицованные шпоном, декоративным пластиком и без облицовки. Используются они в мебельной промышленности, радио- и приборостроении, строительстве, машиностроении, для элементов несущих конструкций в строительстве, автомобиле- и вагоностроении.

Древесноволокнистые плиты используются в изделиях, защищенных от воздействия влаги, и выпускаются толщиной от 2,5 до 25 мм, шириной от 1220 до 1830 мм, длиной от 1200 до 5500 мм. По плотности они подразделяются на мягкие (М), полутвердые (ПТ), твердые (Т), сверхтвердые (СТ). При обозначении марки после указания твердости через дефис указывается значение предела прочности при изгибе, например СТ-500 ($\sigma_{изг} = 50$ МПа).

Высокой прочностью, износостойкостью и невысоким коэффициентом трения обладают древесно-слоистые пластики (ДСП), представляющие собой многослойные, горячепрессованные, пропитанные синтетическими смолами листы шпона с различной ориентацией волокон в слоях.

В качестве конструкционных и антифрикционных материалов в основном применяются древесно-слоистые пластики. Основные свойства их приведены в табл. 33.

Таблица 33

Механические свойства древесно-слоистых пластиков

Показатели	ДСП-А	ДСП-Б	ДСП-В	ДСП-Г
------------	-------	-------	-------	-------

Плотность, 10^3 кг/м^3	1,33	1,23...1,30	1,23...1,30	1,23...1,30
Временное сопротивление, МПа	–	200...300	130...140	–
Пределы прочности вдоль волокон, МПа:				
при сжатии	180	130...185	100...125	–
при изгибе	–	205...280	140...180	100...125
Ударная вязкость, кДж/м ²	–	0...80	25...30	17...30

Армированные композиционные древопластики (ДПКА1 и ДПКА2), кроме пропитанных древесных компонентов, содержат стекло- и углеродное волокно, а также дисперсные наполнители. Плотность их составляет $1400...1550 \text{ кг/м}^3$, временное сопротивление $60...70 \text{ МПа}$, пределы прочности при сжатии $150...200 \text{ МПа}$, при изгибе $110...120 \text{ МПа}$, ударная вязкость $17...32 \text{ кДж/м}^2$. Используются они для изготовления опор скольжения, корпусных деталей.

7. Производство волокнистых материалов

Композиционные материалы с волокнистыми наполнителями

Композиционные материалы (композиты) представляют собой гетерофазные системы, состоящие из двух и более разнородных компонентов. Компонент, непрерывный по всему объему материала, обеспечивающий его монолитность, называется матрицей, или связующим. Компоненты, распределенные в матрице, называются наполнителями. В качестве матрицы могут применяться материалы на полимерной (органической и неорганической), металлической и керамической основе. Характер взаимодействия между материалами матрицы и наполнителя может быть инертным и активным (между материалами возникает химическая связь и эффективное адгезионное взаимодействие).

В зависимости от вида и структуры наполнителя композиты делятся на дисперсно-упрочненные, упрочненные волокнами, слоистые и газонаполненные.

В качестве волокнистых наполнителей используются хлопковые очесы (волокниты), кордовые нити (кордолокниты), асбестовое волокно (асбоволокниты), стекловолокно (стекловолокниты).

Волокниты – пластмассы на основе хлопковых очесов, пропитанных

фенолоформальдегидной смолой. Материалы обладают повышенной, по сравнению с пресс-порошками, ударной вязкостью (до 10 кДж/м²), однако имеют значительно меньшую текучесть, что не позволяет получать тонкостенные детали.

Волокниты имеют низкие диэлектрические свойства и неустойчивы к тропическому климату, обладают анизотропией свойств. Применяются они для изготовления изделий общетехнического назначения с повышенной стойкостью к вибрациям и ударным нагрузкам, работающих на изгиб и кручение, например, шкивов ременных передач, фланцев, рукояток, крышек и др.

Асбоволокниты – композиты, содержащие волокнистый минерал – асбест, расщепляющийся на тонкие волокна диаметром до 0,5 мкм. В качестве связующего используются фенолоформальдегидные и кремнийорганические смолы. Они обладают высокой ударной вязкостью и теплостойкостью до 200°С, устойчивы к кислым средам, имеют хорошие фрикционные свойства. Применяются в основном в качестве материалов для тормозных устройств (тормозные колодки, накладки, диски сцепления).

Асбоволокниты на фенолоформальдегидной основе используются для производства высокопрочных теплостойких деталей электротехнического назначения (электрические панели, высоко- и низковольтные коллекторы), а на основе кремнийорганических полимеров – для деталей, длительно работающих при температуре до 200°С (материал К-41-5), и дугогасящих камер контакторов большой мощности, клеммных колодок (КМК-218). Последние материалы тропикоустойчивы. Фаолит – асбоволокнит, полученный пропиткой асбоволокон феноло-формальдегидной смолой с последующим вальцеванием смеси, используют для изготовления кислотоупорных труб, емкостей.

Стекловолокониты представляют собой пластмассы, содержащие в качестве наполнителя стекловолокна. Применяются стекловолокна диаметром 5...20 мкм высокопрочные с временным сопротивлением 600...3800 МПа и высокомодульные (ВМ-1, ВМП, М-11), имеющие предел прочности до 3900...4700 МПа и модуль упругости при растяжении до 110 ГПа. Используют волокна, нити, жгуты разной длины, что во многом определяет ударную вязкость стекловолокнита. Чем тоньше волокно, тем меньше его дефектность и выше прочность.

Механические свойства стекловолокнитов зависят от состава, количества и длины стекловолокна, типа связующего, физико-химических процессов, протекающих на границе раздела стекловолокно-связующее, метода переработки. Например, замена стекловолокна из стекла Е на волокно из стекла S (табл. 17) в эпоксидном связующем позволяет повысить прочность композита на 40%.

С целью улучшения смачиваемости стекловолокна связующим, снижения напряжений, возникающих на границе раздела, увеличения

адгезии между волокном и связующим применяют обработку волокон соединениями, содержащими различные реакционноспособные группы (винильные, метакрильные, фенильные, amino-и иминогруппы и др.). Уменьшению напряжений в пограничном с волокном слое связующего, снижению усадки и пористости, повышению теплостойкости способствует введение в связующее порошкообразных наполнителей, в частности порошка отвержденного связующего.

Стекловолокниты подразделяют на спутанно-волокнистые, гранулированные и мелкодисперсные пресс-массы. Спутанно-волокнистые стекловолокниты получают путем пропитки отрезков волокон длиной 40...70 мм с последующей распушкой и сушкой для удаления растворителя (например, АГ-4В). Недостатком этих материалов является неравномерность распределения связующего, большой разброс механических свойств и меньшая текучесть по сравнению с другими стекловолокнитами.

Гранулированные стекловолокниты получают путем пропитки некрученных стеклонитей и стекложгутов с последующей сушкой и резкой на гранулы длиной 5, 10, 20 и 30 мм. Диаметр гранул 0,5...8 мм. Материал обладает хорошими сыпучестью и текучестью, большей стабильностью механических свойств. К этой категории материалов относятся дозирующиеся стекловолокниты ДСВ.

Мелкодисперсные стекловолокнистые пресс-массы изготавливают путем смешивания измельченных стекловолокон длиной до 1,5 мм со связующим с последующим гранулированием (гранулы размером 3...6 мм). Выпускается также «стекло-крошка» с гранулами длиной до 10...50 мм из пропитанных отходов стеклоткани.

Стекловолокнит, гранулированный с гранулами размером до 6 мм, перерабатывается литьевым прессованием. Мелкодисперсные стекловолокниты можно перерабатывать литьем под давлением, а при изготовлении изделий с металлической арматурой – литьевым прессованием. Стекловолокнит с длиной гранул размером 10 мм перерабатывается литьевым и прямым прессованием, а при длине гранул длиной 20 и 30 мм – только прямым прессованием.

Из стеклопластиков изготавливают корпусные детали, элементы щитков, изоляторов, штепсельных разъемов, обтекателей антенн и т.д. Изделия, эксплуатируемые при температурах от -60 до +200°C, изготавливают на основе анилино-фенолоформальдегидных смол и бесщелочного алюмоборосиликатного стекловолокна, а для температурного диапазона -60...100°C на основе эпоксидных смол. Стекловолокниты на основе кремнийорганических смол эксплуатируются до температуры 400°C, а с использованием кварцевого или кремнеземного волокна кратковременно и при более высоких температурах. Для деталей теплозащитного назначения применяют стекловолокниты на основе кремнеземного волокна и

фенолоформальдегидных смол.

На основе стеклянных матов и непредельных полиэфирных смол получают препреги, которые используют для изготовления крупногабаритных деталей (кузова, лодки, корпусные детали приборов и т.п.). Применение ориентированных волокон позволяет получать стекловолокниты с повышенными механическими свойствами. Например, ориентированный стекловолокнит АГ-4С имеет предел прочности $\sigma = 200...400$ МПа, ударную вязкость $KCU=100$ кДж/м², в то время как АГ-4В на основе путанного волокна $\sigma = 80$ МПа, $KCU = 25$ кДж/м².

Органоволокниты представляют собой композиционные материалы на основе полимерных связующих, в которых наполнителем служат волокна органических полимеров (полиамидные, лавсан, нитрон, вилол и др.). Для армирования используются также жгуты, ткани и маты из этих волокон. В качестве связующих применяют термореактивные смолы (эпоксидные, фенолоформальдегидные, полиимидные и др.).

Использование полимерных связующих и наполнителей с близкими теплофизическими характеристиками, а также способных к диффузии и химическому взаимодействию между ними, обеспечивают композитам стабильность механических свойств, высокие удельную прочность и ударную вязкость, химическую стойкость, стойкость к термоудару, тропической атмосфере, истиранию. Допускаемая температура эксплуатации большинства органоволокнитов $100...150^{\circ}\text{C}$, а на основе полиимидного связующего и термостойких волокон – до $200...300^{\circ}\text{C}$. К недостаткам этих материалов следует отнести невысокую прочность при сжатии и ползучесть.

Для получения высокопрочных композитов применяют волокна на основе ароматических полиамидов (арамидные волокна СВМ, терлон, кевлар), обладающие высокими механическими свойствами, термостабильностью в широком диапазоне температур, хорошими диэлектрическими и усталостными свойствами. По удельной прочности эти волокна уступают лишь борным и углеродным.

Бороволокниты – композиционные материалы на полимерной матрице, наполненные борными волокнами. Они обладают хорошими механическими свойствами, низкой ползучестью, высокими тепло- и электропроводностью, стойкостью к органическим растворителям, горюче-смазочным материалам, радиоактивному излучению, циклическим знакопеременным нагрузкам.

Борные волокна получают путем химического осаждения бора из главной смеси $\text{BCl}_3 + \text{H}_2$ на вольфрамовую нить при температуре близкой к 1130°C . Для повышения жаростойкости волокна покрывают карбидом кремния, также осаждаемым из парогазовой фазы в среде аргона и водорода. Такие волокна называют борсиком. В качестве связующих для бороволокнитов используют модифицированные эпоксидные смолы и полиамиды. Бороволокниты КМБ-3, КМБ-3к обеспечивают

работоспособность изделий при температурах до 100°C, КМБ-1 и КМБ-1к до 200°C, а КМБ-2к до 300°C. С целью повышения технологичности переработки используют композиты, содержащие смесь борного волокна со стекловолокном. Бороволокниты применяются в авиационной и космической технике для изготовления различных профилей, панелей, деталей компрессоров и др.

Карбоволокниты (углепластики) – композиционные материалы на основе полимерного связующего и углеродных волокон. Углеродные волокна отличаются высокой теплостойкостью, удельной прочностью, химической и атмосферостойкостью, низким коэффициентом термического линейного расширения. Применяют волокна двух типов: карбонизованные и графитированные. В качестве исходного материала используют вискозные или полиакрилонитрильные (ПАН) волокна, каменные и нефтяные пеки, которые подвергаются специальной термообработке. В процессе высокотемпературной обработки в безокислительной среде происходит переход от органических волокон к углеродным. Карбонизация проводится при температуре 900...2000°C, а графитизация – при температурах до 3000°C. Углеродные волокна по механическим свойствам подразделяются на высокомодульные и высокопрочные. В качестве связующих используют термореактивные полимеры: эпоксидные, фенолоформальдегидные смолы, полиамиды и др., а также углеродные матрицы.

Карбоволокниты обладают хорошими механическими свойствами, статической и динамической выносливостью, водо- и химической стойкостью, стойкостью к рентгеновским излучениям, более высокой, чем у стеклопластиков, теплопроводностью. Применяются карбоволокниты для изготовления конструкционных деталей авиационной и космической техники, антенн, автомобилей, судов, спортивного инвентаря.

Композиционные материалы со слоистыми наполнителями

Слоистые композиционные материалы имеют листовые наполнители (ткани, бумагу, шпон и т.д.), пропитанные и скрепленные между собой полимерным связующим. Эти материалы обладают анизотропией свойств – имеют высокую прочность при растяжении вдоль слоев армирующего наполнителя и низкую в перпендикулярном направлении. Этот недостаток отсутствует у объемно-тканых или трехмерно-армированных материалов.

В качестве волокнистых армирующих элементов используют ткани на основе высокопрочных волокон различной природы: хлопчатобумажные, стеклоасботкани, органоткани, углеткани, органостеклоткани, бороорганостеклоткани. Ткани различаются между собой по соотношению волокон в основе и утке, по типу переплетения, что сказывается на их механических свойствах. Выпускаются слоистые композиты в виде листов, труб, заготовок.

Гетинакс – пластик на основе модифицированных фенольных, аминокформальдегидных и карбамидных смол и различных сортов бумаги. По назначению гетинакс подразделяется на декоративный и электротехнический. Декоративный гетинакс стоек к воздействию химикатов, пищевых продуктов, растворителей, может иметь любой цвет и рисунок. Применяется он для облицовки технической и бытовой мебели, внутренней облицовки салонов самолетов, кают судов, железнодорожных вагонов и т.д. Электротехнический гетинакс используется для изготовления панелей, приборных щитков и других целей. Для печатных радиотехнических изделий применяют гетинакс фольгированный (ГФ). В качестве фольги используется тонкий слой меди. Выпускается гетинакс, фольгированный с одной (ГФ-1) и с двух сторон (ГФ-2), нормальной и повышенной прочности и нагревостойкости, на что в марке указывает буква Н или П, стоящая после цифры, например ГФ-1П.

Органогетинакс изготавливают на основе бумаги из синтетических волокон, чаще всего из ароматических полиамидов и поливинилового спирта. В качестве связующих применяют полиимиды, фенолоформальдегидные, эпоксидные и другие смолы. По сравнению с гетинаксами они имеют более высокую стойкость в агрессивных средах и стабильность механических и диэлектрических свойств при повышенных температурах.

Текстолит – слоистый пластик на основе полимерных связующих и хлопчатобумажных тканей. Материал обладает высокими механическими свойствами, стойкостью к вибрациям. В зависимости от основного назначения текстолиты подразделяются на конструкционные, электротехнические, графитированные, гибкие прокладочные.

Конструкционный текстолит марок ПТК, ПТ, ПТМ используется для изготовления зубчатых колес, подшипников скольжения, работающих при температурах в зоне трения не выше 90°C, в прокатных станах, турбинах, насосах и др. Выпускается в виде листов толщиной от 0,5 до 8 мм и плит толщиной от 8 до 13 мм. Диэлектрическая прочность в трансформаторном масле до 8 кВ/мм.

Электротехнический текстолит используется в качестве электроизоляционного материала в средах с рабочей температурой от -65 до +165°C и влажностью до 65%. Выпускается он в виде листов толщиной от 0,5 до 50 мм марок А, Б, Г, ВЧ. Марка А – с повышенными электротехническими свойствами для работы в трансформаторном масле и на воздухе при промышленной частоте 50 Гц. Марка Б – с повышенными электротехническими свойствами для работы на воздухе при частоте 50 Гц. Марка Г – по свойствам и области использования аналогична марке А, но с расширенными допусками по короблению и толщине. Марка ВЧ – для работы на воздухе при высоких частотах (до 106 Гц).

Графитированный текстолит применяется для изготовления

подшипников прокатного оборудования и выпускается в виде листов толщиной 1...50 мм, длиной до 1400 мм и шириной до 100 мм.

Гибкий прокладочный текстолит используют для производства уплотняющих и изолирующих прокладок в узлах машин, подвергаемых воздействию масел, керосина, бензина. Выпускают в виде листов толщиной 0,2...3,0 мм.

В асботекстолитах (табл. 20) и асбогетинаксах в качестве наполнителей содержится соответственно асботкань или асбобумага (до 60%), а в качестве связующего – фенолоформальдегидные и меламиноформальдегидные смолы, кремнийорганические полимеры, которые определяют допускаемую температуру эксплуатации. Материалы на меламиноформальдегидной основе допускают работу изделий при температурах до 200°C, на фенолоформальдегидной до 250°C и на кремнийорганической до 300°C при длительной эксплуатации. Кратковременно температура может достигать 3000°C. Применяют асботекстолиты в основном для изготовления тормозных колодок, тормозных накладок, в качестве теплоизоляционного и теплозащитного материалов.

Стеклотекстолиты изготавливают на основе стеклотканей и различных полимерных связующих (табл. 21). На фенолоформальдегидных смолах (КАСТ, КАСТ-В, КАСТ-Р) они более теплостойки, чем текстолит ПТК, но хуже по вибростойкости. На кремнийорганических смолах (СТК, СК-9Ф, СК-9А) имеют высокую тепло- и морозостойкость, обладают высокой химической стойкостью, не вызывают коррозии контактирующего с ним металла. Применяют стеклотекстолиты в основном для крупногабаритных изделий радиотехнического назначения, а также изготовления стеклотекстолита фольгированного марок СФ-1, СФ-2 при производстве печатных плат. Высокой ударной вязкостью КСУ до 600 кДж/м², временным сопротивлением до 1000 МПа обладают стекловолокнистые анизотропные материалы, армированные стеклошпоном (СВАМ). По удельной жесткости эти материалы не уступают металлам, а по удельной прочности в 2-3 раза превосходят их.

Композиционные материалы с газообразными наполнителями

Газонаполненные материалы представляют собой структуру, состоящую из твердой и газообразной фаз. Их подразделяют на две группы: пенопласты и поропласты. Пенопласты имеют ячеистую структуру, поры которой изолированы друг от друга полимерной прослойкой. Поропласты имеют открытопористую систему и присутствующие в них газообразные или жидкие продукты сообщаются друг с другом и окружающей средой.

Пенопласты получают на основе термопластичных полимеров (полистирола, поливинилхлорида, полиуретана) и термореактивных смол (фенолоформальдегидных, фенилокаучуковых, кремнийорганических,

эпоксидных, карбамидных). Для получения пористой структуры в большинстве случаев в полимерное связующее вводят газообразующие компоненты, называемые порофорами (углекислый газ, азот, воздух и инертные газы).

Однако имеются и самовспенивающиеся материалы, например пенополиэфироуретановые, пенополиэпоксидные. Пенопласты на основе термопластичных смол более технологичны и эластичны, однако температурный диапазон их эксплуатации от -60 до $+60^{\circ}\text{C}$. Пенопласты на основе полистирола изготавливаются в виде гладких или профилированных пластин, полуоболочек или профильных изделий. Широкое применение они получили в качестве диэлектриков и упаковочных материалов при транспортировке различных стеклянных и других хрупких изделий. Такой пенопласт получают путем введения в полистирол порообразователя и нагревом массы до температуры $90\text{...}105^{\circ}\text{C}$. При этом объем первоначальных гранул увеличивается в 20-80 раз. После выдержки, необходимой для выравнивания давления, полученный полуфабрикат загружают в пресс-форму и нагревают до температуры $100\text{...}110^{\circ}\text{C}$, пока не заполнится вся форма. Плотность полученного материала $10\text{...}30$ кг/м³, поры закрытые, 98% объема составляет воздух. Пенополистирол радиопрозрачен. По такой технологии могут заполняться различные полости между металлическими, угле- или стеклопластиковыми оболочками с целью звуко- и теплоизоляции, увеличения плавучести и т.д. Недостатками материала являются растворимость в бензине, бензоле и горючесть.

Пенополивинилхлорид не поддерживает горения, но обладает более низкими диэлектрическими свойствами по сравнению с пенополистиролом. Применяется он в основном в качестве легкого заполнителя для тепло- и звукоизоляции.

Пенополиуретановые материалы получают из жидких компонентов – смеси полиспиртов и диизоцианатов. В зависимости от технологии можно получить мягкие, полужесткие и жесткие материалы с более высокой, чем у полистирольных пенопластов, термостойкостью.

Пенопласты на основе терморезистивных смол допускают более высокие температуры эксплуатации, но они более хрупки. Поэтому в терморезистивные смолы необходимо вводить пластификаторы или совмещать их с каучуками либо термопластичными смолами. Пенопласты на основе фенолоформальдегидных и фенолокаучуковых смол допускают работу при температурах до $120\text{...}150^{\circ}\text{C}$, а на основе полисилоксановых смол – до 300°C .

Самовспенивающиеся пенопласты применяются для заполнения труднодоступных мест и полостей сложной конфигурации. Пенопласты используют для тепло- и звукоизоляции кабин, теплоизоляции рефрижераторов, труб, приборов и так далее, для повышения плавучести,

удельной прочности, жесткости и вибростойкости силовых элементов конструкций. Объемная плотность пенопластов находится в пределах от 10 до 300 кг/м³, теплопроводность – от 0,002 до 0,06 Вт/(м.К).

Поропласты получают в основном путем механического вспенивания композиций, например сжатым воздухом или с использованием специальных пенообразователей. При затвердевании вспененной массы растворитель, удаляясь в процессе сушки и отверждения из стенок ячеек, разрушает их. Сквозные поры можно получить, наполнив композиции водорастворимыми веществами. После прессования и отверждения изделия его погружают в нагретую воду, в которой вымываются растворимые вещества. Поропласты применяют для изготовления амортизаторов, мягких сидений, губок, фильтров, в качестве вибродемпфирующих и звукоизоляционных прокладок в вентиляционных установках, глушителях, прокладок в касках и шлемах и т.д. Плотность их составляет 25...500 кг/м³.

Пластмассы, наполненные полыми частицами сферической формы, отличаются от пенопластов, описанных выше, тем, что вместо газовых включений они содержат микросферы диаметром 20...70 мкм, имеющие толщину стенок 1,5...3,0% от диаметра. Полые сферические наполнители могут быть полимерными, стеклянными, керамическими и металлическими. Чаще применяются сферы из фенолоформальдегидной смолы и стекла.

В качестве связующих для получения пластмасс такого типа могут использоваться любые полимеры, но в большинстве случаев применяют эпоксидные и полиэфирные смолы. В зависимости от соотношения полого наполнителя и связующего получают литевые композиции и прессовочные пасты.

Изделия из литевых композиций изготавливают путем заливки их в формы или нанесения на поверхность оснастки с последующим отверждением. Из прессовочных паст можно получать изделия в пресс-формах под давлением 0,5...1,5 МПа или без давления, уплотняя шпателем.

Материалы атмосферостойкости устойчивы к маслам, топливам и другим нефтепродуктам, не поражаются микроорганизмами, устойчивы к морскому туману, обладают хорошей адгезией к металлам и стеклопластикам. Пластмассы с полыми наполнителями используются при изготовлении различных плавучих средств, сэндвич-конструкций, теплозвукоизоляции.

Список рекомендуемой литературы

1. Корягин С.И., Пименов И.В., Худяков В.К. Основы обработки материалов. Учебное пособие. Калининградский ун-т 2000.
2. Некрасов С.С. Обработка материалов резанием. – М.: Колос, 1997. 320 с.
3. Практикум по технологии конструкционных материалов и материаловедению. 3-е изд. / Под ред. проф. С.С. Некрасова. М.:Агропромиздат, 1991. . 297 с.
4. Технология конструкционных материалов: Учебник для вузов / А.М.Дальский, И.А.Арутюнова, Т.М. Барсукова и др. М.: Машиностроение,1977.