**Тема Углеродистые стали. Чугуны.**

 **Вопросы**

 **1. Классификация сталей**

**2. Стали обыкновенного качества**

**3. Стали углеродистые качественные**

**4. Автоматные стали**

**5. Инструментальные углеродистые стали**

**6. Чугуны**

**1. Классификация сталей**

Стали классифицируют по химическому составу, качеству, степени раскисления, назначению.

По **химическому составу** стали класси­фицируют на **углеродистые** и **легированные.** По концентрации углерода те и другие подразделяют на низкоуглеродистые (<0,3% С), среднеуглеродистые (0,3 - 0,7% С) и высокоуглеродистые (> 0,7% С). По коли­честву введенных элементов их разде­ляют на низко-, средне- и высоколегиро­ванные. В низколегированных сталях количество легирующих элементов не превышает 5%, в среднелегированных содержится от 5 до 10%, в высоколеги­рованных более 10%.

В основе классификации сталей **по качеству**положено содержа­ние в них вредных примесей — серы и фосфора.

Допустимое содержание серы и фосфора следующее:

стали **обыкновенного качества**— соответственно 0,05 и 0,04%;

**качественные**стали — 0,04 и 0,035%;

**высококачественные**стали — 0,025 и 0,025% (обозначаются бук­вой «А» в конце марки);

**особовысококачественные**стали — 0,015 и 0,025% (буква «Ш» в конце марки).

**По назначению**различают стали **конструкционные***,* идущие на изготовление деталей машин, конструкций и сооружений, **инструментальные,**идущие на изготов­ление различного инструмента, а также стали **специального** назначения с**особыми свойствами***:* нержавеющие, жаростойкие, жаропрочные, износостойкие, с особыми электрическими и магнитными свойствами и др.

В зависимости от условий и степени раскисления различают несколько ви­дов сталей.

**Спокойные стали***.* Эти стали, получаемые полным раскислением, содержат минимальное количество закиси же­леза, что обеспечивает «спокойное» застывание металла в изложнице, про­исходящее с уменьшением объема. В верхней части слитка образуются усадочная раковина и околоусадочная рыхлость, удаляемые отрезкой или отрубкой при прокатке.

**Кипящие стали.**К этому виду относятся стали, полностью нераскисленные и содержащие поэтому до затвердевания повы­шенное количество FеО. При застывании в изложнице закись железа FеО реагирует с углеродом металла, образуя СО. Выделение этих пузырьков в металле создает впечатление, что он кипит. В слитке кипящей стали образуется большое количество газовых пузырей, вследствие чего практи­чески отсутствует усадочная раковина. Кипящие стали являются более дешевыми, так как при их производстве отходы ми­нимальны. По сравнению со спокойной и полуспокойной сталью они боль­ше склонны к старению и хладноломкости и хуже свариваются. Но вместе с тем кипящие стали обладают высокой пластичностью и хорошо при­нимают вытяжку в холодном состоянии.

**Полуспокойные стали.**Это стали промежуточного типа. Они получают все более широкое применение.

Кипящие стали при маркировке дополнительно обозначают кп, полуспокойные - пс и спокойные — сп.

**2. Стали обыкновенного качества**

Эти наиболее дешевые стали получили широкое применение. В процессе выплавки они по сравнению с каче­ственными сталями меньше очищаются от вредных примесей и содержат больше серы и фосфора.

Стали обыкновенного качества используют для менее ответственною назначения, из них изготовляют горячекатаный рядовой прокат: балки, прутки, швеллеры, уголки, а также листы, трубы и поковки, работающие при относительно невысоких напряжениях. Их широко применяют для строительных и других сварных, клепаных и болтовых конструкций (балок, ферм, конструкций подъемных кранов, корпусов сосудов и аппаратов, кар­касов паровых котлов, драг и т. д.), а также для мало напряженных дета­лей машин (осей, валов, шестерен, пальцев траков, втулок, валиков, болтов, гаек и т. д.).

 Для обо­значения способа раскисления в марке добавляют индексы: кп — кипящая, пс — полуспокойная, сп — спокойная. Мар­ки сталей с повышенным содержанием марганца содер­жат букву Г.

В зависимости от назначения и гарантируемых свойств стали обыкно­венного качества подразделяют на три группы1.

**Группа А**(табл. 1). Стали этой группы, поставляемые по гарантированным механическим свойствам без уточнения их химического состава, обозначаются буквами Ст (сталь) и цифрами 1, 2, 3, ... 6. Чем больше это число (табл. 1), тем больше содержание углерода, а следовательно, выше прочность и ниже пластичность.

Эти стали предназначаются для использования главным образом в со­стоянии поставки без последующей обработки давлением, сварки или тер­мической обработки, поскольку их химический состав, определяющий ре­жимы обработки, может сильно колебаться.

**Группа Б***.* К этой группе относятся стали, поставляемые с гаранти­руемым химическим составом (табл. 2). В обозначении марки сталей этой группы впереди ставится буква Б (табл. 2).

**Группа В.**Эту группу представляют стали повышенного качества, ко­торые поставляют с гарантированными химическим составом и механиче­скими свойствами. В обозначение марки данной группы вводится буква В. Стали группы В выплавляют следующих марок: ВСт1, ВСт2, ВСтЗ, ВСт4, ВСт5 Состав стали соответствует аналогичной марке, приведенной в табл. 2, а механические свойства - той же марке, приведенной в табл. 1.

Стали групп Б и В применяют в тех случаях, когда сталь надо подвер­гать сварке, горячей деформации или упрочнять термической обработкой. Для определения режима обработки необходимо знать химический состав стали.

****

**3. Стали углеродистые качественные**

**Качественные углеродистые стали.** Качественные углеродистые стали маркируют цифрами **08, 10, 15,** **20, ..., 85**, которые указывают среднее содержание углерода в сотых долях процента. Низкоуглеродистые стали **05кп, 08, 08кп, 10, 10кп** обла­дают невысокой прочностью и высокой пластичностью. Эти стали без тер­мической обработки применяют для малонагруженных деталей (прокла­док, шайб, капотов тракторов, змеевиков), элементов сварных конструкций и т. д. Тонколистовую холоднокатаную низкоуглеродистую сталь исполь­зуют для холодной штамповки изделий. Штампуемость стали тем хуже, чем больше в ней углерода.

Стали **15, 20, 25** применяют без термической обработки или в нормали­зованном виде. Стали поступают в виде проката, поковок, труб, листов, ленты и проволоки и предназначаются для менее ответ­ственных деталей. Сталь хорошо сваривается и обрабатывается резанием. Эти стали используют для цементуемых деталей, работаю­щих на износ и не испытывающих высоких нагрузок, например кулачковых валиков, рычагов, осей, втулок, шпинделей, вилок и валиков переключения передач, толкателей клапанов, пальцев рессор и многих других деталей ав­тотракторного сельскохозяйственного и общего машиностроения.

Среднеуглеродистые стали **30, 35, 40, 45, 50** применяют после нормали­зации, улучшении и поверхностной закалки для самых разнообразных де­талей во всех отраслях машиностроения (распределительных валов, шпин­делей, фрикционных дисков, штоков, траверс, плунжеров и т. д.). Эти стали .в нормализованном состоянии по сравнению с низкоуглеродистыми имеют более высокую прочность при более низкой пластичности.

Стали **60, 65, 70, 75, 80 и 85** обладают более высокой прочностью, изно­состойкостью и упругими свойствами; применяются после закалки и отпу­ска, нормализации и отпуска и поверхностной закалки для деталей, рабо­тающих в условиях трения при наличии высоких статических вибра­ционных нагрузок. Из этих сталей изготовляют пружины и рессоры, шпиндели, замковые шайбы, прокатные валки и т. д.

**4. Автоматные стали**

К конструкционным углеродистым сталям относится также **автоматная сталь,** отличающаяся повышенным содер­жанием серы (до 0,3 % ) и фосфора (до 0,15 *%* ). Особен­ность этих сталей — хорошая обрабатываемость резани­ем, так как сера и фосфор резко снижают пластичность стали. При механической обработке образуется короткая и ломкая стружка, что особенно важно для быстроходных станков-автоматов. Поверхность обработанных деталей чистая и ровная. Предназначены автоматные стали для изготовления малоответственных деталей, от которых не требуется высоких механических свойств (пальцы, втул­ки, крепежные детали и др.). Маркируются эти стали буквой А (автоматная): А12, А20, АЗО, А35, А40. Число в марке указывает сред­нее содержание углерода в сотых долях процента.

Для увеличения производительности станков автоматов Волжский ав­томобильный завод применяет стали с добавкой 0,15—0,3% Рb (АС11, АС14). Добавка в сталь свин­ца увеличивает производительность механической обработки при точении на 60 — 90% и скорость резания на 70—100%.

Стали с повышенным содержанием серы и со свинцом обладают боль­шой анизотропией механических свойств, склонны к хрупкому разрушению и имеют пониженный предел выносливости. Они не могут быть рекомен­дованы для тяжелонагруженных ответственных деталей.

Улучшение обрабатываемости резанием может быть достигнуто и пу­тем легирования стали селеном (~ 0,1%). Скорость резания повышается в 1,2—1,8 раза, а стойкость инструмента более чем в 2 раза (А35Е, А45Е).

**5. Инструментальные углеродистые стали**

**Инструментальная углеродистая** сталь характеризу­ется содержанием углерода от 0,7 % и выше. Она отлича­ется высокими твердостью, прочностью, предназначена для изготовления инструментов. По качеству эта сталь бывает качественной и высококачественной. Марки каче­ственной стали: У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13; высоко­качественной: У7А, У8А, У9А, У10А, У11А, У12А, У13А. Буква У обозначает углеродистую инструментальную сталь, буква А — высококачественную сталь, цифры ука­зывают среднее содержание углерода в десятых долях процента.

Из-за низкой прокаливаемости и плохой теплостойкости эти стали применяют для инструментов небольших размеров при легких условиях резания материалов и низкой твердости.

**6. Чугуны**

Чугуны классифици­руют по структурному признаку в зависимости от того, в каком состоянии находится в них углерод.

**Белые чугуны.**Весь углерод находит­ся в связанном состоянии — в цемен­тите. Чугуны получили свое название по виду излома — он матово-белый.

Чугуны, в которых весь углерод или его большая часть находятся в металлической матрице в свободном состоянии — в виде графита, подразделяются на три вида в зависимости от формы графи­товых включений.

**Серые чугуны.**Форма включений гра­фита — пластинчатая (рис. 1,а), из­лом — темно-серый.

Пластинки графита в сером чугуне можно рассматривать как трещины, нарушающие целостность металла. Они уменьшают прочность чугуна при растяжении. Чем крупнее пластинки графита и менее равномерно их распределение по объему, тем меньше проч­ность чугуна. Включения графита не оказывают практического вли­яния на прочность при сжатии (при таком нагружении трещины закрываются). Предел прочности при сжатии в три— пять раз боль­ше, чем при растяжении. Свободный графит заметно снижает мо­дуль упругости.

Серые чугуны применяют для изготовления отливок станин, пор­шней цилиндров, зубчатых колес и др. Ферритные и ферритно-перлитные (СЧ10, СЧ15, СЧ18), обладающие меньшей прочностью, — для менее нагруженных деталей; перлитные (СЧ30, СЧ35) — для более нагруженных.

Серые чугуны обозначаются буквами СЧ (серый чугун) и цифра­ми, которые указывают предел прочности при растяжении. Напри­мер, СЧ20 — предел прочности при растяжении 20 кгс/мм2 (200 МПа).

**Высокопрочные чугуны.**Форма графи­та — шаровидная (глобулярная) (рис. 1, *б).*

**Высокопрочные чугуны**получают при модифицировании чугунов перед заливкой магнием. Под воздействием магния гра­фит приобретает шаровидную (глобулярную) форму. Шаровидная форма графита обеспечивает высокие механические свойства чугу­на (прочность на растяжение и пластичность).

Маркируют чугуны буквами ВЧ —- высокопрочный чугун, после буквы первые две цифры указывают предел прочности при растя­жении, вторая цифра — относительное удлинение (%). Например: ВЧ60-2, σв=600 МПа, δ=2%. Механические свойства высокопроч­ных чугунов указаны в ГОСТ 7293-70. Из высокопрочных чугунов изготовляют коленчатые валы, крышки цилиндров, детали прокатных станов, детали насосов и т.д.

**Ковкие чугуны***.* Графит имеет хлопь­евидную форму (рис. 1, *в).*

Маркируют ковкие чугуны буквами КЧ — ковкий чугун и циф­рами. Первые цифры обозначают предел прочности при растяже­нии, вторые — относительное удлинение (%). Например: КЧ45-6, σв=450 МПа; δ=6%.

Из ковкого чугуна изготавливают картер заднего моста, чашки дифференциала, тормозные колодки, ступицы колес для автомо­билей и др.

**Серые чугуны**обладают наимень­шей прочностью. Пластинки графита в сером чугуне можно рассматривать как трещины, нарушающие целостность металла. Они уменьшают прочность чугуна при растяжении. Чем крупнее пластинки графита и менее равномерно их распределение по объему, тем меньше проч­ность чугуна. Включения графита не оказывают практического вли­яния на прочность при сжатии (при таком нагружении трещины закрываются). Предел прочности при сжатии в три— пять раз боль­ше, чем при растяжении. Свободный графит заметно снижает мо­дуль упругости.

Вместе с тем наличие в структуре свободного графита определя­ет ряд преимуществ чугуна перед сталью:

обеспечивает лучшую обрабатываемость резанием, обеспечивая хорошее стружкообразование (стружка при обработке чугуна сыпу­чая, а не сливная как у стали);

чугун обладает хорошими антифрикционными свойствами бла­годаря смазывающему действию графита;

наличие графитовых включений обеспечивает высокие демпфи­рующие свойства — гашение вибраций;

чугун практически нечувствителен к поверхностным дефектам (надрезам и т.п.).

Серые чугуны получают непосредственно отливкой. Использу­ют доэвтектические чугуны с содержанием углерода до 2,4—3,8%. В состав чугуна входят также кремний (графитизатор) — 1-4%, марганец (способствует отбеливанию) — 1,25—1,4%. Содержание серы и фосфора в чугунах более высокое, чем в стали — 0,1-0,12% и 0,4—0,6%. Чугуны достаточны хрупки, поэтому влияние серы и фосфора несущественно. Фосфор, кроме того, повышает жидкотекучесть, поэтому в чугунах для художественного литья его количе­ство даже увеличено (до 1,6%).

Серые чугуны обозначаются буквами СЧ (серый чугун) и цифра­ми, которые указывают предел прочности при растяжении. Напри­мер, СЧ20 — предел прочности при растяжении 20 кгс/мм2 (200 МПа).

Серые чугуны применяют для изготовления отливок станин, пор­шней цилиндров, зубчатых колес и др. Ферритные и ферритно-перлитные (СЧ10, СЧ15, СЧ18), обладающие меньшей прочностью, — для менее нагруженных деталей; перлитные (СЧ30, СЧ35) — для более нагруженных.

При ускоренном охлаждении отливок из серого чугуна про­цесс графитизации не успевает полностью завершиться и поверх­ностные слои имеют структуру белого чугуна, а середина — серо­го чугуна. Такой процесс называется **отбеливанием.** Между этими зонами существует переходный слой из **половинчатого** чугуна. В структуре половинчатого чугуна наряду с графитом и перлитом присутствует ледебурит.

Отбеленный чугун имеет высокую твердость на по­верхности, применяется для изготовления валков листовых про­катных станов, колес и т.д.

**Высокопрочные чугуны**получают при модифицировании чугунов перед заливкой магнием. Под воздействием магния гра­фит приобретает шаровидную (глобулярную) форму. Шаровидная форма графита обеспечивает высокие механические свойства чугу­на (прочность на растяжение и пластичность).

Маркируют чугуны буквами ВЧ —- высокопрочный чугун, после буквы первые две цифры указывают предел прочности при растя­жении, вторая цифра — относительное удлинение (%). Например: ВЧ60-2, σв=600 МПа, δ=2%. Механические свойства высокопроч­ных чугунов указаны в ГОСТ 7293-70.

Чугун ВЧ45-0, для которого пластичные свойства не гаранти­руются, применяется для изделий, не испытывающих ударных на­грузок.

Чугун ВЧ50-1,5 и ВЧ60-2 имеет перлитную металлическую осно­ву, чугун ВЧ50-5 — ферритно-перлитную и ВЧ40-10 — ферритную.

Из высокопрочных чугунов изготовляют коленчатые валы, крышки цилиндров, детали прокатных станов, детали насосов и т.д.

 **Ковкие чугуны**получают из белых чугунов путем графитизирующего отжига (томление). Схема отжига белого чугуна на ковкий показана на рис. 113.

Отжиг проводится в две стадии. Сначала отливки белого чугуна нагревают в течение 20—25 ч до температуры 950—970 0С. Во время выдержки (15 ч) при этой температуре протекает первая стадия гра­фитизации, т. е. распад цементита, входящего в состав ледебурита (А+Fе3С), и установление стабильного равновесия аустенит + графит. В результате распада цементита образуется хлопьевидный графит. За­тем отливки медленно охлаждают (в течение 6—12 ч) до температуры 720°С. При охлаждении происходит выделение из аустенита вторич­ного цементита и рост графитных включений. По достижении темпе­ратуры 720°С дают вторую длительную выдержку, при которой про­исходит распад цементита, входящего в перлит, на феррит и графит. Вторая стадия графитизации длится около 30 ч, и после ее заверше­ния структура чугуна состоит из графита и феррита. Излом ферритного чугуна бархатисто-черный ввиду большого количества графита.

Если вторую стадию графитизации не проводят, то получают ковкий чугун со структурой графит + перлит. Излом такого чугуна светлый.

Маркируют ковкие чугуны буквами КЧ — ковкий чугун и циф­рами. Первые цифры обозначают предел прочности при растяже­нии, вторые — относительное удлинение (%). Например: КЧ45-6, σв=450 МПа; δ=6%.

Из ковкого чугуна изготавливают картер заднего моста, чашки дифференциала, тормозные колодки, ступицы колес для автомо­билей и др.

****

**Алюминий и его сплавы**

**Алюминий**

 ***Алюминий —*** один из наиболее легких конструкционных материалов, его плотность 2,7 г/см3, температура плавления 658 °С. Алюминий обладает высо­кой пластичностью $δ$ = 40 % и низкой прочностью $σ$В = 100 МПа.

Кристаллизуется алюминий в кубической гранецентрированной решетке и полиморфных превращений не имеет.

Алюминий хорошо сопротивляется коррозии, так как на его по­верхности образуется плотная защитная пленка оксида А1203.

Маркируется алюминий буквой А и числом, завися­щем от количества примесей. Различают алюминий осо­бой чистоты —А999 (99,999 *%* АI), высокой чистоты — А995 (99,995 % AI), А99 (99,99 % A1), А97 (99,97 % Al), А95 (99,95 *%* А1) и технической чистоты — А85, А8, А7, А6, A5 и АО (99,0 % А1).

Алюминий обладает высокой электропроводностью и широко используется в электротехнической промышленности для изготовления проводов, кабелей; в авиационной промышленности - труб, маслопроводов и бензопроводов. Кроме того, высокая пластичность позволяет изготав­ливать из него очень тонкие фольги. ). Алюминий используют как раскислитель при про­изводстве стали.

Высокая коррозионная стойкость определила применение алю­миния для изготовления посуды и других предметов широкого потребления.

В результате наклепа прочность алюминия повышается до 160... 180 МПа, но при этом уменьшается пластичность. Для сня­тия наклепа применяют рекристаллизационный отжиг при тем­пературах 330... 360 °С.

Алюминий является основой большого количества легких кон­струкционных сплавов, обладающих высокой удельной прочностью (прочностью, отнесенной к плотности).

Различают литейные и деформируемые (обра­батываемые давлением) алюминиевые сплавы.

**Литейные сплавы алюминия**

 Маркируются буквами АЛ и числом, показывающим условный номер сплава. Чтобы сплав обладал хорошими литейными свойствами, он должен иметь низкий температурный интервал крис­таллизации. Кроме того, желательно, чтобы он имел низ­кую температуру плавления. Этим требованиям удовлетворяют эвтектические сплавы. Наибольшее распростра­нение получили сплавы алюминия с кремнием, образу­ющие эвтектику при содержании 11,6 % кремния. Эти сплавы называются ***силуминами.***

 Широко применяется силумин эвтектического соста­ва АЛ2, содержащий 10-12 % кремния. Термической обработкой этот силумин не упрочняется. Уменьшение со­держания кремния и добавка небольшого количества маг­ния и марганца (АЛ 4, АЛ9) ухудшает литейные свойства силуминов, но улучшает механические. Кроме силуминов используются литейные сплавы алюминия с медью и магнием. Они об­ладают значительно большей прочностью, чем силумины, но их литейные свойства хуже.

Литейные сплавы алюминия с медью (АЛ 19 и др.) со­держат до 6 % меди и небольшое количество других эле­ментов. Они отличаются повышенной прочностью и жа­ропрочностью при температуре до 300 °С. Эти сплавы упрочняются закалкой и старением. Они хорошо обраба­тываются резаньем и свариваются. Недостатком этих сплавов является низкая коррозионная стойкость.

 Литейные сплавы алюминия с магнием (АЛ 8 и др.) содержат до 13 % магния и небольшое количество других легирующих элементов. Они характеризуются высокой коррозионной стойкостью в различных агрессивных cредах, обрабатываются резаньем и свариваются. Эти спла­вы упрочняются закалкой без старения.

**Деформируемые сплавы алюминия**

Применяются для изготавливлеиия проволоки, фасонных профилей и раз­личных деталей, получаемых ковкой, штамповкой или прессованием. Эти сплавы делят на неупрочняемые тер­мообработкой и упрочняемые. К неупрочняемым относят сплавы алюминия с марганцем и магнием. Они обладают высокой коррозионной стойкостью, умеренной прочно­стью, высокой пластичностью, хорошо свариваются. Их применяют для изделий, эксплуатируемых в агрессивной среде, а также изготавливаемых путем глубокой штампов­ки: рам и кузовов, перегородок зданий, переборок судов, бензиновых баков и т. п. Их маркировка: АМц — сплавы алюминия с марганцем и АМг1,..., АМг7 — с магнием.

 Деформируемые сплавы, упрочняемые термообработ­кой, имеют наибольшую плотность (3 г/см3) и высокую прочность σВ до 700 МПа). Их применяют для изготовле­ния ответственных деталей. Наиболее распространенным сплавом этой группы является ***дуралюмин****.* Основным ком­понентом, упрочняющим дуралюмин, является медь (до 5 % ), в качестве дополнительных легирующих элементов используют магний (до 1 % ), марганец (до 2 %), титан и др.

 Термообработка дуралюмина заключается в закалке при температуре 450-590 °С, охлаждении в воде, а затем в выдержке при комнатной температуре в течении 4-5 сут. (естественное старение). Дуралюмин маркируют буквой Д и порядковым номером: Д1, Д16, Д18. В результате тер­мической обработки прочность повышается в два раза, а пластичность практически не меняется. Достоинством дуралюмина является высокая удельная прочность (от­ношение предела прочности к плотности), что особенно важно в самолетостроении. Например, из сплава марки Д16 делают обшивку, лонжероны самолетов, кузова ав­томашин и т. д. Недостатком дуралюминов является по­ниженная коррозионная стойкость, особенно по отноше­нию к межкристаллитной коррозии. Для повышения коррозионной стойкости листы дуралюмина плакируют техническим алюминием марок А7, А8.

 ***Высокопрочные сплавы алюминия***содержат кроме меди и магния дополнительно цинк (до 10 %). Эти сплавы мар­кируются буквой В (В95, В96). Подвергаются термо­обработке, аналогичной термообработке дуралюмина, но естественное старение заменяется искусственным старе­нием, заключающимся в выдержке при температуре 120— 140 °С в течение 16-24 ч. В результате предел прочности доходит до 600-700 МПа, что является наибольшим зна­чением для алюминиевых сплавов. Эти сплавы обладают меньшей пластичностью, большей чувствительностью к концентраторам напряжений, чем дуралумины. Данные сплавы можно использовать при температуре до 100-200 °С, так как они не являются жаропрочными. Применяются они для высокопагруженных деталей без концентраторов напряжений, работающих в условиях сжатия.

***Ковочные сплавы алюминия***предназначены для произ­водства деталей ковкой и штамповкой. Маркируются бук­вами АК и числом, показывающим порядковый номер. По химическому составу близки к дуралюмину (сплав АК1 совпадает по составу с Д1), иногда отличаясь более высо­ким содержанием кремния (АК6, АК8). Подвергаются ана­логичной термообработке. Ковочные сплавы характеризу­ются высокой пластичностью и трещиностойкостью при горячей обработке давлением. Ковку и штамповку деталей из этих сплавов производят при температуре 450-475 °С. ковочные сплавы хорошо обрабатываются резанием, удов­летворительно свариваются. Их недостатком является склонность к коррозии под напряжением и межкристаллитной коррозии. Для защиты от коррозии применяется анодирование или лакокрасочные покрытия.

 ***Коррозионностойкие сплавы повышенной пластично­сти* АВ (авиаль),** АД 31, АД 33 относятся к системе А1 -Мg - Si. Они упрочняются закалкой (520-530 °С) и ис­кусственным старением (160-170 °С, время выдержки 10-12 ч). Эти сплавы удовлетворительно свариваются, обрабатываются резанием в закаленном и состаренном состоянии. Авиаль АВ обладает наибольшей прочностью, но наименьшей коррозионной стойкостью (склонен к межкристаллитной коррозии). Сплавы АД 31 и АД 33 обладают большей коррозионной стойкостью, способны работать во влажной атмосфере и морской воде в интер­вале температур от -70 до +50 "С. Применяются данные сплавы для изготовления лопастей и кабин вертолетов, в судостроении, строительстве.

 К ***жаропрочным* алюминиевым сплавам** относятся и дуралюмины Д20, Д21, легированные дополнительно титаном, и сплав АК 4-1, легированный железом и ни­келем. Эти сплавы способны работать при температуре 300 °С, они хорошо деформируются в горячем состоянии, удовлетворительно свариваются, хорошо обрабатывают­ся резаньем. Для защиты от коррозии подвергаются ано­дированию и покрытию лакокрасочными материалами. Отличаются высокой износостойкостью. Сплав АК 4-1 используется для деталей реактивных двигателей.

***Сверхлегкие*** алюминиевые сплавы легируют литием, который имеет очень низкую плотность — 0,5 г/см3. При­менение этих сплавов позволяет снизить массу деталей, что особенно важно в самолето- и ракетостроении. Сплав

ВАД 23 относится к системе АI - Си - Li, а сплав 1420 — к системе А1 - Мg - Li. Эти сплавы упрочняются закал­кой и искусственным старением. По сравнению с дуралюмином Д16 сплав 1420 имеет пониженную на 11 % плотность и повышенный на 4 % модуль упругости. Это позволяет при его использовании снизить массу на 10-15 %. Сплав 1420 характеризуется коррозионной стойко­стью и хорошей свариваемостью.

 В настоящее время разработана технология получения вторичного алюминия путем переработки алюминиевых отходов. Вторичный алюминий по свойствам не уступа­ет первичному, но стоимость его намного ниже. При по­лучении вторичного алюминия резко сокращается расход электроэнергии, уменьшаются капиталовложения, в не­сколько раз уменьшаются выбросы в атмосферу. Литей­ные сплавы из вторичного алюминия используют для изготовления деталей малолитражных автомобилей.

**Лекция**

**Тема: Медь и ее сплавы**

**Вопросы**

**1. Общие сведения**

**2. Латуни**

**3. Бронзы**

**1. Общие сведения**

 По применению в промышленности медь занимает среди цветных металлов второе место после алюминия. Это объясняется ее высокими **тепло- и электропроводностью, пластичностью.** **Медь хорошо обрабатывается давлением в холодном и горячем состоянии, у нее повы­шенная коррозионная стойкость**. Содержание меди в ру­дах невелико — от 0,5 до 5 % , поэтому руду обогащают. Чистая медь имеет розовато-красный цвет, плотность ее 8,93 г/см3, температура плавления 1083 °С. В ото­жженном состоянии *σв=* 250 МПа, δ = 45-60 %, твер­дость 60 НВ. Кристаллизуется в кубической гранецентрированной решетке и полиморфных превращений не имеет.

 Благодаря высокой электропроводности около половины всей произведенной меди используют в элек­тро- и радиотехнической промышленности для изготов­ления проводников, монтажных и обмоточных прово­дов, токопроводящих деталей приборов, аппаратов, в электровакуумной технике. Как конструкционный ма­териал медь не используется из-за высокой стоимости и низких механических свойств. Маркируется буквой М и цифрами, зависящими от содержания примесей (М00 (0,01 % примесей), МО (0,05 % ) и М1 (0,1 %), М2(0,3%),. Широкое использование в промышленности имеют сплавы меди с другими элемен­тами — латуни и бронзы.

**Латуни**

 **Сплав меди с цинком называется латунью**. Механические свойства латуни — прочность и пластич­ность *—* выше, чем у меди, она хорошо обрабатывается реза­нием, давлением, характеризуется высокими коррозионной стойкостью, теплопроводностью, электропроводностью. Большим преимуществом латуней является сравнительно низкая их стоимость, так как входящий в состав сплава цинк значительно дешевле меди. Максимальную прочность имеет латунь, содержащая 45 % цинка, ее σВ= 350 МПа, а максимальную пластичность — латунь, содержащая 32 % цинка, ее δ = 55 *% .* При увеличении содержания цинка выше 39 % резко падает пластичность, а выше 45 *%* и прочность. Поэтому латуни, содержащие более 45 % цин­ка, не применяются.

 По **химическому составу** различают простую (двой­ную) латунь, в которой содержатся только медь и цинк, и сложную (специальную), в которой кроме цинка со­держатся легирующие элементы: никель, свинец, олово, кремний и др. Специальная латунь отличается повышен­ной прочностью, лучшими антикоррозионными и техно­логическими свойствами.

 По технологическому призна­ку латуни делятся на **литейные** и **деформируемые** (обра­батываемые давлением).

Латуни маркируются буквой Л. В **деформируемых латунях** указывается содержание меди и легирующих эле­ментов, которые обозначаются соответствующими буква­ми (О -- олово, А — алюминий, К — кремний, Н — никель, Мц — марганец, Ж — железо, С — свинец.). Содержание элементов дается в процентах после всех буквенных обо­значений. Например, латунь Л63 содержит 63 % меди и 37 % цинка. Латунь ЛАЖ 60-1-1 содержит 60 % меди, 1 % алюминия, 1 % железа и 38 % цинка. В марках **литейных латуней** указывается содержание цинка, а количество ле­гирующих элементов (в %) ставится после букв, их обозна­чающих. Например, литейная латунь ЛЦ40МцЗА содер­жит 40 % цинка, 3 *%* марганца, менее 1 % алюминия и 56 % меди. Простые латуни выпускают следующих марок: Л96, Л90, Л85, Л70, Л68, Л63, Л60. Все они являются деформи­руемыми, а по структуре однофазными (кроме Л60). Наи­большее применение имеют латуни, содержащие 90,80,70 и 68 % меди. Латуни, содержащие до 15 % цинка Л90, Л 85, называют ***томпаком,***они имеют цвет золота и применяют­ся для изготовления украшений. Обрабатываемые давле­нием латуни марок Л68 и Л70 используют для производ­ства патронных гильз, Л90 и Л85 - лент, труб, радиаторов. Для обработки давлением применяют также специальные латуни марок ЛА77-2, ЛН 65-5, ЛО70--1 для производства труб, проволоки, поковок.

 Специальные литейные латуни применяют для изго­товления втулок, подшипников (например латунь марки ЛЦ40АЖ), литых деталей судовой арматуры, подверга­ющейся действию морской воды (ЛЦ16К4), для корро­зионно-стойких деталей в машиностроении используют латунь ЛЦ30АЗ и др.

**Бронзы.**

 **Сплав меди с оловом, алюминием, свинцом и другими элементами,** среди **которых цинк и никель не являются основными, называют бронзой**. По основному легирующему элементу бронзы делятся на оловянные, алюминиевые, кремнистые, бериллиевые, свинцовые и др. Бронзы обладают хорошими литейными свойствами, хорошо обрабатываются давлением и резанием. Боль­шинство бронз отличаются высокой коррозионной стой­костью и, кроме того, широко используются как анти­фрикционные сплавы.

 По технологическому признаку бронзы делят на **де­формируемые** и **литейные.** Маркируются бронзы буква­ми Бр, за которыми показывается содержание легирую­щих элементов в *%.* Обозначения легирующих элементов и отличия в марках деформируемых и литейных сплавов у бронз такие же, как у латуней. Например, деформируе­мая бронза БрОФ 6,5-0,4 содержит 6.5 *%* олова и 0,4 % фосфора, а литейная бронза БрОЗЦ7С5Н — 3 % олова, 7 % цинка, 5 % свинца, менее 1 % никеля.

 Особенно широкое применение в машиностроении имеют ***оловянные бронзы.***Они обладают высокими меха­ническими и антифрикционными свойствами, коррозионной стойко­стью, хорошо отливаются и обрабатываются резанием.

 Деформируемые оловянные бронзы обладают высо­кой пластичностью и упругостью. Из них изготовляют прутки, трубы, ленты. Бронзу БрОФ65-1,5 применяют для изготовления пружин, мембран, антифрикционных дета­лей; БрОЦ4-3, БрОЦС4-4-2,5 для производства плоских и круглых пружин, антифрикционных деталей.

 Олово — дорогостоящий и дефицитный материал, по­этому стремятся использовать безоловянные бронзы, которые состоят из меди с алюминием или кремнием, бериллием, свинцом, железом и др.

**Медно-никелевые сплавы.**

 К медно-никелевым спла­вам относятся сплавы на основе меди, в которых основ­ным легирующим элементом является никель, они мар­кируются буквой М, за которой следует обозначение и содержание легирующих элементов как в деформируе­мых латунях и бронзах. Легирование меди никелем зна­чительно повышает её механические свойства и коррози­онную стойкость.

***Мельхиоры.***МНЖМц30-1-1, МН19 характеризуются высокой коррозионной стойкостью в атмосфере, пресной и морской воде, растворах солей, органических кислотах. Они хорошо обрабатываются давлением в холодном и горячем состоянии. Применяются в морском судострое­нии, в химической промышленности, для изготовления хирургического инструмента..

Сплавы на основе системы Си - Ni - Zn называются ***нейзильберами*****(МНЦ** 15- 20, **МНЦС** 16-29-1,8). Легирова­ние цинком приводит к повышению механических свойств и удешевлению медно-никелевых сплавов, а также дела­ет их внешне похожими на серебро. Свинец вводится в нейзильберы для улучшения обрабатываемости резани­ем. Нейзильберы характеризуются высокой коррозион­ной стойкостью. Они применяются в приборостроении, в медицине, в быту.

 Сплавы системы Си - Ni -А1 называются ***куниалями.***Они характеризуются высокими механическими свой­ствами, упругостью, коррозионной стойкостью. Куниаль A марки МНА 13-3 ис­пользуется для изделий повышенной прочности, а куни­аль марки Б - МНА 6-1,5 — для ответственных пружин и в электротехнической промышленности.

К медно-никелевым также относятся сплавы повы­шенного электрического сопротивления.

 К медно-никелевым спла­вам относятся сплавы на основе меди, в которых основ­ным легирующим элементом является никель, они мар­кируются буквой М, за которой следует обозначение и содержание легирующих элементов как в деформируе­мых латунях и бронзах. Легирование меди никелем зна­чительно повышает её механические свойства и коррози­онную стойкость.

***Мельхиоры.***МНЖМц30-1-1, МН19 характеризуются высокой коррозионной стойкостью в атмосфере, пресной и морской воде, растворах солей, органических кислотах. Они хорошо обрабатываются давлением в холодном и горячем состоянии. Применяются в морском судострое­нии, в химической промышленности, для изготовления хирургического инструмента..

Сплавы на основе системы Си - Ni - Zn называются ***нейзильберами*****(МНЦ** 15- 20, **МНЦС** 16-29-1,8). Легирова­ние цинком приводит к повышению механических свойств и удешевлению медно-никелевых сплавов, а также дела­ет их внешне похожими на серебро. Свинец вводится в нейзильберы для улучшения обрабатываемости резани­ем. Нейзильберы характеризуются высокой коррозион­ной стойкостью. Они применяются в приборостроении, в медицине, в быту.

 Сплавы системы Си - № -- А1 называются ***куниалями.***Они характеризуются высокими механическими свой­ствами, упругостью, коррозионной стойкостью. Куниаль А марки МНА 13-3 ис­пользуется для изделий повышенной прочности, а куни­аль марки Б - МНА 6-1,5 — для ответственных пружин и в электротехнической промышленности.

К медно-никелевым также относятся сплавы повы­шенного электрического сопротивления.

 К медно-никелевым спла­вам относятся сплавы на основе меди, в которых основ­ным легирующим элементом является никель, они мар­кируются буквой М, за которой следует обозначение и содержание легирующих элементов как в деформируе­мых латунях и бронзах. Легирование меди никелем зна­чительно повышает её механические свойства и коррози­онную стойкость.

***Мельхиоры.***МНЖМц30-1-1, МН19 характеризуются высокой коррозионной стойкостью в атмосфере, пресной и морской воде, растворах солей, органических кислотах. Они хорошо обрабатываются давлением в холодном и горячем состоянии. Применяются в морском судострое­нии, в химической промышленности, для изготовления хирургического инструмента..

Сплавы на основе системы Си - Ni - Zn называются ***нейзильберами*****(МНЦ** 15- 20, **МНЦС** 16-29-1,8). Легирова­ние цинком приводит к повышению механических свойств и удешевлению медно-никелевых сплавов, а также дела­ет их внешне похожими на серебро. Свинец вводится в нейзильберы для улучшения обрабатываемости резани­ем. Нейзильберы характеризуются высокой коррозион­ной стойкостью. Они применяются в приборостроении, в медицине, в быту.

 Сплавы системы Си - № -- А1 называются ***куниалями.***Они характеризуются высокими механическими свой­ствами, упругостью, коррозионной стойкостью. Куниаль А марки МНА 13-3 ис­пользуется для изделий повышенной прочности, а куни­аль марки Б - МНА 6-1,5 — для ответственных пружин и в электротехнической промышленности.

К медно-никелевым также относятся сплавы повы­шенного электрического сопротивления.

**Лекция: Диаграмма состояния железо-цементит**

**1. Основные понятия теории сплавов**

**Под сплавом понимают металлическое вещество, полученное сплавлением двух или более элементов. Вещества из которых об­разован сплав, называются компонентами.** При кристаллизации сплавов могут образовываться следующие типы соединений: ме­ханические смеси, твердые растворы, химические соединения.

**Механические смеси** образуют компоненты с большим разли­чием атомных диаметров, не способные к взаимному растворе­нию в твердом состоянии и не вступающие в химическую реак­цию с образованием соединения. При этом каждый из компонентов сохраняет свой тип кристаллической решетки. Меха­нические свойства смесей зависят от ко­личественного соотношения компонен­тов, от размеров и формы зерен.

**Твердые растворы** (рис. 1) характери­зуются тем, что один компонент (раство­ритель) сохраняет свою кристаллическую решетку, а другой ( растворимый ) — от­дает свои атомы в решетку растворителя. Например, компонент **В**растворился в ком­поненте **А***.* Свойства твердого раствора от­личаются от свойств компонентов его об­разующих.

Существуют твердые растворы внедре­ния и твердые растворы замещения. При образовании **твердых растворов внедрения** атомы растворенного компонента ***В***разме­щаются между атомами растворителя ***А***в его кристаллической решетке (рис.1,б). При образовании **твердых растворов** **замещения** атомы растворенного компонента В замещают часть атомов растворителя (компонент А) в его кристаллической решетке (рис.1, а).

Поскольку размеры растворенных ато­мов отличаются от размеров атомов раство­рителя, то образование твердого раствора сопровождается искажением кристалли­ческой решетки растворителя (рис. 2).

Твердые растворы замещения могут быть с ограниченной и неограниченной ра­створимостью. В твердых растворах с огра­ниченной растворимостью концентрация растворенного компонента возможна до определенных пределов.

В твердых растворах с неограниченной растворимостью возможна любая концен­трация растворенного компонента (от 0 до 100%).

 Как правило, об­разуются твердые растворы с ограничен­ной растворимостью.

**Химические** соединения имеют следующие особенности: совер­шенно новую кристаллическую решетку, отличную от решеток элементов его образующих; свойства соединения резко отличаются от свойств элементов (высокая твердость и хрупкость); постоян­ный состав; подчиняются законам валентности и выражаются фор­мулой Аn Вm,где nи m— взаимно простые целые числа.

 

 Рис.1 Рис.2

**Системой называют** совокупность фаз, находящихся в равновесии при определенных внешних условиях (температуре, давлении). Система может быть простой, если она состоит из одного компонента, и сложной, если она состоит из нескольких компонентов.

**Фазой** называют однородную по химическому составу, кристаллическому строению и свойствам часть системы, отделенную от других частей системы поверхностью раздела. Фазами могут быть металлы и неметаллы, жидкие и твердые растворы, химические соединения. Однородной системой является, например, однородная жидкость, двухфазной – механическая смесь двух видов кристаллов.

**2. Диаграмма состояния железо-цементит**

. Для изу­чения структурных составляющих железоуглеродистых сплавов рас­смотрим диаграмму железо — цементит (рис. 3).

По диаграмме можно определить структуру сплавов как после медленного охлаждения, так и после нагрева. Согласно диаграмме состояния для железоуглеродистых сплавов характерны следующие фазовые и структурные составляющие.

**Однофазные составляющие. Феррит** — твердый раствор углеро­да в α-железе — Fеа(С). Максимальная растворимость углерода в феррите около 0,006% при 20°С и 0,02% при 7270 С. Кристалличес­кая решетка — объемноцентрированный куб. Феррит —- твердый раствор внедрения: атомы углерода располагаются в междоузлиях решетки железа α. Феррит магнитен и весьма пластичен. Твердость феррита 80-100НВ.

**Аустенит** — твердый раствор углерода в γ-железе — Fеᵞ (С). Мак­симальная растворимость углерода в аустените при 1147 0С равна 2,14%. Кристаллическая решетка — гранецентрированный куб. Аус­тенит — твердый раствор внедрения. Аустенит немагнитен и обла­дает меньшим удельным объемом, чем феррит. Твердость аустенита около 200НВ.

**Цементит** — химическое соединение железа с угле­родом — Fе3С. Цементит имеет сложную (ромбичес­кую) кристаллическую ре­шетку, очень высокую твердость, весьма хрупок.

**Двухфазные структуры.** Перлит (эвтектоид) пред­ставляет собой смесь фер­рита и цементита. Перлит образуется при медленном

охлаждении из аустенита при температуре 727°С и содержит 0,8% углерода.

В зависимости от формы частиц цементита перлит может быть пластинчатым или зернистым, его твердость, соответственно 200— 220НВ.

**Ледебурит** (эвтектика) — смесь аустенита и цементита свыше 7270 С, и цементита и перлита ниже 7270С. Ледебу­рит образуется при кристаллизации жидкого раствора постоянного состава (4,3%С) при температуре 1147 °С. Ледебурит имеет очень высокую твердость (800НV), очень хрупок.

Температура Тn начала первичной кристаллизации, при которой образуются зародыши твердой фазы, называется температурой **ликвидус***,* а температура конца первичной кристаллизации Тs при которой исчезают после­дние капли жидкости, — температурой **солидус.**

В зависимости от содержания углерода железоуглеродистые спла­вы подразделяются на стали и чугуны.

**Сталями**называются железоуглеродистые сплавы, содержание углерода в которых не превышает 2,14%. Стали с содержанием уг­лерода до 0,8% называются **доэвтектоидными,** 0,8% — **эвтектоидными** и больше 0,8% — **заэвтектоидными**.

**Чугунами**называются сплавы железа с углеродом, содержащие углерода более 2,14%. Чугуны, содержащие менее 4,3% углерода, называются **доэвтектическими**, содержащие 4,3% — эвтектически­ми и содержащие более 4,3% — **заэвтектическими.**

Первичная кристаллизация сплавов системы железо — углерод начинается по достижении температур, соответствующих линии АСD(линия ликвидус), и заканчивается при температурах, обра­зующих линию АЕСF (линия солидус).

При температурах, соответствующих линии **АС***,* из жидкого ра­створа кристаллизуется аустенит. В сплавах, содержащих от 4,3% до 6,67% углерода, при температурах, соответствующих линии СD начинают выделяться кристаллы цементита первичного. Цементит, кристаллизующийся из жидкой фазы, называется **первичным**.

В точке С при температуре 1147 °С и концентрации углерода в жидком растворе 4,3% образуется эвтектика, которая называется ледебуритом. Процесс первичной кристаллизации чугунов закан­чивается по линии AЕСFобразованием ледебурита.

Таким образом, структура чугунов чуть ниже 1147 °С будет: до-эвтектических — аустенит + ледебурит, эвтектических — ледебу­рит и заэвтектических — цементит (первичный) + ледебурит.

Превращения, происходящие в твердом состоянии, называют­ся вторичной кристаллизацией. Они связаны с переходом при ох­лаждении γ-железа в α-железо и распадом аустенита.

Линия GSсоответствует температурам начала превращения аус­тенита в феррит. Ниже линии GS сплавы состоят из феррита и аус­тенита.

Линия ЕSпоказывает температуру начала выделения цементита из аустенита вследствие уменьшения растворимости углерода в аустените с понижением температуры. Цементит, выделяющийся из аустенита, называется вторичным цементитом.

В точке S при температуре 727 0С и концентрации углерода в aустените 0,8% образуется эвтектоидная смесь, состоящая из фер­рита и цементита, которая называется перлитом. Перлит получает­ся в результате одновременного выпадения из аустенита частиц фер­рита и цементита.

Точка P соответствует максимальной растворимости углерода в α-железе при температуре 727 °С; она составляет 0,02%С.

Линия РQпоказывает на уменьшение растворимости углерода в феррите при охлаждении и выделении цементита, который называется третичным цементитом.

Следовательно, сплавы, содержащие менее 0,006% углерода (точ­ка Q),являются однофазными и имеют структуру чистого феррита, а сплавы, содержащие углерод от 0,006% до 0,02%, состоят из феррита и

цементита третичного и называются **техническим железом**.

**Доэвтектоидные стали** при температуре ниже 7270С имеют структуру феррит + перлит, эвтектоидные – перлит и заэвтектоидные – перлит + цементит.

В **доэвтектических чугунах**в интервале температур 1147—727°С при охлаждении из аустенита выделяется цементит вторич­ный, вследствие уменьшения растворимо­сти углерода (линия SE*)* аустенит, обед­ненный углеродом до 0,8% (точка S),пре­вращается в перлит.

При этом превращение претерпевает как структурно свободный аустенит, так и входящий в ледебурит, т.е. происходит пре­вращение ледебурита аустенитового в ле­дебурит перлитовый. Таким образом, пос­ле окончательного охлаждения структура доэвтектических чугунов состоит из цемен­тита вторичного, перлита и ледебурита перлитового.

Структура эвтектических чугунов при температуре ниже 727 °С состоит только из ледебурита перлитового.

 Структура заэвтектических чугунов при температуре ниже 727 °С состоит из ледебурита перлитового и цементита первичного*.*



Рис.3

**Лекция**

**Тема 1.2 Строение и свойства металлов, методы их**

**испытаний**

**Вопросы**

 **1.Кристаллическое строение металлов**

 **2. Анизотропия. Аллотропия (полиморфизм)**

 **3. Кристаллизация металлов**

**4. Аллотропические видоизменения железа**

 **5. Реальное строение металлических кристаллов**

**1.Кристаллическое строение металлов**

Твердые вещества по взаимному расположению атомов делят на аморфные и кристаллические**. *Аморфными***называют твердые веще­ства, атомы которых располагаются в пространстве хао­тично. При нагревании они размягчаются и переходят в жидкое состояние в широком интервале температур и на кривой нагрева (на штриховой на рис.1) не выражен этот переход. К таким веществам относят стекло, смолу, ка­нифоль, клей и др.

***Кристаллическими***называют твердые вещества, в ко­торых атомы расположены в пространстве в строго опре­деленном порядке. Эти вещества при нагреве остаются в твердом состоянии и переходят в жидкое при определенной температуре (рис.1, сплошная линия).

 

Рис.1

Все металлы являются кристалличес­кими веществами. Для описания кристаллической струк­туры металлов пользуются понятием

кристаллической решетки. **Кристаллическая решетка** - это воображаемая пространственная сетка, в узлах которой расположены атомы. Наименьшая часть кристаллической решетки, определяющая структуру металла, называется **элемен­тарной кристаллической ячейкой**.Элементарная ячейка повторяется во всех трех измерениях и полностью харак­теризует структуру кристалла. На рис. 2 изображены элементарные ячейки для наиболее распространенных кристаллических решеток, которые имеют металлы:

 

Рис.2.Пространственные кристаллические решетки:

а) кубическая объемно-центрированная; б) кубическая гранецентрированная: в) гексагональная плотноупакованная.

**2. Анизотропия. Аллотропия (полиморфизм)**

 В отдельно взятом кристалле свойства различны в разных направлениях.

Если взять большой кристалл ( существуют методы выращивания крупных кристаллов), вырезать из него несколько одинаковых по размеру, но различно ориентированных образцов и испытать их свойства, можно иногда наблюдать значительную разницу в свойствах отдельных образцов. Например, при испытании различных образцов из кри­сталла меди относительное удлинение изменяется от 10 до 55 %, а предел прочности -от 140 до 350 МПа. Это свойство кристаллов называют **анизотропностью.**

Анизотропность кристаллов определяется характером расположения атомов в кристаллической ре­шетке.

Аморфные тела **изотропны,**т. е. все их свойства одинаковы во всех направлениях; излом аморфного тела всегда имеет неправиль­ную, искривленную, так называемую раковистую форму.

Металлы, затвердевшие в обычных условиях, состоят из множе­ства кристаллов, кристаллическая решетка которых по-разному ориентирована, поэтому свойства литого металла приблизительно одинаковы по всем направлениям; это называют **квазиизотропностью***.*

**Аллотропия металлов**. Аллотропия металлов (или полиморфизм)-свойство перестраивать решетку при определенных температурах в процессе нагрева и охлаждения - присуща многим металлам (железу, марганцу, никелю, олову, титану, ванадию и др.). Каждое аллотропическое превращение происходит при определенной тем­пературе (например, одно из превращений железа происходит при температуре 911о С, ниже которой! атомы составляют решетку цен­трированного куба, а выше — решетку гранецентрированного куба).

Структура, имеющая ту или иную решетку, называется **алло­тропической формой**или **модификацией***.* Различные модификации обозначают греческими буквами α, β, γ и т. д., причем буквой α обозначают модификацию, существующую при температурах ниже первого аллотропического превращения. Аллотропические превра­щения сопровождаются отдачей (уменьшением) или поглощением (увеличением) энергии.

**3. Кристаллизация металлов**

 **Кристаллизацией** называется образо­вание кристаллов в металлах и сплавах при переходе из жидкого состояния в твердое **(первичная****кристаллизация),**а также пере­кристаллизация в твердом состоянии **(вторичная кристаллизация)**при их охлаждении.

 Превращения, связанные с кристаллизацией, в значительной степени определяют свойства металлов. Впервые процессы кристаллизации были изучены в 1878 г**. Д. К. Черновым.** Сущность крис­таллизации состоит в следующем: в жидком металле ато­мы непрерывно движутся, по мере понижения темпера­туры движение замедляется, атомы сближаются и груп­пируются в кристаллы, которые называют **центрами кри­сталлизации**. Далее к этим центрам присоединяются вновь образующиеся кристаллы. Одновременно появляются но­вые центры. Таким образом, кристаллизация состоит из **двух стадий**: образования центров кристаллизации и ро­ста кристаллов вокруг этих центров.



Рис.3

На рис. 3 показан механизм кристаллизации. Первона­чально рост кристаллов не встречает препятствий (рис. 3, а - в)и они сохраняют правильность строения решетки. При дальнейшем росте кристаллы сталкиваются (рис. 3, г - е) и образовавшиеся группы кристаллы имеют уже непра­вильную форму, но сохраняют правильность решетки внутри каждого кристалла. Такие кристаллы называют **зернами** или **кристаллитами** На рис. 3, еприведены границы зерен различных размеров.

**4. Аллотропические видоизменения железа**

Важное значение в технике имеют полиморфные превра­щения в железе. На рис. 4 представлена кривая охлаждения чистого железа от расплавленного состояния до комнатной температуры. До температуры 1539о С железо остается жидким. При температуре 1539 °С начинается кристаллизация и образуется α-железо, имеющее кубическую объемно-цент­рированную решетку; между температурами 1392 и 911о С происходит перестройка этой решетки в новую модифика­цию — γ-железо с образованием кубической гранецентрированной решетки. Ниже температуры 911 °С железо перехо­дит в новую форму — α-железо с кубической объемно-цент­рированной решеткой. При температуре 768 °С происходит последняя температурная остановка с образованием маг­нитной формы α-железа, в которой сохраняется объемно-цен­трированная решетка. Магнитное превращение при 768 °С не является полиморфным, так как при нем не происходит из­менения кристаллической решетки.



Рис.4

**5. Реальное строение металлических кристаллов**

Реальный ме­таллический кристалл всегда имеет большое количество дефектов кристаллического строения, которые нарушают периодичность расположения атомов в кристаллической решетке. Дефекты оказывают значительное влияние на свойства металла. По геометрическим признакам они под­разделяются на точечные, линейные и поверхностные.

**Точечные дефекты**малы во всех трех измерениях. Их величина не превышает нескольких атомных диаметров. К точечным дефектам относятся

**вакансии**, представляю­щие собой узлы кристаллической решетки в которых от­сутствуют атомы (рис. 5,а), а также **замещенные атомы**

примеси (рис. 5,б) и **внедренные атомы**(рис. 5,в), ко­торые могут быть как примесными, так и атомами основ­ного металла. Точечные дефекты вызывают местные ис­кажения кристаллической решетки, которые затухают достаточно быстро по мере удаления от дефекта. Точеч­ные дефекты появляются чаше всего вследствие тепло­вых колебаний атомов. Некоторые атомы, обладающие повышенной энергией, при этих колебаниях перемещают­ся из одного места в другое, создавая вакансии и внедрен­ные атомы. Поскольку амплитуда колебаний атомов силь­но увеличивается с повышением температуры, концент­рация точечных дефектов значительно повышается при нагреве, особенно вблизи температуры плавления. Точеч­ные дефекты не являются неподвижными, они непрерыв­но перемещаются в кристаллической решетке.

**Линейные дефекты** имеют малые размеры в двух измере­ниях и большую протяженность в третьем. Эти дефекты на­зывают **дислокациями.**Краевая дислокация (рис. 6) пред­ставляет собой искажение кристаллической решетки, вы­званное наличием «лишней» атомной полуплоскости (экстраплоскости). Край экстроплоскости, перпендикуляр­ный направлению сдвига, и является краевой дислокацией. Линия дислокации перпендикулярна

плоскости рис.6.



 Рис.5



 Рис.6



Рис.7

Кроме краевых встречаются **винтовые дислокации**, которые вызываются сдвигом на одно межатомное расстояние одной части кристаллической решетки относительно другой по какой-нибудь плоскости π под действием внешних касатель­ных сил Р (рис. 7). Вокруг линии АВ, которая является ли­нией дислокации, атомные плоскости закручены по винто­вой поверхности.

Длина дислокации достигает многих тысяч атомных диаметров, а ширина составляет несколько атомных ди­аметров. Под **плотностью****дислокаций**понимают суммар­ную длину дислокаций, приходящуюся на единицу объе­ма кристалла. Поэтому размерность плотности дислока­ций — см2. Дислокации присутствуют в металлических кристаллах в очень большом количестве, их плотность составляет 106-1012 см 2.

Так как атомы в зоне дислокаций смещены относи­тельно их равновесного состояния, кристаллическая ре­шетка в этой зоне упруго искажена. Атомы, образующие дислокацию, стремятся переместиться в равновесное со­стояние. Поэтому дислокации обладают легкой подвиж­ностью и способностью к размножению. Образуются дис­локации в процессе кристаллизации металла, при пластической деформации, термической обработке и некото­рых других процессах.

**Поверхностные дефекты**малы только в одном изме­рении. Чаще всего это граница раздела двух различно ориентированных участков кристаллической решетки. На этой границе нарушается правильное расположение атомов. Помимо этого, на границах скапливаются линей­ные и точечные дефекты, концентрируются примеси. Граница представляет собой переходную зону шириной в несколько атомных расстояний.

Кроме перечисленных в металле имеются макроскопи­ческие **объемные**дефекты. К ним относятся поры, трещи­ны, газовые пузыри, неметаллические включения и т. д.

**Тема. Инструментальные материалы**

**Вопросы**

**1. Углеродистые инструментальные стали**

**2. Низколегированные инструментальные стали**

**3. Быстрорежущие стали**

**4. Металлокерамические твердые сплавы**

 **1. Углеродистые инструментальные стали**

По назначению инструментальные стали делятся на стали для режущего, измерительного и штампового ин­струмента. Кроме сталей, для изготовления режущего инструмента применяются металлокерамические твер­дые сплавы и минералокерамические материалы. Режу­щий инструмент работает в сложных условиях, подвержен интенсивному износу, при работе часто разогревается. Поэтому материал для изготовления режущего инстру­мента должен обладать высокой твердостью, износостой­костью и теплостойкостью. **Теплостойкость**— это спо­собность материалов сохранять высокую твердость и режущие свой­ства при длительном нагреве.

**Углеродистые инструментальные стали** содержат 0,7-1,3 % углерода. Они маркируются буквой У и циф­рой, показывающих содержание углерода в десятых до­лях процента (У7, У8, У9,... У13). Буква А в конце марки показывает, что сталь высококачественная (У7А, У8А,... У13А). Твердость качественных и высококачественных сталей одинакова, но высококачественные стали менее хрупки, лучше противостоят ударным нагрузкам, дают при закалке меньше брака. Предварительная термообработка углеродистых инст­рументальных сталей - отжиг на зернистый перлит, окон­чательная — закалка в воде или растворе соли и низкий отпуск. После этого структура стали представляет собой мартенсит с включениями зернистого цементита. Твер­дость после термообработки в зависимости от марки ле­жит в интервале НRС 56-64.

Для углеродистых инструментальных сталей харак­терны низкая теплостойкость (до 200 °С) и низкая прокаливаемость (до 10-12 мм). Однако вязкая незакален­ная сердцевина повышает устойчивость инструмента против поломок при вибрациях и ударах. Кроме того, эти стали достаточно дешевы и в незакаленном состоянии сами хорошо обрабатываются.

Ниже приведена область применения инструменталь­ных углеродистых сталей различных марок.

Стали У7, У7А — для инструментов и изделий, подвер­гающихся толчкам и ударам и требующих высокой вяз­кости при умеренной твердости (зубила, слесарные и кузнечные молотки, штампы, клейма, масштабные линей­ки, инструменты по дереву, центры токарных станков и т. д.).

СталиУ8, У8А — /для и нструментов и изделий, требующих новы шейной твердости и достаточной вязкости (зубила, кер­неры, матрицы, пуансоны, ножницы но металлу, отвертки, столярный инструмент, буры средней твердости).

Стали У9, У9А -- для инструментов, требующих вы­сокой твердости при наличии некоторой вязкости (кер­неры, штемпели, зубила по каменным породам и столяр­ный инструмент).

Стали У10, У 10А - для инструментов, не подвергаю­щихся сильным толчкам и ударам, требующих высокой твердости при незначительной вязкости (строгальные резцы, фрезы, метчики, развертки, плашки, буры по ка­менным породам, ножовочные полотна, зубила для насеч­ки напильников, волочильные кольца, калибры, напиль­ники, гребенки).

Стали У11, У 11А, У12, У12А- для инструментов, тре­бующих высокой твердости (напильники, фрезы, сверла, бритвы, плашки, часовой инструмент, хирургический ин­струмент, пилы по метал.лу, метчики).

Слали У13, У1.3Л —для инструментов, которые долж­ны иметь исключительно высокую твердость (бритвы, шаберы, волочильный инструмент, сверла, зубила для насечки напильников).

Стали У8 - У12 применяются также для измеритель­ного инструмента.

**2. Низколегированные инструментальные стали**

Низколегированные инструментальные стали содер­жат в сумме около 1-3 % легирующих элементов. Они обладают повышенной по сравнению с углеродистыми сталями прокаливаемостыо, но теплостойкость их неве­лика — до 3000С. Основные легирующие элементы - хром, кремний, вольфрам, ванадий. Маркируются эти стали так же, как конструкционные, но содержание угле­рода дается в десятых долях процента. Если первая циф­ра в марке отсутствует, то содержание углерода превыша­ет 1 %. Например 9ХС, ХВГ, ХВ5.

Термообработка низколегированных инструменталь­ных сталей — закалка в масле и отпуск при температуре 150 - 2000С. При этом обычно достигается сквозная прокаливаемость. Твердость после термообработки состав­ляет НRС 62-64.

Благодаря большей прокаливаемости и закалке в мас­ле, что уменьшает деформацию и коробление инструмен­та, низколегированные стали используются для изготов­ления инструмента большой длины и крупного сечения например сверл, разверток, протяжек диаметром до 60 мм. Применяются для ручного инструмента по металлу и измерительного инструмента

**3. Быстрорежущие стали**

Быстрорежущие стали предназначены для работы при высоких скоростях резания. Главное их достоин­ство — высокая теплостойкость (до 650 °С). Это достига­ется за счет большого количества легирующих элемен­тов — вольфрама, хрома, молибдена, ванадия, кобальта. Маркируются быстрорежущие стали буквой Р, число после которой показывает среднее содержание вольфра­ма в процентах. Далее идут обозначения и содержание других легирующих элементов. Содержание углерода во всех быстрорежущих сталях приблизительно 1 %, а хро­ма 4 %. Поэтому эти элементы в марке не указываются, например Р18, Р9, Р6М5, Р6М5Ф2К8.

Термообработка быстрорежущих сталей заключается в закалке от высоких температур (1200-1300 °С) в масле и трехкратном отпуске при 550-570 0С. Высокая температу­ра закалки необходима для наиболее полного растворения карбидов и получения высоколегированного аустенита, что обеспечивает получение после закалки мартенсита, обладающего высокой теплостойкостью. Во избежание образования трещин и коробления из-за низкой теплопро­водности быстрорежущих сталей нагрев ведется с темпе­ратурными остановами при 450 °С и при 850 °С. Трех­кратный отпуск применяется для того, чтобы избавить­ся от остаточного аустенита, который присутствует после закалки в количестве приблизительно 30 % и снижает режущие свойства. Другим способом избавления от оста­точного аустенита является обработка холодом при -80 0С, производимая непосредственно после закалки. При этом продолжается мартенситное превращение. После обработ­ки холодом следует однократный отпуск при 550-570 °С. После термообработки сталь имеет мартенситную структуру с карбидными включениями. Твердость после тер­мообработки составляет НRС 64-65.

Быстрорежущие стали применяются для изготовле­ния инструмента, используемого при обработке металла на металлорежущих станках (резцы, фрезы, сверла). Для экономии дорогих быстрорежущих сталей режущий ин­струмент часто изготавливается сборным или сварным. Рабочую часть из быстрорежущей стали приваривают к основной части инструмента из конструкционной стали.

**4. Металлокерамические твердые сплавы**

Металлокерамические твердые сплавы представляют собой спеченные порошковые материалы, основой которых служат карбиды тугоплавких металлов, а связующим — ко­бальт. Их теплостойкость доходит до 900-1000 °С, а твер­дость НRА 82-92. Скорость резания твердыми сплавами в 2-3 раза выше скорости резания быстрорежущими сталями.

Твердые сплавы делятся на три группы. **Вольфрамовые** изготовляются на основе карбида вольфрама и кобальта, содержащегося в количестве от 3 до 15 *%.* Маркируются буквами ВК и цифрой, показывающей содержание кобаль­та в процентах (ВК2, ВК6, ВК10). Чем выше содержание кобальта, тем выше вязкость сплава. На свойства сплавов влияет размер зерна карбидов. С уменьшением размера зерна возрастает износостойкость, но несколько снижает­ся прочность. В обозначениях марки сплава с мелким зер­ном добавляется буква М (ВКЗ-М, ВК6-М). Вольфрамо­вые сплавы используются при обработке чугунов, сплавов высокой хрупкости, неметаллических материалов.

**Титановолъфрамовые**твердые сплавы содержат до­полнительно карбид титана. Они маркируются буквами Т, К и цифрами. После буквы Т указывается содержание карбида титана в процентах, а после буквы К — кобальта (Т15К10, Т15К6). По сравнению с вольфрамовыми эти сплавы обладают большей твердостью и теплостойко­стью, но меньшей теплопроводностью и вязкостью. Теплостойкость повышается с увеличением содержания кар­бидов гитана. Эти сплавы применяются для высокоско­ростной обработки сталей.

**Титанотанталовольфрамовые стали**содержат допол­нительно карбид тантала. Маркируются буквами ТТ, пос­ле которых указывается суммарное содержание карбидов титана и тантала в процентах, и буквой К, после которой указывается содержание кобальта (ТТ7К12, ТТ10К8). Эти сплавы характеризуются меньшей хрупкостью, более вы­сокой прочностью, лучшей сопротивляемостью вибраци­ям и ударам. Поэтому они применяются при тяжелых ус­ловиях резания: черновой обработке заготовок с неровной поверхностью, обработке сталей аустенитного класса.

Твердые сплавы изготавливаются в виде пластин, ко­торые припаиваются к державке из углеродистой стали. Применяют твердые сплавы для резцов, сверл, фрез и другого инструмента. Главный недостаток твердых спла­вов — высокая хрупкость.

Вольфрам, присутствующий в большом количестве в рассмотренных выше твердых сплавах, является дорогим и дефицитным элементом. Поэтому перспективно приме­нение **безвольфрамовых**твердых сплавов. В них в качестве основы используется карбид титана, а связующими явля­ются никель и молибден. Маркируются эти сплавы буква­ми КТС и ТН. Твердый сплав КТС-1 содержит около 16 % никеля, а КТС-2 около8 % молибдена, остальное — карбид титана. Сплавы ТН-20, ТН-30,111-50 содержат соответ­ственно 15,23, 29 % никеля и 6,8, 10 % молибдена, осталь­ное — карбид титана. По прочности, твердости, износо­стойкости режущим свойствам безвольфрамовые твер­дые сплавы находятся на уровне вольфрамосодержащих.

**Минералокерамические и сверхтвердые материалы.** Минералокерамика является дешевым инструменталь­ным материалом, не содержащим дефицитных и дорогостоящих элементов. В настоящее время используются сле­дующие основные группы инструментальных минерало-керамических материалов. 1. Оксидная (белая) керамика, состоящая из оксида алюминия А203. с небольшими добав­ками оксида магния (0,6-1 % ). Основной представитель этой группы — микролит ДМ-332. 2. Оксидно-карбидная (черная) керамика, состоящая из оксида алюминия (60-80% ), карбидов и оксидов тугоплавких металлов (ТiС, ZгО2, и др.). 3. Оксинитридная керамика, состоящая из нитрида кремния Si3N4 с добавкой тугоплавких оксидов.

По твердости (90-95 НRA), тепло- и износостойкости минералокерамические материалы превосходят твердые сплавы. *Микролит* характеризуется высокой химической стойкостью и достаточными прочностными свойствами. Инструменты с пластинками микролита не теряют своей твердости при нагревании в процессе работы до 1200 °С. Поэтому очень эффектно их применение при чистовой и получистовой обработке чугунных изделий, цветных ме­таллов и их сплавов, неметаллических материалов в слу­чае высоких скоростей и при небольших глубинах резания и подачи.

В последнее время разработаны и применяют новые сверхтвердые инструментальные материалы для оснащения рабочей части металлорежущего инструмента - **эльборы** (поликристаллы кубического нитрида бора) и алмазы. **Эльбор**по своей теплостойкости (1400 °С) превосходят все имеющиеся инструментальные материалы, используемые для оснастки режущего инструмента: алмазы — в 1,9 раза, быстрорежущую сталь- в 2,3 раза, твердый сплав - в 1,7 раза. Поликристаллы изготовляют цилиндрической и сферической формы, длиной 3,5-8 и диаметром 3-5 мм. Режущие инструменты, оснащенные эльбором, пред­назначены главным образом для обработки чугуна и ста­ли любой твердости при высоких скоростях резания. Стойкость резцов из кубического нитрида бора при об­работке закаленных сталей твердостью 63-66 НRС в де­сятки раз выше стойкости резцов из твердого сплава.

Режущие инструменты, оснащенные поликристалли­ческими **алмазами,**применяют при обработке титановых сплавов, минералокерамики, твердых сплавов и т. д. Стойкость таких резцов в 6-10 раз выше стойкости твердосплавных резцов. Синтетические поликристалли­ческие алмазы получают из графита при температурах порядка 2500 °С и весьма высоких давлениях. Эти алма­зы сортируют на отдельные фракции и используют для изготовления различного алмазного инструмента