**Введение**

Материаловедение – это наука, изучающая строение и свойства металлов и устанавливает связь между составом, структурой и свойствами.

Определение металлам дают с точки зрения той науки, с позиции которой ее рассматривают.

Металлы с точки зрения физики и техники обладают общностью атома кристаллического строения и характерными физическими свойствами.

**материаловедение наука компонент сплав**

**Атомно-кристаллическое строение металла**

Металлы, описываемые пространственной кристаллической решеткой, под которой понимают наименший комплекс атомов, при многократной трансляции которых по всем направлениям воспроизводится пространственная кристаллическая решетка.

В узлах кристаллической решетки располагаются атомы.

Пространственную кристаллическую решетку легче всего представить в виде элементарной кристаллической ячейки. Ячейка – это та часть решетки, при многократной трансляции которой она и воспроизводится.

Три основные вектора элементарной ячейки называются трансляционными плоскими осевыми единицами.

Абсолютная величина трансляции – это период кристаллической решетки.

Период кристаллической решетки измеряют в анкстреммах

1А=10-8 см или в кХ (килоиксах), так называемых кристаллографических анкстреммах.

1кХ=1,00202 А

На одну элементарную ячейку приходится различное количество атомов; при чем атомы занимают определенные места в ячейке.

В зависимости от расположения атомов в ячейке различают простые, кубические, объемно-центрированные кубические, гранецентрированные кубические, гексагональные решетки.

1.Простая решетка представляется в виде куба, в узлах которой располагаются атомы.

Простейшая решетка описывается одним параметром, которым является ребро куба а.

2.Объемно-центрированная кубическая решетка (ОЦК) представляет собой также куб, внутри которого дополнительно расположен еще один атом.

Параметры решетки определяются длиной ребра куба а.

3.Гранецентрированная кубическая решетка (ГЦК) представляет собой куб, В центре каждой грани которого расположены дополнительно по одному атому.

4.Гексагональная плотно упакованная решетка. В отличие от кубической характеризуется двумя параметрами а и с.

В случае, если отношение с/а=1,666, то решетка считается плотноупакованной, а иначе – неплотно упакованной.

Примеры:

ОЦК – вольфрам, молибден, железо Fe;

ГЦК – алюминий, медь, никель, железо Fe;

ГПУ – бериллий … .

Некоторые металлы, например индий, имеют тетрагональную решетку.

Свойства металлов при прочих равных условиях определяются типом кристаллической решётки, т.е. количеством атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку. На простую ячейку приходит с один полный атом.

На ОЦК ячейку приходится два атома: один атом вносится атомом и один принадлежит только этой ячейке.

Для ВЦК на одну ячейку приходится четыре атома.

Плотность кристаллической решетки определяется, так называемым координатным числом. Под координатным числом понимается число атомов, находящихся на кратчайшем расстоянии от данного атома. Для ОЦК решетки К=8, для ГЦК – К=12 и для ГПУ – К=12.

От величины координатного числа зависит компактность (плотность укладки) кристаллической решетки. Так в простой кристаллической решетки плотность укладки атомов в ячейке составляет менее 50%. В ОЦК – 50%, в решетках с координатным числом 12 – порядка 75%.

**Кристаллографические обозначения атомов, плоскостей и направлений**

Под кристаллографическими плоскостями понимается 3 целых взаимно простых числа обратно пропорциональных числу осевых единиц, отсекаемых данной плоскостью по координатным осям x,y,z.

ABCD (100), AFKB (001), BKLD (010)

Под индексами кристаллографических плоскостей и направлений было вызвано потребностью объяснить зависимость свойств металлов от направлений кристаллографических плоскостей. Иными словами, дать объяснение с точки зрения техники понятие влияния анизотропии.По различным направлениям в кристалле располагаются различные количества атомов: физические, химические, механические при прочих равных условиях и определяются числом атомов, расположенным в данном направлении; чем больше количество атомов расположено в данном направлении, тем выше уровень свойств.

Неодинаковость свойств по различным направлениям в кристалле и называется анизотропией.

Любой кристалл – анизотропен. Однако, поскольку реальные металлы состоят из большого числа зерен (на 1 см2 – десятки тыс. зерен) создается впечатление, что металл изотропен, т.к. каждое из зерен ориентировано по-своему – это явление получило название квазианизотропией (ложной).

Поэтому, если испытывать металл по различным направлениям, то свойства его будут одинаковы. Деформирование металлов приводит к ориентации зерен, а также кристаллографических плоскостей в направлении деформации. Закономерная ориентация кристаллографических плоскостей в направлении действующих нагрузок называется текстурой.

**Дефекты кристаллического строения или реальное строение атома**

Реальные металлы в своей структуре содержат дефекты, которые подразделяются на точечные, линейные и поверхностные.

Точечные дефекты возникают при воздействии тепловых или силовых нагрузок. Атомы, находящиеся в узлах кристаллической решетки колеблются. В любой момент в кристалле всегда проявляются атомы, имеющие большую энергию по сравнению с близлежащими атомами. При чем этой энергии хватает не только на то, чтобы атомы вышел из своего узла, но и на то, чтобы он преодолел потенциальные барьеры, выстраиваемые на его пути близлежащими атомами.

В результате узел, из которого вышел атом, остается вакантным. Этот дефект получил название – вакансия. Вышедший атом, попавший в междоузлие – также дефект, получивший название дислоцированный атом.

Как в первом, так и во втором случаях кристаллическая решетка искажается вокруг дефекта на несколько атомных периодов.

Вокруг вакансий решетка как бы искажается, пытаясь залечить вакансию, а вокруг дислоцированного атома – наоборот. Вакансию иначе называют «дыркой».

Линейные дефекты. В отличие от точечных линейные дефекты имеют большую протяженность в одном направлении и малое искажение решетки в других. Линейные дефекты получили название – дислокации.

Дислокации бывают краевые и винтовые.

Краевая дислокация представляет собой локализованное искажение атомной плоскости за счет введения в нее дополнительной атомной полуплоскости – экстра плоскости, расположенной перпендикулярно плоскости чертежа.

Так же есть и винтовая дислокация; искажение происходит по винтовой плоскости.

Важной характеристикой дислокации является плотность дислокации; представляющая собой суммарную длину дислокации в единице объема ( )

В наиболее совершенных кристаллах плотность дислокации равна = 106…108 см-2.

В деформированных = 106...108см-2

Поверхностные дефекты. К ним относятся границы зерен, фрагментов, блоков.

Если под микроскопом наблюдать микроструктуру металла, то видно, что металл состоит из отдельных зерен, т.е. имеет место зеренное строение. Наиболее дефектные участки в структуре – границы зерен, т.е. места стыка зерен. По границе, помимо примесей, концентрируются и дефекты кристаллической решетки: вакансии и дислокации. Однако зерно само по себе не является совершенным. Оно состоит как бы из мозаики отдельных блоков 10-5…10-6 см. Это так называемые блоки мозаики.

Граница стыков между блоками так же являются дефектными участками в структуре. Блоки можно наблюдать только с помощью электронного микроскопа, увеличивающего в десятки тысяч раз.

Блоки разориентированы друг относительно друга на угол в несколько минут. Блоки могут объединяться в более крупные образования, которые получили названия фрагменты.

**Упругая и пластическая деформации**

Под воздействием приложенных из вне нагрузок металлы могут деформироваться в упругой области (без остаточных явлений), а именно без изменения размеров и деформироваться пластически, когда изменяется форма и размеры деформируемого металла.

Упругая деформация характеризуется двумя модулями: модуль Гука (модуль нормальной упругости) и модуль Юнга (модуль касательной упругости). В модуле Гука атомы стремятся по нормали, во втором случае – по касательной.

Естественно, учитывая силы межатомного взаимодействия, модуль Гука будет в несколько раз больше модуля Юнга и они не являются структурно-чувствительными свойствами.

Пластическая деформация может проходить по двум механизмам: скольжения и двойникования.

При реализации механизма скольжения часть кристалла смещается по отношению к другой под воздействием напряжений, превышающих критическую величину.

При чем это скольжение осуществляется по так называемым плоскостям скольжения. Каковыми являются плоскости наиболее упакованные атомами.

Деформация по механизму двойникования заключается в смещении одной части кристаллов в зеркальное отражение по отношению к другой по, так называемым, плоскостям двойникования. Точнее в этом случае смещение происходит за счет разворота части кристаллической решетки.

Деформация двойникования также как и скольжения осуществляется при прохождении дислокации через кристалл. Практически любой металл деформируется сразу по двум механизмам с преобладанием какого-либо одного.

**Механические свойства металлов**

Если специально приготовленный образец подвергнуть растяжению на машине и записать на диаграммной ленте все изменения, которые будут происходить с ним, то получим кривую, которая называется кривой растяжения.

В первоначальный момент образец растягивается без деформации, т.е. в упругой области. Это имеет место при напряжении пц. При растяжении большем пц. Пропорциональность степени напряжения и деформации нарушается.

пц – получила название предел пропорциональности, который равен:

пц=Рпц/Fо, Мпа

При деформации металла, в процессе повышения нагрузки, на кривой растяжения может появиться площадка, нагрузка при которой металл деформируется без приложенных дополнительных усилий, называется пределом текучести (физический):

т=Рт./F о, МПа

Деформированием сплавов, у которых отсутствует площадка текучести вводят характеристику, называемую условным пределом текучести.

02 – это усилие, которое вызывает остаточную деформацию 0,2%;

в – предел прочности на растяжение – это максимальная нагрузка, предшествующая разрушению образца.

Помимо характеристик прочности из кривой растяжения можно выделить характеристики пластичности:

 - относительное удлинение;

 - относительное сужение.

К характеристикам прочности материалов относятся также и твердость. Под твердостью понимается сопротивление материалов проникновению в него посторонних тел (индентора).

Из наиболее распространенных методов измерения твердости металлических материалов можно выделить метод измерения твердости по Бренеллю, по Роксвеллу и по Виккерсу. В случае если необходимо измерить твердость отдельных структурных составляющих, применяют метод измерения микро-твердости.

Твердость по Бренеллю измеряют на прессе Бренелля. В качестве индентора применяют шарик 5-10 мм. К индентору прилагается нагрузка. После снятия нагрузки в месте вдавливания появляется лунка. С помощью лунки измеряют диаметр лунки и затем по соответствующим таблицам переходят от диаметра к числу твердости. Твердость по Бренеллю обозначается НВ. Этот метод измерения твердости используется для измерения твердости сравнительно мягких металлов.

Измерение твердости по Роксвеллу проводят на приборе – твердометр Роксвелла. В качестве индентора используют шарик или алмазную пирамиду. Нагрузка на индентор 60,100 и 150 кг. В случае приложения 60 и 150 кг индентором служит алмазная пирамида, при 100 кг – шарик. Обозначение твердости по Роксвеллу если индентор 60 кг – HRA, 100 кг – HRB, 150 – HRCэ.

Твердость по Виккерсу определяется на приборе Виккерса. В качестве индентора используют алмазную пирамидку. Нагрузка на индентор измеряется в граммах. Твердость определяется на специально приготовленных образцах микрошлиф.

После вдавливания и снятия нагрузки с индентора в микрошлифе остается лунка. С помощью линейку, встроенной в окуляр прибора и затем с помощью специальных таблиц переходят от диагонали отпечатки к числу твердости по Виккерсу HV.

Если необходимо измерить твердость отдельных структурных составляющих, используют метод измерения микро-твердости на ПМТ-приборах.

В качестве индентора также используют алмазную пирамидку. Нагрузка на индентор измеряется в граммах. Твердость определяют на микрошлифах. При увеличении в 400 раз на микрошлифах находят ту структурную составляющую, твердость которой необходимо определить. Под действием нагрузки индентор вдавливается в эту структурную составляющую и оставляет в ней отпечаток. После снятия нагрузки проводят измерение диагонали отпечатка и затем по таблицам переходят к числу твердости.

Ударная вязкость является динамической характеристикой. Образец помещается в крепление и с определенной высоты на него падает маятник, работа тратиться на разрушение образца; ударная вязкость обозначается КСU или КС. Обозначение зависит от формы образца, если образец с подрезом (U-образным), то принимается первое обозначение, если без надреза – второе. С надрезом изготавливаются образцы сравнительно вязких материалов, без надреза – хрупких материалов.

**Наклёп**

Наклёп – это совокупность структурных изменений и связанных с ними св-в при холодной пластичной деформации.

В рез-те деф-ции зёрна выстраиваются (вытягиваются в направлении действующей нагрузки. Развивается анизотропия в металле. Под анизотропией понимают различие св-в по различным направлениям в металле. Выше св-ва в направлении пластической деформации (действующей нагрузки).

При холодной пластической деформации прочностные хар-ки (твёрдость, предел прочности и растяжений) увеличиваются в 2-3 раза, тогда как хар-ки пластичности (относит. удлинение, относит. сужение) снижаются 30-40 раз.

Упрочнение металлов при холодной пластической деф-ции обусловлена увелич. дефектов кристаллич. решётки (вакансий, дислакаций), увеличением числа дислокаций одного знака, а также увеличением угла разориентации м/у блоками.

Изменение стр-ры при дорекристаллизационном отжиге.

Пластическая деф-ция приводит к переводу металлов в неравновесное состояние, т.е. с повышенным запасом свободной энергии. Как и любая другая сис-ма металл стремиться к уменьшению свободной энергии. Это уменьшение протекает тем интенсивнее, чем выше тем-ра. В зав-ти от тем-ры отжига различают процессы возврата и процессы рекристаллизации.

Возврат

Возврат явл-ся самой низкой температурной обработкой позволяющей воздействовать на структурные состояния деформированного металла. Различают две стадии возврата: низкотемпературную (отдых) и высокотемпературную. (полигонизация).

В процессе отдыха происходит перераспределение точечных дефектов. Перемещаются по кристаллу и дислокации, однако эти перемещения носят локальный хар-р. Дислокации различного знака встречаясь друг с другом взаимно аннигилируют, т.е. взаимоуничтожаются. Рез-ом этого являются некоторые снижения плотности дислокации. В процессе полигонизации происходит перемещение дислокации по кристаллу. Дислокации перемещ-ся хаотич. по объёму кристалла. Под воздействием тем-ры дислокации перемещаясь концентрир-ся в определённых участках стр-ры с образованием стенок и т.наз. полигонов.

После полигонизации происходит некоторый возврат св-в к св-вам металла до деф-ции.

**Рекристаллизация**

После достижения опред. тем-р происходит изменение уже на микроскопическом уровне. Под микроскопом на фоне вытянутых зёрен можно наблюдать мелкие зёрна равноосной формы. По мере увеличения длительности отжига или повышении тем-ры происходит рост мелких зёрен за счёт вытянутых деформируемых зёрен. Образование и рост новых зёрен за счёт деформированных зёрен той же фазы наз-ся первичной рекристаллизацией или рекристаллизацией обработки.

При дальнейшем увелич. тем-ры и длительности отжига происходит «поедание» одними зёрнами других зёрен. Следствием явл-ся разнозёренность стр-р. В пределе можно достичь того, что стр-ра металла будет состоять только зи очень крупных зёрен. Это так наз. собирательная рекристаллизация. Тем-ра начала рекристаллиз. не явл-ся постоянной физ. величиной как, например, тем-ра плавления металла. Тем-ра начала рекристаллиз. будет зависеть от степени предварительной деф-ции металла, длительности процесса и ряда др. факторов.

Тем-ра рекристаллиз. для чистых металлов м.б. рассчитана исходя из соотношения предложенного Бочваром А.А.: Tp=aTпл , а=0,2…0,6.

Отжиг, обеспечивающий получение рекристаллиз. стр-ры после холодной пластической деформации наз-ся рекристаллизационным отжигом. Рекрист. отжиг проводиться как межоперационная обработка после операций холодной пластической деформации.

От размера зерна вообще и после рекристаллиз отжига в частности зависят св-ва металла. Чем мельче зерно, тем выше механические св-ва. Чем крупнее зерно, тем ниже мех-кие св-ва, но выше магн. или электр. св-ва. Поэтому, например, трансформаторную сталь после холодной деф-ции подвергают рекрист. отжигу с тем, чтобы как можно больший размер зерна можно было получить.

Холодная и горячая деформация

Холодная деф. проводиться при тем-рах ниже тем-ры рекристаллиз. и сопровождается наклёпом (наготовка).

Гор. деф. провод-ся при тем-рах выше тем-ры рекристаллиз. При горячей деф. наклёп не происходит поскольку этот наклёп сразу устраняется рекристаллизацией.

Основы кристаллизации металла

При переходе метала из жидкого состояния в кристаллическое образуются кристаллы. Процесс этот называется кристаллизацией. Металл стремиться перейти в термодинамически более устойчивое состояние с меньшей свободной энергией.

F - изменение свободной энергии системы

Исходя из вышесказанного меньше свободной энергии после нагрева выше температуры TS является жидкое состояние, ниже температуры TS кристаллическое. Температура TS называется теоретической температурой плавления (кристаллиз.). Однако ни процесса плавления ни процесса рекристаллиз. при этой температуре проходить не может т.к. свободные энергии при TS жидкого и кристаллич. состояния будут равны: Fж = Fкр . Для того, чтобы пошел процесс рекристаллиз. металл необходимо переохладить относительно теоретической температуры TS. В этом случае свободная энергия кристалл. состояния будет меньше по-сравнению с жидк. состоянием.

Температура, при которой фактически осуществляется процесс кристаллизации называется фактическими температурами кристаллиз. Разность между этими температурами называется степенью переохлаждения.

На кривой охлаждения полученной при кристаллизации металла в момент появления 1-го кристалла в жидкости температура стабилизировалась. Площадка на кривой охлаждения имеет место до тех пор, пока последняя капля жидкости не исчезнет. Последующее охлаждение осуществляется уже в твердом состоянии за счет конвективного теплообмена.

Кривая 1 имеет температуру TS, однако в реальных условиях для протекания процесса кристаллизации металл необходимо переохладить ниже TS. Tкр - фактическая температура. TS - TК - переохлаждение.

Появление площадки на кривой охлаждения обусловлено тем, что в момент появления первых кристаллов выделяется скрытая теплота кристаллизации, которая и компенсирует охлаждение.

Процесс кристаллизации металлов состоит из двух стадий:

а) из стадии зарождения центров кристаллизации

б) из стадии их роста

Для жидкого состояния характерен ближний порядок в расположении атома. Атомы располагаются не хаотически, как в газообразном состоянии и не закономерно, т.е. в определенных узлах кристаллической решетки, как в твердом состоянии. Ближний порядок характеризуется тем, что атомы в микрообъемах жидкости располагаются так, как в твердом состоянии. Однако эти объемы могут рассасываться и возникать вновь. Чем ниже температура, тем больше в жидкости таких микрообъемов. При определенных условиях эти микрообъемы и являются центром кристаллизации. Однако не все центры способны к росту. Если размер центра (зародыша) меньше какой-то величины для данной степени переохлаждения, то этот зародыш растворяется, если больше, то он растет. Минимальный размер зародышей склонных к росту при данной степени переохлаждения, называется критическим и такой зародыш является устойчивым. Чем больше степень переохлаждения, тем меньший размер зародыша способен к росту. Рост зародышей осуществляется путем последовательного присоединения к ним атомов из окружающей жидкости.

Присутствие примеси в металле облегчает процесс центров кристаллизации, т.к. примесь является подложкой, на которой происходит зарождение центров.

**Кинетика кристаллизации чистых металлов**

Скорость кристаллизации определяется числом зарождающихся центров кристаллизации n и скоростью их роста m . В отсутствии переохлаждения m,n=0. По мере увеличения степени переохлаждения, происходит увеличение числа центров кристаллизации и скорости их роста, причем число n увеличивается быстрее m. Это связано с тем, что с увеличением степени переохлаждения уменьшается критический размер зародыша и их количество. Однако с увеличением степени переохлаждения уменьшается скорость диффузионных процессов, контролирующих рост зародыша. Практически процесс кристаллизации осуществляется по восходящим ветвям. Нисходящие ветви не реализуются, т.к. металл кристаллизуется при постоянной температуре.

Возможное существования металлов в различных кристаллизационных модификациях называется полиморфизмом или аллотропией. При определенных условиях, атомы, образующие кристаллическую решетку одного типа, перестраиваются с образованием кристаллической решетки другого типа. По сути это кристаллизационный процесс, т.к. перенастройка решетки из одного типа в другой происходит при постоянной температуре. Однако, т.к. этот процесс имеет место в твердом состоянии его называют перекристаллизацией. К полиморфным металлам относятся: железо, олово, титан, марганец, кобольт.

14,15,16. Основы теории сплавов

Сплавом называют результат сплавления двух или более компонентов. Компоненты - это химически индивидуальные вещества образовывающие сплав.

Фаза – однородная часть системы отграниченная поверхностью раздела, при переходе через которую состав и свойства меняются скачкообразно.

В зависимости от характера компонентов, в сплаве могут образоваться хим. соединения, твердые растворы, механические смеси.

Хим. соединения.

Хим. соединения образуются при строго определенном количественном соотношении атомов. Для хим. соединения характерным является то, что кристаллическая решетка его отличается от кристаллической решетки сплавляемых компонентов. Если хим. соединение образуют металлы, то его называют интерметаллидом.

Твердые растворы

Они образуются в том случае, когда в кристаллической решетке одного компонента атомы замещаются на атомы другого компонента. Это твердые растворы замещения. Бывают твердые растворы внедрения, твердые растворы вычитания.

Твердые растворы замещения подразделяют на растворы неорганической и органической растворимости.

1) Основной металл, атомы в котором замещаются, называется растворителем.

2) Растворенный компонент.

Для того, чтобы получить твердый раствор неорганической растворимости замещаются атомы растворенного компонента. Необходимо выполнение трех условий:

а) Кристаллические решетки обоих компонентов являются изоморфными (однотипными)

б) Разница в атомных радиусах не должна превышать 14 или 15 %

в) Сплавляемие компоненты должны находиться в одной части периодической таблицы.

Невыполнение хотя бы одного из условий приводит к образованию твердых растворов ограниченной растворимости. К растворам, в которых атомы кристаллической решетки растворителя частично замещаются атомами растворимого компонента.

Твердые растворы внедрения.

Твердые растворы внедрения образуются, когда атомы одного компонента внедряются в пустоты или дефекты другого компонента. Такое возможно лишь в случае большого различия в атомных радиусах компонента. Твердые растворы внедрения образуют металлы с углеродом, азотом и твердые растворы замещения.

Твердые растворы вычитания

Они образуются на базе хим. соединений при недостатке атомом одного из компонентов. Отдельные узлы кристаллической решетки растворителя остаются вакантными.

Механические смеси

Некоторые компоненты при сплавлении не взаимодействуют с образованием хим. соединений или твердых растворов. Они образуют механические смеси. Механические смеси отличаются от хим. соединений и твердых растворов тем, что в них сохраняются типы решеток характерных для сплавляемых компонентов.

Диаграммы состояния двойных сплавов.

Диаграмма состояния представляет собой графическое отображение состояния сплава в зависимости от температуры, давления и концентрации. Диаграмма есть наглядное отображение устойчивых фаз при комнатной температуре. Мера устойчивости фаз определяется законом Гиббса или правилом фаз. Правило фаз устанавливает связь между числом степеней свободы, числом фаз и компонентов. Под числом степеней свободы понимают число внешних и внутренних факторов, которые можно изменять без изменения числа фаз в системе.

Правило фаз выполняется : с = к - ф + 2, где к – число компонентов, с – число степеней свободы, ф –число фаз, 2 – внешние факторы, т.е. изменяющаяся температура и давление, для сплавов принята несколько иная форма зависимости с = к -ф + 1 при условии постоянства давления.

С учетом правила фаз, как объясняющего процесс кристаллизации, кристаллизацию металлов, которая протекает при постоянной температуре можно объяснить следующим образом:

С12 =1-1+1=1С2=1-2+1=0 С2`-3=1-1+1=1

Для двухкомпонентных систем, которые мы будем рассматривать в случае с=0 процесс будет происходить при постоянной температуре, при с=1 или с=2 с изменением температуры по времени.

Диаграмма состояния для двух компонентной системы образует механическую смесь. Диаграмма состояния строятся в координатах температур (ось ординат) и концетрация компонентов (ось абсцисс).

17. Диаграмма состояния для двухкомпонентной системы, образующая механическую смесь.

Диаграммы состояния строятся в координатах t-оси ординат и концентрация компонентов – ось абсцисс. Линия АДВ – линия ликвидус. а представляет собой геометрическое место точек соответствующих температурам, при которых из жидкости начинают выпадать кристаллы, следовательно выше линии ликвидус сплав находится в жидком состоянии. Линия СДЕ называется солидус. Она представляет собой геометрическое место точек, соответствующих температурам, при которых жидкая фаза исчезает, следовательно ниже линии солидус сплав находится в твердом состоянии. Между линиями ликвидус и солидус сплав находится в жидко- твердом состоянии, и чем ниже температура относительно линии ликвидус, тем больше кристаллов и меньше жидкой фазы в сплаве. В точке Д из жидкости одновременно начинают выпадать кристаллы компонентов (фаз). Для диаграмм этого типа компонент и фаза являются синонимами. Для диаграмм другого типа необходимо говорить только о фазах, поскольку компонент и фаза не являются синонимами. Механическая смесь, состоящая из двух или более фаз, одновременно кристаллизующаяся в жидкости называется эвтептикой. Ниже точки Д на диаграмме структура представляет собой чисто эвтептической.

Правило отрезков

Посредством правила отрезков можно определить состав фаз в любой двухфазной области и количественное их соотношение. Правило отрезков состоит из двух частей. Первая часть: для того чтобы определить состав фаз через заданную точку в двухфазной области (точка соответствует конкретной температуре) проводят горизонтальную линию до пересечения с линиями, ограничивающими эту область. Проекция точек пересечения на ось концентрации даст нам состав фаз. Вторая часть: для того чтобы определить количество фаз через заданную точку проводят горизонтальную линию до пересечения с линией, ограничивающей эту область. Отрезки между заданной точкой и точками с соответствующим составом фаз обратно пропорциональны их количеству.

Правило фаз действует только в двухфазной области.

**Диаграмма состояния для двухкомпонентной системы, образующие неограниченные твердые растворы**

Два компонента: компонент А и компонент В.

АаВ - линия ликвидус.

АвВ – линия солидус.

Выше линии ликвидус сплав находится в жидком состоянии, ниже линии солидус – в твердом. При кристаллизации сплавов по диаграмме этого типа из жидкости будут выделятся не жидкие компоненты, а твердые растворы. Это обусловлено тем, что при сплавлении компонентов А и В образуется непрерывный ряд твердых растворов, т.е. растворов неограниченной растворимости. Отсюда - твердый раствор компонента В в компоненте А.

**Диаграмма состояния для двухкомпонентной системы**

Диаграмма состояния для двухкомпонентной системы, компоненты в которой образуют ограниченные твердые растворы, при этом в зависимости от типа диаграммы, диаграммы подразделяются на диаграммы с эвтептикой и диаграммы с перетептикой.

Диаграммы с эвтептикой: компоненты А и В. Фазы: жидкость ,;- твердый раствор компонента В в компоненте А; - твердый раствор компонента А в компоненте В.

Линия АВС – ликвидус. ADCFB – солидус, т.к. компоненты вступают во взаимодействие в твердом состоянии с правой и с левой стороны диаграммы будут находиться так называемые области ограниченной растворимости.

Линия ДК- указывает на то, что растворимость компонента В в А увеличивается с повышением температуры. Растворимость В в А при комп. Температуре будет соответственна на диаграммы. При температуре плавления эвтевтики точка Д на диаграмме. Противоположность растворимость компонента А в В не изменяется (линия FL) при комнатной температуре растворимость компонента А в В соответственна точке L при температуре плавления эвтевтики в точке L. Горизонтальная линия DCF соответствует температуре, при которой происходит эвтевтическая реакция.

Эвтевтика – это механическая смесь двух или более фаз одновременно кристаллизующихся из жидкости. В точке С происходит чисто эвтевтическая реакция, которая записывается как жидкость точки С распадается на  - твердый раствор точки Д и  - в точке F.

Кривые охлаждения.

С=К-Ф+1 С0-1=2-1+1=2С1-2=2-2+1=1

Диаграмма с перлитом

Компоненты А,В, жидкост, ,.

В отличие от эвтевтической реакции при перетептичекой реакции жидкость взаимодействует с кристаллами выпавшей фазы с образованием кристаллов новой фазы.

**Диаграмма состояния с химическими соединениями**

Под химическими соединениями понимеются соединения, образующиеся при строго определенном количественном соотношении атомов сплавляемых компонентов.

Различают диаграммы с устойчивыми химическими соединениями и не устойчивыми химическими соединениями.

Диаграмма состояния с устойчивым химическим соединением

Химическое соединение считается устойчивых, если оно плавится без разложения (предварительного).

Диаграмма состояния с неустойчивым химическим соединением

Характерным для неустойчивого химического соединения является то, что разлагается с повышением температуры.

26.Превращения в стали при нагреве.

Если эвтектоидную сталь, содержащую 0,8% углерода и имеющую структуру перлит нагреть выше Аc1 (7270С), то перлит превратится в аустенит с тем же содержанием углерода (0,8%).

Если доэвтектоидную сталь, содержащую, например, 0,4% углерода и имеющую структуру феррит + перлит, нагреть выше Аc1, то перлит превратится в аустенит. Феррит никаких изменений не претерпевает. Аустенит содержит 0,8% углерода, а феррит - 0,02% (точка P). По мере повышения температуры в интервале Аc1-Аc3, феррит будет растворятся в аустените и как бы "разбавлять" его по углероду и в момент достижения температуры Аc3 аустенит будет содержать 0,4% углерода, то есть столько, сколько углерода в стали.

Если заэвтектоидную сталь, содержащую, например, 1% углерода и имеющую структуру перлит + цементит, нагреть выше Аc1, то перлит превратится в аустенит с содержанием 0,8% углерода. Цементит никаких изменений не претерпевает и содержит 6,67% углерода. Дальнейший нагрев в интервале Аc1-Аc3 приводит к тому, что цементит будет растворятся в аустените и дополнительно насыщать аустенит углеродом. В момент достижения температуры Аcm аустенит будет содержать 1% углерода, то есть то количество углерода, которое в стали.

Линия 4 - линия начала превращений А в П. Между линиями 4 и 1 одновременно сосуществуют перлит и аустенит. В области между линиями 1 и 2 – аустенит + карбиды. В области 2, 3 - карбиды растворяются в аустените, но аустенит представляет собой твердый растаор с неравномерно распределенными атомами углерода, распределенными по всему объему. Выше нилии 3 происходит гомогенизация аустенита – линия начала превращения 4 горизонтальна, потому что нагрев распроятраняется, поэтому температура превращения практически не изменяется. Скорость превращения зависит от степени перенагрева относительно точки АС1 при перенагреве 1000 превращение перлита в аустенит пратикает практически мгновенно, что не позволяет фиксировать стадии, отраженные на представленной диаграмме изотермического образования аустенита.

Рост зерна аустенита при нагреве

В момент превращения перлита в аустенит образуется большое количество мелких зерен аустенита. При дальнейшем повышении температуры зерно аустенита начинает рости. Это обусловлено стремлением системы к уменьшению свободной энергии.

Различают наследственно мелкозернистые и наследственно крупнозернистые стали. Под наследственной зернистостью понимают склонность аустенитного зерна к росту, отсюда мелкозернистые стали обладают меньшей склонностью аустенитного зерна к росту в отличие от крупнозернистых сталей. Однако при достижении температур 900-950 0 С барьеры, предшествующие росту зерна в наследственно мелкозернистых сталях устраняются, и происходит более интенсивный рост зерна по сравнению с крупнозернистыми сталями. При превращении перлита в аустенит выделяют начальное зерно – размер зерна в момент превращения П в А. Наследственное зерно – склонность аустенитного зерна к росту. И действительное зерно – размер зерна, полученный при конкретных условиях. На свойства стали оказывает влияние момент действительного зерна. С увеличением размера зерна характеристики прочности, и особенно ударная вязкость снижается, а увеличиваются магнитные и электрические свойства и наоборот.

Перегрев и пережег

Если сталь выдерживать длительное время при высоких температурах, происходит интенсивный рост зерна. Это явление получило название – перегрев. Перегрев можно устранить дополнительной термической обработкой, заключающейся в повторном нагреве стали выще А1. В результате зерно измельчается, свойства стали возрастают. Если сталь длительное время выдерживать при температуре АС3 в окислительной атмосфкрк, то происходит образование окислов железа по границам зерен. Это так называемый пережег. Это не устранимый дефект, сталь необходимо переплавлять.

**Превращение переохлажденного аустенита ( распад аустенита)**

При охлаждении стали с содержанием углерода 0,8% ниже А1 происходит растад аустенита с содержанием углерода 0,8% на феррит с содержанием 0% и цементит с с содержанием углерода 6,67%. В виду такой разницы содержание углерода в исходной образующейся фазе процесс распада носит диффузионный характер.

Движещей силой любого процесса является уменьшение свободной энергии системы. При температуре, равной А1 ( 727 0С ) скорость диффузии максимальна. Разность свободных энергий старых и новых фаз равна 0. Поэтому процесс превращения аустенита в перлит при температуре А1 происходить не будет.

При переохлаждении до температуры 200 0С разность свободных энергий максимальна , а скорость диффузии атомов железа практически равна 0, следовательно при этой температуре скорость превращения также равна 0, т.е. скорость превращения переохлажденного аустенита в перлит определяется 2 факторами: разностью свободных энергий старой и новой фаз и скоростью диффузии. Максимальная скорость превращения достигается предварительным охлаждением аустенита до 500 –5500С.Эту зависимость можно представить в виде диаграммы изотермического превращения аустенита.

Линии начала и конца превращения напоминают букву С и называются С-образные кривые. Эта диаграмма распада переохлажденного аустенита для эвтектоидной стадии. Левее линии начала превращения находится область устойчивого состояния переохлажденного аустенита с минимальной устойчивостью при t=500-5500C. В зависимости от степени переохлаждения на диаграмме выделяют перлитную область (при переохлаждении в интервале А1 (5500С);бейнитную область (в интервале t (550 – М4);и мартенситную область при температуре переохлаждения ниже линии М4.

**Перлитное превращение**

При переохлаждении в верхней части перлитной области аустенит распадается на ферритно-цементитную смесь пластинчатого строения представляющую собой чередующие пластины феррита и цементита такая смесь называется собственно-перлит. При увеличении степени переохлаждения аустенит распадается на более дисперсную феррито-цементитную смесь, так же имеющую пластинчатое строение. Такая смесь получила название сорбит. При переохлаждении аустенита до температур перегиба С-образной кривой образуется еще более дисперсная смесь феррита и цементита, практически не индентифицируемом при металлографическом исследовании, но также имеющую пластинчатое строение. Эта смесь смесь получила название тростит. Т.о. собственно перлит, сорбид и тростит представляют собой феррито-цементитную смесь пластинчатого строения отличающуюся только дисперсностью. С увеличением степени дисперсности Ф и Ц свойства сталей возрастают.

**Бейнитное превращение**

Оно имеет место при переохлаждении А. До температур ниже перегиба С-образной кривой. В отличие от перлитного превращению, протекающему по диффузионному механизму бейнитное превращение протекает как по диффузионному так и бездиф. (мартенситному) механизму. Поэтому бейнитное превращение иначе называют промежуточным. При таких степенях переохлаждения диффузия атомов возможна, а диффузия атомов железа практически проходить не может. Результатом распада А. В бейнитной области является бейнит – это механическая смесь Ф и Ц, в которой Ф. Несколько пересыщен углеродом и имееет игольчатое строение, поэтому Б иначе называют игольчатый тростит. Различают верхний и нижний Б. Верхний Б имеет так называемую перистую структуру близкую к троститной, образующуюся при переохлаждении несколько ниже перегиба С-образной кривой. Нижний Б имеет игольчатое строение бликое к мартенситу и образующееся при переохлаждении до температур близких к темпер. начала мартенситного превращения (Мн).

Результатом Б. Превращения является структура, получившая название бейнит или игольчатый тростит.

**Диаграмма состояния железо-цементит**

Ж+F – ферритная область.

F+A – ферритная + аустенитная.

Л – ледебурит

ЦI – цементит первичный.

Железо – металл, плавящийчя при температуре 1539оС и относящийся к полиморфным.

Полиморфизм – это возможность существования металлов в различных кристаллических модификациях.

В интервале 1539 оС – 1392 оС железо имеет ОЦК решетку.

В интервале 1392 оС – 911 оС железо имеет ГЦК решетку.

При температуре менее 911 оС железо имеет ОЦК решетку.

При температуре 768 оС железо из ферромагнитного переходит в паромагнитном состояние, т.е. становится немагнитным. Это т.н. точка Кюри.

Железо сравнительно мягкий металл: в=250 МПа, НВ 80.

Цементит – химическое соединение, отвечающее формуле Fe3C. Образуется при строго определенном количестве атомов Fe и C, причем доля C составляет 6,67%. Цементит является наиболее твердой фазой железоуглеродистых сплавов (НВ 800). При нагреве в определенных условиях цементит может распадаться с образованием железа и углерода в свободном состоянии в виде графита. Способность цементита к разложению положена в основу получения чугунов.

На диаграмме состояния железа-цементит линия ABCD – линия липидус, а AHIECF – солидус.

На диаграмме состояния есть две области, прилегающие к ординате, на которых откладывают температуру компонента железа, область феррита и область аустенита. Вообще на диаграмме можно выделить 4 фазы: жидкость, феррит, аустенит и цементит.

Ферит – твердый раствор углерода в -железе. Феррит имеет ОКЦ решетку. Чисто ферритные области: AHN (1539 оС – 1392 оС) (высоко температурный феррит) и AGPQ (911 оС и до комнатной).

Аустенит – твердый раствор углерода в -железе. Имеет ГЦК решетку. Область чистого аустенита MIESG.

На диаграмме видно три горизонтальных линии, при температуре которых протекают нонвариантные рекации (С=0).

По линии HIB при Т=1499 оС протекает перетектическая реакция, в результате которой жидкость состава точки B взаимодействует с кристаллами феррита в точке Н с образованием кристаллов аустенита в точке I.

По линии ECF при Т=1147 оС протекает эвтектическая реакция, в результате которой жидкость в точке C распадается на аустенит в точке E и цементит. Механическая смесь аустенита и цементита в интервале T=1147 оС – 727 оС получила название ледебурит.

По линии PSK при Т=727 оС протекает эвтектоидная реакция, в результате которой аустенит в точке S распадается на феррит в точке P и цементит. Механическая смесь феррита и цементита получила называние перлит.

Эвтектика отличается от эвтектоида тем, что первая протекает с участием жидкой фазы. Вторая является результатом распада твердого раствора. В связи с тем, что при температуре меньше 727 оС аустенита быть не может, ледебурит видоизменяется и в интервале T=727 оС – 20 оС ледебурит – механическая смесь из перлита и цементита.

На диаграмме видны линии ограниченной растворимости (PQ и SE).

При Т=20 оС количество углерода, способного раствориться в ОЦК решетке феррита составляет 0,01% (в точке Q). При Т=727 оС количество углерода, способного раствориться в ОЦК решетке феррита составляет 0,02% (в точке P). Следовательно, при охлаждении избыток атомов углерода должен выделиться из ОЦК решетки, но не в чистом виде, а в виде цементита третичного. Аналогичное наблюдается и при растворении углерода в ГЦК решетке, если при Т=727 оС (точка S) углерод составляет 0,8%, то при Т=1147 оС (точка Е) – 2,14%. При охлаждении избыток атомов углерода должен выделиться из ГЦК решетки, но не в чистом виде, а в виде цементита вторичного. По химическому составу цементит первичный, вторичный и третичный не отличаются. Это для того, чтобы отличить цементит, выделившийся из жидкости, из аустенита и из феррита.

Сплавы железа с углеродом с содержанием углерода до 2,14% называют сталь. Стали подразделяются на доэвтектоидные, с содержанием углерода до 0,8% (феррит + перлит), эвтектоидные – 0,8% (перлит), заэвтектоидные –от 0,8% до 2,14% (перлит + цементит II). Сплавы железа с углеродом с содержанием углерода более 2,14% называют чугунами: доэвтектоидные –от 2,14% до 4,3% (перлит + ледебурит + цементит), эвтектический –4,3% (ледебурит), заэвтектический – от 4,3% до 6,67% (ледебурит + цементит I).

**Углеродистые стали**

Сплавы железа с углеродом с содержанием углерода до 2,14% называют сталями. Помимо углерода в углеродистые стали при выплавке попадают посторонние примеси: обусловленные тезнологическими процессами (Mn, Si), невозможностью их удаления при плавке (P, S), случайными обстоятельствами (Ni, Cu). Если перечисленные элементы входят в больших количествах, чем предусмотренные ГОСТом на углеродистые стали, эти стали считают легирующими.

Влияние постоянных примесей на структуру с свойства стали.

К постоянным относятся Mn, Si, S, P и газы O, N, H. Верхний предел присутсвия S, P ограничивается 0,05%, Mn, Si – 0,08%.

Марганец вводят в сталь для раскисления, т.е. для устранения вредного влияния закиси железа FeO+MnMnO+Fe. При введении марганца происходит восстановление железа из закиси, тем самым несколько увеличиваются характеристики пластичности стали.

Кремний вводится для раскисления 2FeO+Si2Fe+SiO2.

Фосфор – вредная примесь, попадает в сталь вместе с рудой. Присутствие фосфора повышает порог хладноломкости стали, т.е. повышает температуру перехода стали в хрупкое состояние. Его удаляют в процессе выплавки стали путем изменения состава шлаков и флюсов.

Сера – как и фосфор, попадает с рудой. Взаимодействуя с железом образует сульфид (FeS), входящий в состав эвтектики плавящейся при Т=988 оС. наличие легкоплавкой эвтектики приводит к охрупчиванию стали при температурах красного коления (800 оС). Это явление называют красноломкость. Введение в сталь марганца устраняет красноломкость в виду того, что марганец обладает большим сродством к сере, чем железо: FeS+MnMnS+Fe. В результате образуется сульфид марганца, который входит состав эвтектики, плавящейся при Т=1620 оС.

Газы. Основные газы, которые попадают в сталь – O, N, H. O и N образуют оксиды и нитриты, которые охрупчивают сталь. Особенно вредно присутствие в стали H, который приводит к внутренним надрывам в металле с образованием, т.н. флокены. Устранение газов возможно при выплавке стали в электропечах или вакууме.

Способы производства стали.

Различают бессемеровский, кислородно-конверторный, мартеновский и способ выплавки в дуговых и индукционных печах.

Бессемеровский способ в настоящее время практически не применяется в связи с низким качеством полученной стали. Сущность способа состоит продувке жидкого чугуна воздухом. Кислород воздуха окисляет углерод, доводя его содержание до количества, необходимого в стали. Низкое качество стали обусловлено тем, что в процессе продувки воздухом сталь насыщается азотом. Кроме того, вредные примеси (сера, фосфор) не удаляются.

В отличие от бессемеровского способа, при кислородно-конверторном способе продувку жидкого чугуна осуществляется чистым кислородом. При этом, равно как и в мартеновском способе, в зависимости от состава шлаков и флюсов, футеровка печи бывает основной (магнезит, хромомагнезит) или кислой (динас). Футеровку выбирают так, чтобы не проходила реакция между шлаком и футеровкой. При основном процессе из стали в большей степени удаляется фосфор, в меньшей -- сера. Однако при этом сталь содержит большее количество газов. Более дорогой кислый процесс проводят в том случае, когда нужно получить чистую по газам сталь.

Наиболее качественная сталь получается при выплавке в дуговых и индукционных печах.

В зависимости от степени раскисления различают стали спокойные, кипящие и полуспокойные. Спокойные стали получают при раскислении марганцем, алюминием, кремнием и обозначают СП. Кипящую сталь получают при раскислении только марганцем. Обозначают такие стали КП. Полуспокойные стали раскисляют марганцем и кремнием и обозначаются ПС.

Углеродистые стали общего назначения (обыкновенного качества).

Потребителю с металлургических заводов стали поставляются в виде проката (ленты, прутки, швеллеры, трубы ). Раньше по ГОСТу стали обыкновенного качества поставляли по трем группам:

-А - с гарантированными механическими свойствами;

-Б - с гарантированным химическим составом;

-В - с гарантированными механическими свойствами и химическим составом.

Стали маркировались : группа А - Ст.0,Ст.1,..,Ст.6; группа Б - с указанием способа выплавки - БСт.1,МСт.1 , где

Б - бессемеровский , а М - мартеновский способы выплавки; группа В: - ВСт.1.

В соответствии с ГОСТом , вступившим в действие с 90 г., с учетом того, что стали выплавляют преимущественно электро-способами, стали обыкновенного качества маркируют просто Ст.1,..,Ст.6, где за цифрой может стоять способ раскисления: Ст.1КП. Ст.1ПС, Ст.1СП.

**Основы теории термической обработки**

Под термической обработкой понимают изменение структуры, а следовательно, и свойств стали при нагреве до заданной температуры, выдержке при этой температуре и охлаждении с заданной скоростью.

При термической обработке сталей необходимо учитывать фазовые и структурные превращения, происходящие при различных скоростях нагрева и охлаждения. Диаграмма Железо-Углерод дает представление о фазовых и структурных превращениях при бесконечно малых скоростях нагрева и охлаждения. Иными словами на диаграмме представлены фазы и структурные составляющие в равновесном состоянии. Увеличение скорости охлаждения может тормозить протекание диффузионных процессов, а иногда и полностью их подавлять, поэтому реальные условия нагрева и охлаждения и обеспечивают ту или иную структуру сплавов.

Основные виды термической обработки

К основным видам относятся отжиг, закалка и отпуск. Но прежде чем говорить об этих видах, необходимо ввести понятие критической точки. Критические точки обозначаются буквой А : А1 или А3. А1 лежит на линии PSK, а А3 - на линиях GS и SE. Для того, чтобы

отличать критические точки при нагреве от критических точек при охлаждении в первом случае перед цифрой ставят букву c – Аc1, а во втором - букву r – Аr1. Для того, чтобы отличать критические точки А3 для доэвтектоидных сталей (GS) от А3 заэвтектоидных (SE), в первом случае пишут Аc3 и Аr3, а во втором - Аcm и Аrm.

Отжиг - фазовая перекристаллизация, которая происходит при нагреве стали выше Аc3 с последующей выдержкой и медленным охлаждением. Если нет необходимости в полной перекристаллизации структурных составляющих, проводят нагрев стали выше точки Аc1 (плюс выдержка и медленное охлаждение, процесс получил название неполный отжиг). Отжиг приводит структуру стали в состояние близкое к равновесному. Структура доэвтектоидных сталей после отжига - Ферит + Перлит, эвтектоидной стали - Перлит, заэвтектоидных - Перлит + Цементит.

Первое отклонение структуры от равновесного состояния происходит при нагреве стали выше точки Аc3, выдержке и охлаждении на спокойном воздухе - нормализация.

Закалка - нагрев стали выше критической точки Аc3 с последующей выдержкой и быстрым охлаждением. При быстром охлаждении подавляются все диффузионные процессы и образуется новая структура, характерная для закаленной стали - мартенсит. Мартенсит - перенасыщенный твердый раствор углерода в - железе.

Отпуск - нагрев закаленной стали ниже точки Аc1 с последующей выдержкой и охлаждением с заданной скоростью. В практике обработки стали и других сплавов применяют также сочетания химических и термических воздействий (химико-термическая обработка). При химико-термической обработке в процессе нагрева деталей в поверхность последних внедряют атомы других элементов. Например, если дополнительно обрабатывать сталь углеродом, то процесс называется цементацией; азотом - азотированием; одновременно азотом и углеродом - цианированием; хромом - хромированием, и т.д.

**Мартенситное превращение**

Мартенсит - является, структурой закаленной стали. Это пересыщенный твердый раствор Углерода в  - железе. С таким же содержанием углерода что и аустенит, из которого образуется мартенсит. В виду того, что атом углерода в ГЦК решетки аустенита остаются в тех же местах решетки мартенсита. Кристаллическая решетка последнего, искажается и становится тетрагональной.

Тетрагональная решетка в отличие от кубической описывается 2-мя параметрами, параметр а и с.

Отношение c/a - называется степенью тетрагональности, (c/a)1.

Мартенсит образуется при резком переохлаждении аустенита ниже температуры начала мартенситного превращения. Процесс носит бездифузионный характер в отличие от перлитного и бенитного превращения. Образование мартенсита проходит практически мгновенно. Под микроскопом структура мартенсита выглядит как отдельные иглы, ориентированные под определенными углами друг к другу. Количество превращенного в мартенсит аустенита зависит от процентного содержания углерода в стали. С увеличением процентного содержания углерода, положение точек начала и конца мартенситного превращения снижается область более низких температур, а при содержании углерода более 0,5%, точка конца мартенситного превращения снижается в область отрицательных температур. Поэтому, в структуре стали более 0,5%, после закаления, наряду с мартенситом, присутствует некоторое количество аустенита, который не превратился в мартенсит.

Этот аустенит называется аустенит остаточный. Если превышенное содержание углерода в стали, превышающее 0,5%, влияет на положение точек. Мн – начало мартенситного положения и Мк – конец мартенситного положения, то скорость охлаждения практически не влияет на расположение этих точек. Однако скорость охлаждения влияет на сам процесс превращения. Если стали охлаждения из аустенитной области и в интервале между температурами Мн и Мк дать небольшую выдержку, то во время этой выдержки будет образовываться дополнительное количество мартенсита. В связи с этим различают атермический и изотермический мартенсит. Первый образуется при непрерывном охлаждении до конца превращения. Второй – в процесс выдержки между Мн и Мк.

Твердость мартенсита зависит от содержания углерода, его кристаллической решетки и составляет величину порядка 60-65 HRCэквив. Твердость стали, зависит от скорости охлаждения из аустенитной области, определяющей тип структуры. Если проводить охлаждение со скоростью V1, то аустенит будет распадаться на ферито-циментитную смесь пластического строения, которая называется собственно-перлитной. Для стали У8 твердость собственного перлита составляет 250 НВ. С увеличение скорости охлаждения (V2,V3) происходит распад аустенита с образованием более дисперсных продуктов, представляет химическую смесь фирита и цементита так же пластичного строения. При скорости охлаждения V2 - образуется структура – сорбид. V3 - тростит, с твердостью 200НВ и 250НВ.

Если аустенит переохлаждать до температуры начала мартенситного превращения скорости V4 то, ни какого распада на ферито-цементитную смесь не происходит. Аустенит по бездифузионному механизму превращается в мартенсит. Скорость охлаждения V5 является касательной к перегибу с-образной кривой, называется критической скоростью закалки. Это минимальная скорость охлаждения, при которой аустенит переохлаждается без распада до начала мартенситного превращения. Следовательно, при закалке сплавы необходимо охлаждать со скоростью выше критической.

**Превращения закаленной стали при нагреве. Превращения при отпуске**

Отпуском называют термическую операцию, заключающуюся в нагреве закаленной стали до температуры ниже ac1, с последующей выдержкой и охлаждением с заданной скоростью. В процессе нагрева происходят объемные и структурные изменения в стали. Если в дилатометре – приборе, позволяющем фиксировать изменения длинны образца в зависимости от температуры, то самописец прибора будет фиксировать горизонтальную прямую линию 1.

При нагреве закаленной стали (кривая 2) до 80-1000C изменение в длине практически не наблюдается.

Начиная с температуры 800C имеет место сокращение длины образца. Вплоть до температуры 2000C происходит так называемое 1-е превращение, при отпуске, в результате мартенсита выделяется карбид Fe2C когерентно связанный с матричным твердым раствором. При этом степень тетрогональности мартенсита уменьшается, отношение c/a - стремится к 1, но не равно ей.

При нагреве выше 2000C происходит обратное. Наблюдается прирост длины образца. В интервале температур 200-3000C происходит 2-е превращение при отпуске. В интервале этих температур аустенит остаточный превращается в отпущенный мартенсит.

3-е превращение происходит при 300-400 градусах. В этом интервале температур происходит карбидное превращение. Метастабильный карбид Fe2C превращается в стабильный, в Fe3C. Одновременно происходит срыв когерентности и обособление карбидов. Снижается и уровень внутренних напряжений.

4-е превращение протекает при температуре выше 400 град., и состоит в коагуляции карбида. Структура стали после отпуска зависит от температуры отпуска.

При температуре отпуска 300-500 град., получается тростит отпуска.

При температуре 500-600 град. – сорбид отпуска, отличающегося от аналогичных структур, полученных при непрерывном охлаждении тем, что имеет зернистую морфологию, тогда как после непрерывного охлаждения из аустенитной области - пластинчатую морфологию. При одинаковой твердости тростит и сорбит отпуска по сравнению с троститом и сорбитом, полученным при непрерывном охлаждении, имеют более высокие значения в пределах текучести и ударной вязкости.

**Способы закалки**

В зависимости от состава стали, формы и детали выбирают способ закалки. К основным способам закалки относятся: закалка в одном охладителе, прерывистая закалка, изотермическая закалка и различные сочетания этих способов.

Закалка в одном охладителе - это наиболее распространенный способ закалки, заключается в нагреве стали выше температур, соответствующих критической точке Ac1 и Ac3 с последующей выдержкой и охлаждением со скоростью выше критической в одном охладителе (1). В качестве охлаждающей среды для углеродистых и низколегированных сталей служит вода, легированных - масло. Некоторые высоколегированные стали закаливают на спокойном воздухе. Немаловажное значение имеет и площадь сечения детали; так углеродистые и низколегированные стали с сечением 5 мм закаливают в воде. Детали переменного сечения или сечения менее 5 мм можно закаливать и в масле, поскольку охлаждающей способности масла достаточно, для того чтобы прокалить детали тонкого сечения насквозь. В ряде случаев для снижения структурных напряжений, обусловленных фазовым наклепом, проводят закалку с подстуживанием; для этого нагретую выше соответствующей температуры деталь после выдержки подстуживают, т.е. некоторое время охлаждают на спокойном воздухе, а при подходе к температурам минимальной устойчивости аустенита (500- 550) переносят в закалочную среду тем самым снижается уровень напряжений детали при полном превращении аустенита в мартенсит. Однако осуществления закалки с подстуживанием требует большого практического опыта.

Закалка в двух средах - этот способ является некоторой разновидностью способа закалки с подстуживанием и заключается в том, что нагретую до необходимой температуры деталь, выдержанную при этой температуре, переносят в охладитель, обеспечивающий такую скорость охлаждения, которая предотвратила бы распад переохлажденного аустенита в области температур минимальной устойчивости аустенита, например в воду, а затем переносят в менее интенсивно охлаждающую среду, в которой собственно и происходит закалка(2). Такой способ закалки позволяет снизить уровень закалочных напряжений и предотвратить появление таких закалочных дефектов как, например корабление.

Струйчатая закалка - этот способ применяется в том случае, когда нет необходимости закаливать деталь на одинаковую твердость по всей поверхности. Для таких типов деталей, как зубило важно получить высокую твердость рубящей кромки при сохранении вязкого хвостовика; в этом случае инструмент, нагретый до заданной температуры, охлаждают с рабочей поверхности струями воды, тем самым разрушается "паровая рубашка" и рабочая поверхность инструмента интенсивно охлаждается.

Закалка самоотпуском - этот способ практически несет то же функциональное назначение, что и струйчатая закалка, например зубило, нагревают до заданной температуры и переносят в охлаждающую среду только рабочую часть, затем после извлечения из закалочной среды проводят выдержку на свободном воздухе в результате которой рабочая часть отпускается за счет нагрева от нерабочей, неохлажденной части. Температуру отпуска охлажденной части контролируют визуально по цветам побежалости. Закалку с самоотпуском можно проводить и другим методом, для этого деталь (инструмент) полностью подвергают закалке, а затем нагревают только нерабочую часть и за счет теплопроводности отпускается рабочая часть.

Ступенчатая закалка - этот способ является разновидностью способа закалки в двух средах(2). Однако является более эффективной с точки зрения обработки детали деталь переменного сечения. При охлаждении до температуры несколько выше точки начала мартенситного превращения необходимо выровнять температуру по всем сечениям, для этого делают выдержку в первом охладителе до выравнивания температуры, а затем переносят деталь во вторую охлажденную среду, в которой и происходит закалка(3).

Изотермическая закалка - в отличие от ступенчатой при изотермической закалке деталь помещают в охлаждающую среду с температурой несколько выше температуры начала мартенситного превращения и выдерживают в этой среде до полного завершения превращения (4). В результате изотермической закалки образуется структура - бейнит, которая по сравнению с мартенситом имеет несколько более низкую твердость и повышенную вязкость.

Закалка с обработкой холодом - после закалки в высокоуглеродистых и особенно легированных сталей в структуре сохраняется аустенит остаточный, количество которого может достигать 40%. Присутствие Aост объясняется тем, что в указанных сталях положение точек конца мартенситного превращения переходит в область отрицательных температур и охлаждающей способности закалочных сред недостаточно, чтобы достигнуть температуру Мк, поэтому детали, изготавливаемые из этих сталей при необходимости, подвергают обработке холодом, размещая их в деталях в холодильные камеры, температура в которых не ниже (-70), температура обусловлена тем, что положение точек конца мартенситного превращения ни в одной стали ниже(-70)не находится. Обработка холодом, по сути, является продолжением закалки и особенно обработка необходима для прецизионных деталей(точечных деталей). Сохранение аустенита остаточного в сталях при эксплуатации детали подобного типа может привести к превращению аустенита остаточного в мартенсит и тем самым изменению размерной точности деталей, например подшипники качения, шарики, ролики являются прецизионными деталями в подшипниках качения. Изменение объема шарика в процессе эксплуатации за счет фазового превращения может привести к заклинированию, т.о. обработка холодом применяется в качестве обработки, обеспечивающей стабилизацию размеров детали. Помимо этого обработка холодом за счет превращения остаточного аустенита в мартенсит обеспечивает и повышение специальных свойств детали, например теплостойкости (быстрорежущие стали), магнитных свойств (постоянные магниты).

Отпуск стали: отпуск является окончательной термической операцией, применяемой после закалки; это нагрев стали ниже критической точки Ас1 с последующей выдержкой и охлаждением с заданной скоростью. Различают низкотемпературный (низкий), среднетемпературный (средний) и высокотемпературный (высокий) отпуск.

Низкий отпуск

Его проводят при t>250 градусах Цельсия. Этот вид отпуска приводит к превращению мартенситной закалки в март. отпуска и практически не снижая твердости несколько увеличивает другие прочностные характеристики и отчасти ударную вязкость.

Твердость стали с содержанием углерода 0.8-1% после низкого отпуска порядка 62-64HRC. Твердость легированных сталей несколько ниже в силу сохранения в них после закалки аустенита остаточного. Низкому отпуску подвергают инструментальные стали, предназначенные для изготовления штампов, деформирующих металлы в холодном состоянии, инструмента типа: зубило, лоток, режущий инструмент, работающих при низких скоростях резания, а также детали подвергнутые цементации, ционированию.

Средний отпуск

Это вид отпуска применяют в случае необходимости получения сочетаний высокого предела упругости с прочностными характеристиками. Например: при обработке пружин, рессор средний отпуск проводят при температурах 350–500 градусах Цельсия. Структура после среднего отпуска - тростит отпуска. Твердость 40–45HRC.

Высокий отпуск

Проводят при температурах 650–680 градусах Цельсия. Структура – сорбит отпуска. Этот вид отпуска применяется для получения лучшего сочетания прочностных свойств с ударной вязкостью. Термическая обработка, заключается в закалке с высоким отпуском называется улучшением.

**Основы химико–термической обработки**

Под химико–термической обработкой понимают насыщение поверхности металла элементами повышающими какие–либо свойства. Например: твердость, износостойкость, морозостойкость, коррозионную стойкость.

Поверхностная обработка обеспечивает хорошее сочетание твердости поверхностного слоя детали с вязкостью сердцевины. Для обеспечения такого сочетания кроме химико–термической обработки применяют и поверхностную закалку, которая относится к разряду местной обработки. Поверхность детали нагревают пламенем ацетилено–кислородной горелки или чаще током высокой частоты(ТВЧ). Нагрев ТВЧ осуществляется в 1000 раз быстрее по сравнению со скоростью нагрева в печах или в ваннах. После нагрева следует охлаждение со скоростью выше критической.

Нагрев ТВЧ обеспечивает прогрев до температур выше критической только поверхностного слоя. Сердцевина детали остается не прогретой => после закалки на поверхности формируется структура мартенсита, тогда, как в сердцевине детали структура характерна структуре отожженной стали. В отличие от поверхностной закалки ХТО имеет ряд преимуществ:

1.ХТО можно подвергать детали независимо от их размеров или форм.

2.При ХТО достигается большая разница в свойствах поверхности и серцевины.

3.После ХТО можно исправить структуру(например: изменить зерно) последующей термической обработки.

Процесс ХТО складывается из 3–х составных:

1.распад молекул газа с образованием активных атомов насыщенного элемента. Это диссоциация.

2.Поглощение атомов насыщенного элемента поверхностью детали–абсорция.

3.Диффузия атомов насыщенного элемента в глубь металла.Различают:

a) Самодиффузию – происходит перескок атомов основного металла в собственность кресталической решетки. Он не сопровождается изменением концентрации вещества.

б) Гедротиффузию–происходит перемещение атомов чужеродного элемента к кресталлической решетке основного металла, сопровождается изменением концентрации диффундизующего элемента от поверхности в сердцевине в сторону уменьшения.

Вид ХТО определяется названием диффузирующего элемента. Если насыщают поверхность детали углеродом, процесс называют цеминтацией, азотом–ахотированием и т.д. совместное насыщение углеродом и азотом –ционированием.

**Цементация**

Процесс насыщения поверхности изделия углеродом. Цементация повышает твердость и износостойкость поверхности детали при сохранении вязкости сердцевины. Различают твердую и газовую цементацию. При твердой цементации в ящик заполненный науглеражущим веществом(карбюризатором) и специальными добавками размещают детали. В качестве карбюризатора используют древесный уголь. пРи температуре процесса(900-950 градусах Цельсия) кислород воздуха, расположенного между кусочками угля взаимодействует с углеродом с образования окиси углерода СО. Именно СО, а не СО2 т.к. процесс идет при недостаточном колличестве кислорода. При контакте окиси углерода с металической поверхностью происходит реакция диссоциации при которой окись углерода распадается на СО2+реакция диссоциации с образованием активных атомов углерода, кат. диффунд. 2СО2->СО2+С

поверхность металла. В качестве добавок к карбюризатору используют соли: СО3, Na2CO3, K2CO3, являющиеся дополнительным поставщиком окиси углерода.

Процесс твердой цементации является мало производительным и занимает не один десяток часов. Это связанно с тем, что значительная часть времени тратится на прогрев ящика до заданной температуры т.к. корбюризатор является не теплопроводным веществом.

Эффективнее способ газовой цементации

В этом случае и/з камеру зазмещенные в ней детали пропускают науглераживающий газ или СО или, что чаще предельные углеводороды(метан, этан, пропан, гексан, октан, нонан, декан). В производстве чаще свего используется природный газ, содержащий до 93-95% группы СН4. При цементации тщательно регломентируют подачу газа. В случае избытка количества газа на поверхности детали оседает слой сажи т.к. не весь углерод может усваиваться поверхностью детали. Температуру цементации не выбирают ниже АС1 т.к. ферит практически не растворяет углерод. Процесс осуществляют выше АС3, а именно при температурах 900–930 градусах Цельсия. После цементации структура по сечению детали не однородна. На ковкости структура соответствующая структуре заэвтектоидной стали. Далее структура эвтектоидной стали(перлит), а затем структура доэтектоидной стали(Ф+П). За толщину слоя принимают толщину заэвт. эвт. и половину доэвт. зоны. Окончательные свойства формируются после термической обработки. Термообработка обеспечивает измельчение зерна неизбежно выросшего в процессе выдержки при высокой температуре. Устранение цементной сетки.

Термообработка заключается в закалке с температурой 820–840 градусах Цельсия и низком отпуске при температурах 60–64HRC, легированных 57–60HRC.

Маленькая твердость после ХТО легированных сталей обусловлена повышенным содержанием в структуре аустенита остаточного, для утранения которого после закалки, иногда проводят обработку холодом.

Для цементироания применяют стали с низким содержанием углерода 0.15–0.25%.

3. Классификация по составу

По составу легированные стали классифицируются в соответсвии с названием основных легирующих элементов(например хромо–никелевых, хромо–никель вольфрам и…,)

4. Классификация по названию:

а)Конструкционные стали, которые до потребителя подвергаются термической обработки. В связи с этим их подразделяют на цементуемые(подвергаемые цементированию и улучшению, подвергаемые закалке и высокому отпуску).

Несколько в стороне, но тоже относятся к конструкционным, которые у потребл. тело не подвергаются термообработке.

б)Инструментальные стали–стали предназначенные для изготовления режущего инструмента(углеродистые, легированные, быстро–режущие, штамповые).

в)стали и сплавы с особыми свойствами–это материалы с каким–либо ярко выраженным свойством(например: жаростойкие, коррозиционно стойкие, магнитные, электротехнические м т.д.).

Маркировка легированных сталей

Легированные стали маркируют цифрами и буквами. Первая цифра указывает на процентное содержание углерода в сотых долях. Следующей далее буквой указывают на прочность элемента, который образуется этой буквой. Если за буквой стоит цифра она обозначает в целых проценты. Если цифры нет, то содержимое этого элемента порядка 1%.

Буква: А если в средине маркировки, то N, в конце маркировки, то сталь улучшенного качества.

Б-Nb(необий), В-W, Г-Mn, Д-Cu, К-Co(кобаоьт)

М-Mo(нолептен), Н-Ni, П-P

P если в средине маркировки В(бор), если в начале, то указывает на то, сто сталь быстрорежущая, инструментальная.

С-Si(кремний), Т-Ti(титан), Ф-V(ванадий), Х-Cr(хром), Ч-РЗМ(редкоземельный)

СИ если в начале маркировки, то указывает, что сталь торикоподминниковая, если в средине–Mg(магний), Ю-Al

18ХГТ прибл. равно 0.18 углерода, порядка 1% хрома, 1% магния, 1% титана остальное железо.

20Х2НЧВА прибл. равно 2.0% углерода, 2% хрома, 4% никеля, 1%-W углеродного качества.

**Цементуемые стали**

К ним относятся стали с содержанием углерода от 0.1 до 0.25%. Эти стали подвергают цементации с последующей закалкой и низким отпуском при температуре порядка 150-200 градусов Цельсия. В зависимости от габаритов детали для их изготовления могут использоваться сталь 10–сталь 25 или лигидов. Однако основным показателем, который отличает цементуемые стали от других является содержание углерода. После цементной и термической обработки твердость цементованного слоя составляет около 58–62HRC.

**Выбор температуры нагрева закалки**

Температура нагрева под закалки выбирается исходя из состава стали. Нагрев осуществляется выше критических точек A1 или A3. Для доэвтектоидных сталей на 30-50 град. Выше критической точки Ac3 линия GS. После нагрева и выдержке следует охлаждение со скоростью выше критической, результатом такого охлаждения является структура мартенсита. А в сталях более 0.5% и до 0.8% помимо мартенсита в структуре сохраняется аустенит остаточный. Это вызвано тем, что положение точки конца мартенситного положения снижается в область отрицательных температур. Для доэвтектоидных сталей, нагрев под закалку выше Ac1. (PSK) – линия не проводиться. Последнее вызвано тем, что после закалки в структуре стали, будет присутствовать фирит. Фирит является наиболее мягкой структурой составляющей, что приводит к возникновению мягких пятен. Этот дефект получил название пятнистой твердости. Фирит располагается между иглами мартенсита, который образовался из аустенита. Температура нагрева для заэвтектоидной стали напротив, осуществляется на 30-50 град. Выше Ac1. Это обусловлено тем, что после закалки в структуре стали, сохраняется цементит, который является наиболее твердой структурной составляющей, дополнительно повышает прочностные св-ва. Структура заэвтектоидных сталей после закалки: мартенсит, цементит и аустенит остаточный. Причиной, по которой заэвтектоидные стали, не нагревают выше Acm(линия SE) является то, что эта линия располагается при более высоких температурах и в результате происходит рост зерна аустенита, а это в свою очередь приводит к получению после закалки крупно-игольчатого мартенсита. Крупно-игольчатый мартенсит по сравнению с мелко-игольчатым обладает пониженным значением ударной вязкости.

**Время нагрева подзакалки**

Нагрев деталей приводят в печах, в печах-ваннах индукционным нагревом, пламенем ацетиленокислородной горелки. В качестве нагревающей среды в печах-ваннах используют соли, смесь солей (BaCl2 и NaCl). Ванны применяют для нагрева до температур 1400-1450град. Общее время нагрева складывается из времени нагрева до заданной температуры и времени требуемой для прогрева детали. При нагреве в печах (камерных) вследствие контакта с окислительной средой (воздух) происходит обезуглероживание поверхностного слоя или окисление поверхностной детали. С целью предотвращения появления этих дефектов, нагрев проводят в кипящем слое, который представляет собой частицы …,через который пропускают горячий воздух. В кипящий слой помещают обрабатываемые детали.

**Скорость охлаждения при закалке**

Охлаждать при закалке следует с не одной скоростью. Важно чтобы в 1-й момент охлаждения скорость была замедлена, замедлена и в последующий момент. Особенно при протекании мартенситного превращения. Такая не равномерная скорость охлаждения выбирается из тех соображений, что С образные кривые имеют максимум в районе температур 500-560град. Поэтому аустенит, переохлажденный в районе этих температур имеет минимальную устойчивость. Выше и ниже перегиба С образных кривых аустенит более устойчив и скорость охлаждения должна быть меньше. При температуре мартенситного превращения замедленное охлаждение нужно, для того чтобы снизить напряжение, которое вызывается структурными превращениями. В качестве закалочных средств используют воду, водные растворы, масло. В воде подвергают закалке углеродные стали. В масле – легированные. Некоторые легированные стали, закаливают на спокойном воздухе. Выбор типа охлаждения среды зависит от критической скорости закалки конкретной стали. Чем ниже скорость закалки, тем выбирают охладитель менее интенсивно охлаждающий. При погружении нагретой детали, охлаждающую среду выделяют 3 участка или стадии охлаждения, отличающихся интенсивностью охлаждения.

1-я стадия – возникает в момент погружения детали. Вокруг детали паровая рубашка. На этой стадии интенсивность не велика.

2-я стадия – происходит разрушение паровой рубашки, и контакт детали с окружающей средой на поверхности детали охлаждающаяся среда кипит. Второй период получил название пузырчатого кипения. Это наиболее интенсивно охлажденная сталь.

3-я – температура детали становится соизмеримой с температурой охлаждающей среды. Начинается охлаждение детали за счет конвективного теплообмена. Скорость на этой стадии минимальна. Вода является наиболее охлаждающей средой, но воде присущ ряд недостатков:

1.Слишком быстрое охлаждение детали, в области температур мартенситного превращения и за счет этого может возникнуть термическое короблению металлов и трещинообразованию.

2.Вода имеет узкий интервал в стадии пузырчатого кипения. В стадии, на которой происходит наиболее интенсивное охлаждение.

3.Охлаждающаяся способность воды резко уменьшается с повышением ее температуры.

С целью расширения интервала пузырчатого кипения в воду добавляют различные соли или кислоты. Масло по сравнению с водой имеет низкую скорость охлаждения, поэтому его используют при закалке легированных сталей. Однако масло имеет существенный недостаток - –низкую температуру воспламенения.

**Закаливаемость и прокаливаемость**

Под закаливаемостью понимают способность стали к повышению твердости

Под прокаливанием понимают способность стали закаливаться на определенную глубину.

Глубина закаленной зоны является критерием прокаливаем ости. Обычно детали имеют более высокую твердость на поверхности и меньшую в сердцевине. Это объясняется теплопроводностью стали. Однако большинство деталей должны прокаливаться насквозь. Для обеспечения сквозной прокалки и контроля на ней был введен термин – критический диаметр. Под которым понимают максимальную размерность сечения детали, которая прокаливается насквозь. Для этого, чтобы закалить деталь насквозь в данном охладителе, необходимо чтобы критический диаметр Dкр больше диаметра сечения детали.

**Наклёп, возврат и рекристаллизация**

При пластической деформации металлов происходит изменение формы и размеров кристалла, изменение его пространственной кристаллографической ориентации, изменение внутреннего строения зерен.

Под действием нагрузки зерна вытягиваются в направлении деформации. Одновременно происходит ориентация кристаллографических плоскостей, относительно кристаллических направлений.. Формируется так называемая текстура (кристаллографическая текстура). Чем выше деформация, тем развитее становится текстура. В процессе пластической деформации увеличивается и количество дефектов кристаллического строения таких, как вакансии и дислокации. Плотность дислокации увеличивается с 106=108 см –2 до 1011-1012 см-2. Для некоторых металлов в процессе пластической деформации формируется ячеистая структура. Дислокация останавливается в определенных местах образуются границы ячеек, внутри которых находятся области практически свободные от дислокации. При больших степенях деформации плотность дислокации на границах возрастает. Границы становятся четкими – это так называемые субзернами, т.о. при пластической деформации происходит образование текстуры, увеличивается количество дефектов кристаллографического строения. Происходит увеличение угла разъориетации между отдельными ячейками (для некоторых металлов).