18.11.21 гр. 40-1 Материаловедение. Преподаватель Захаров Г.П.

* Тема: Понятие о термической обработке металлов. Факторы, определяющие режим термической обработки.

**Термической** **обработкой** называют процессы, заключающиеся в **тепловом** воздействии на сплав по **определенным** **режимам** для изменения его структуры и свойств. От **термической** **обработки** зависят качество и стойкость деталей и инструмента. На результат **термической** t **обработки** влияют следующие **факторы**: время (скорость) нагрева, температура нагрева, время (продолжительность) выдержки, время (скорость) охлаждения.

**Термическая обработка металлов и сплавов**

Процесс тепловой обработки металлических изделий с целью придания им заданной структуры и свойств называется термической обработкой. Она может быть промежуточная, с целью улучшения технологических свойств и заключительная - формирование свойств готовых изделий.

**4.1. Теоретические основы термической обработки**

**железоуглеродистых сплавов**

**Превращения в сталях при нагреве**. Нагрев стали выше линии Ас1 приводит к образованию аустенита. Теоретически при температуре А1 (а фактически при некотором перегреве) в перлите на межфазных границах феррит – цементит появляются зародыши аустенита. Их рост сопровождается образованием новых центров кристаллизации, и так до тех пор, пока весь перлит (теоретически при А1) не превратится в аустенит. Выше А1происходит превращение феррита в аустенит и растворение избыточного цементита. Однородный аустенит доэвтектоидных сталей образуется при нагреве выше Ас3, а заэвтектоидных – выше Асm.

Стали различают по склонности к росту зерна аустенита при нагреве. Если зерно аустенита начинает быстро расти при нагреве выше Ас3, то сталь называется наследственно крупнозернистой, если зерно растет только при большом нагреве (около 1000°С), то сталь наследственно мелкозернистая.

Получение крупного зерна возможно при **перегреве**. При охлаждении перегретой стали часть феррита (в доэвтектоидной) и цементит (в заэвтектоидной стали) выделяются в виде сетки по границам зерен или в виде пластин (игл), прорезающих зерна перлита (видманштеттова структура). Перегрев исправляется фазовой перекристаллизацией.

При температурах, близких к линии солидус, происходит окисление границ зерен – **пережог**. Это неисправимый брак.

**Превращения в сталях при охлаждении.**Если сталь охлаждать очень медленно, то происходящие превращения можно установить, пользуясь диаграммой Fe – Fe3C.

Вначале происходит выделение феррита (в доэвтектоидных сталях) или вторичного цементита (в заэвтектоидных сталях), а затем - превращение аустенита в перлит. Эти явления происходят вследствие полиморфного превращения Feγ в Feα и сопровождаются диффузией, т.е. перераспределением углерода. Диффузионные процессы происходят в течение некоторого времени, причем скорость диффузии резко падает с понижением температуры.

Удобно рассмотреть изотермическое превращение аустенита (происходящее при выдержке при постоянной температуре) для эвтектоидной стали (0,8%С). Влияние температуры на скорость и характер превращения аустенита представляют в виде диаграммы изотермического превращения аустенита (рис. 4.1).

Диаграмма строится в координатах температура – логарифм времени. Выше 727°С на диаграмме находится область устойчивого аустенита. Ниже этой температуры аустенит не устойчив и превращается в другие структуры. Первая С-образная кривая соответствует началу превращения аустенита, вторая – его завершению.

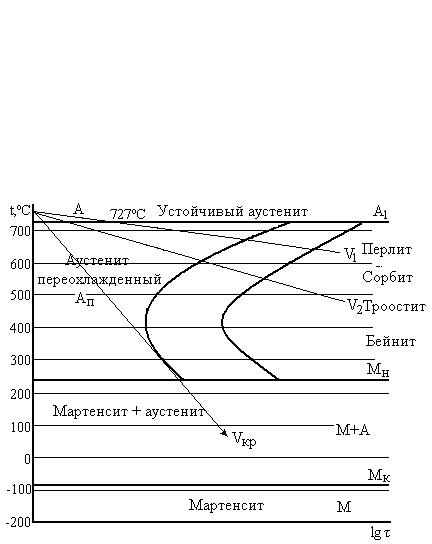


Рис. 4.1. Диаграммы изотермического превращения аустенита

для эвтектоидной стали (0,8%С)

При небольшом переохлаждении (до 550°С) происходит диффузионное превращение и в зависимости от степени переохлаждения образуется структуры **перлит**, **сорбит**, **троостит**. Это превращение называется **перлитным**. Все перечисленные структуры – механические смеси феррита и цементита, имеющие пластинчатое строение. Они отличаются только степенью дисперсности. С ростом степени переохлаждения уменьшается критический размер новой фазы и уменьшается их количество, а значит, чем ниже температура превращения, тем мельче ферритно-цементная смесь. Наиболее крупнодисперсная – перлит, наиболее мелкодисперсная – троостит, с увеличением дисперсности увеличивается твердость структур.

Перлит Сорбит Троостит

200…220HB 230…320HB 330…430HB

При переохлаждении аустенита приблизительно ниже 240°С скорость диффузии падает почти до нуля и происходит бездиффузионное **мартенситное** превращение. При бездиффузионном превращении Feγ(C) → Feα(C) весь углерод аустенита остается в решетке феррита. Так как максимальная растворимость углерода в Feα не превышает 0,02 % , а в исходной фазе – аустените может достигать 2,14 %, то при превращении образуется пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в Feα, называемый мартенситом.

Наименьшая скорость охлаждения, необходимая для образования структуры мартенсита, называется критической скоростью закалки Vкр.

При образовании мартенсита объемноцентрированная кристаллическая решетка Feα за счет пересыщения углеродом сильно искажается и превращается из кубической в тетрагональную (c/a >1), причем с увеличением содержания углерода степень тетрагональности решетки мартенсита увеличивается (рис. 4.2).

Мартенсит характеризуется очень высокой твердостью (до HRC65) и хрупкостью. Это объясняется сильным искажением решетки Feα и созданием в ней больших внутренних напряжений.

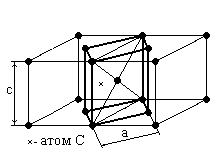


Рис. 4.2. Схема образования тетрагональной решетки мартенсита

Горизонтальная линия Мн диаграммы соответствует температуре начала превращения аустенита в мартенсит и называется мартенситной точкой, а линия Мк – температуре завершения этого процесса. Положение точек Мни Мкне зависит от скорости охлаждения, а только от химического состава стали – содержания углерода и присутствия легирующих элементов.

Если изотермическую выдержку проводить в интервале Мн – Мк, то, несмотря на имеющееся иногда даже большое количество аустенита, мартенситное превращение прекращается, т.е. если Мк находится в области низких температур, то при 20°С в структуре стали наряду с мартенситом, будет сохранятся какое-то количество аустенита, называемого остаточным, Аост (рис. 4.3).

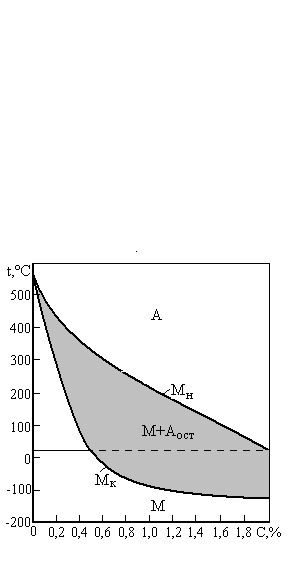


Рис. 4.3. Зависимость температуры начала (Мн) и конца (Мк) мартенситного превращения от содержания углерода в стали

В диапазоне температур от мартенситного до перлитного превращения происходит промежуточное (**бейнитное**) превращение и образуется структура, называемая **бейнит** – незначительно пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в Feαв смеси с карбидами. Различают верхний бейнит (350…450°C), напоминающий троостит (чередование пластинок феррита и цементита), и нижний бейнит, напоминающий по своему строению мартенсит (300°C). Твердость бейнита около 50HRC.

**Перлитное**превращение происходит при отжиге и нормализации, **мартенситное** – при закалке.

**Превращение в закаленных сталях при отпуске.**Для получения более равновесного состояния стали после закалки подвергают отпуску – нагреву до температур ниже А1.

Различают четыре основных превращения при отпуске.

При первом превращении (80…200°С) в отдельных участках исходного мартенсита выделяются тончайшие пластины карбида, состав которого – FexС и обозначение – **ε**-карбид.

Прилегающий к карбидам мартенсит обедняется углеродом, и в одном зерне образуется два твердых раствора с одинаковой решеткой, но с разной концентрацией углерода. Поэтому такой распад мартенсита называется двухфазным, и его результатом является мартенсит отпуска.

При втором превращении (200…300°С) остаточный аустенит превращается в мартенсит отпуска, **ε**-карбид в цементит, а распад мартенсита распространяется на весь объем.

Третье превращение (300…400°С) характеризуется полным переходом мартенсита в троостит отпуска.

При четвертом превращении (450…650°С) происходит рост частичек цементита, причем они имеют округлую форму. При 550…600°С получают сорбит отпуска, а при 650…700°С – зернистый перлит, или перлит отпуска.

## 4.2. Технология термической обработки стали

Различают следующие виды термической обработки: отжиг, нормализация, закалка и отпуск.

**Отжиг.**Это вид термической обработки, заключающийся в нагреве стали до определенной температуры, выдержке при этой температуре и медленном охлаждении вместе с печью. Цели отжига – снижение твердости и улучшение обрабатываемости стали, получение равновесной структуры, выравнивание химического состава, снятие внутренних напряжений.

Существуют различные виды отжига – диффузионный, рекристаллизационный, полный, неполный, отжиг на зернистый перлит, отжиг для снятия внутренних напряжений и другие (рис. 4.4).

**Диффузионный отжиг** (1) заключается в нагреве до 1000…1000°С, длительной выдержке (10…15 часов) и последующем медленном охлаждении. В результате происходит выравнивание неоднородности стали по химическому составу.

**Рекристаллизационный отжиг**(2)предназначен для снятия наклепа и внутренних напряжений после холодной деформации. Температура нагрева рекристаллизационного отжига 650…700°С. В результате образуется однородная мелкозернистая структура с небольшой твердостью и значительной вязкостью.

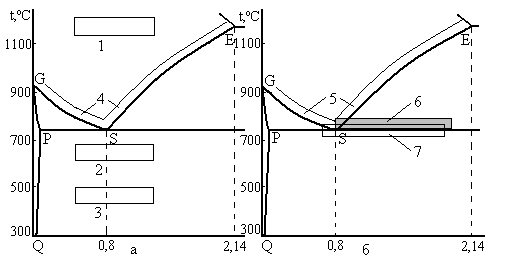


Рис. 4.4.Температура нагрева стали при различных видах отжига

**Отжиг для снятия внутренних напряжений**(низкий отжиг) (3). Температура нагрева 200…600°С. Применяется, когда структура стали удовлетворительна и необходимо только снять внутреннее напряжение, возникающее при кристаллизации, после сварки или механической обработки.

**Полный отжиг**(5) применяется для доэвтектоидных сталей. Нагрев стали выше линии GS (Ас3) на 30…50°С. Структура, состоящая из крупных зерен феррита и перлита, превращается в аустенит, а при медленном охлаждении в структуру из мелких зерен феррита и перлита. При полном отжиге измельчается зерно, снижается твердость и прочность, повышается пластичность.

**Неполный отжиг**(6) нагрев выше линии PSК (Ас1) на 30…50°С. Он производится, если исходная структура вполне удовлетворительна.

**Отжиг на зернистый перлит**(7), или циклический отжиг, – это 3-5 кратный нагрев до 740…750°С, изотермическая выдержка и медленное охлаждение до 680°С (ниже А1). В результате получается структура зернистого перлита и сталь становится пластичной, с меньшей твердостью и прочностью по сравнению с пластинчатым перлитом. Применяется для подготовки сталей к закалке или для улучшения обрабатываемости резанием.

**Изотермический отжиг** (перекристаллизационный отжиг – возможно полное изменение фазового состава) проводят с целью экономии времени. Он осуществляется по следующей схеме. Нагрев доэвтектоидной стали выше Ас3, заэвтектоидной – выше Ас1. Выдержка до полного фазового превращения. Быстрое охлаждение до температуры на 30…100°С ниже Аr1, изотермическая выдержка до полного распада аустенита в перлит и охлаждение на спокойном воздухе. Этим экономится время, достигается (за счет изотермической выдержки) однородность структуры, особенно у легированных сталей.

**Нормализация**(4) – разновидность полного отжига. Нагрев на 30…50°C выше Ас3 или Асm, выдержка и охлаждение на спокойном воздухе. Отличие нормализации от полного отжига в скорости охлаждения – при нормализации она выше. Проводится с целью экономии времени как заключительная операция для низкоуглеродистых и легированных сталей, но чаще как промежуточная операция, улучшающая структуру заэвтектоидной стали перед закалкой. Твердость и прочность стали выше, чем после отжига.

**Закалка** **стали.**Закалка **–** вид термической обработки, состоящий в нагреве стали выше критических точек, выдержке и последующем быстром охлаждении. В результате закалки повышается твердость и прочность, но снижается пластичность и вязкость.

Основные параметры при закалке – температура нагрева и скорость охлаждения. Температуру нагрева определяют по диаграммам состояния, скорость охлаждения – по диаграммам изотермического распада аустенита.

Для полного отжига, нормализации и закалки изделия нагревают практически до одинаковых температур, основное отличие этих видов термообработки состоит в скорости охлаждения.

**Температура закалки** для доэвтектоидных сталей – Ас3(линия GS диаграммы) + (30…50)°C. Если нагреть до температуры между критическими точками Ас1 и Ас3 то после закалки в структуре мартенсита появится феррит, что ухудшает свойства изделия.

Заэвтектоидные стали нагревают до температуры Ас1(линия РSК диаграммы) + (40…60)°C, это так называемая неполная закалка, сохраняющая в структуре стали цементит. После закалки получается структура мартенсита с включениями цементита вторичного, что повышает твердость и износостойкость.

Время и скорость нагрева зависит от размеров изделия и теплопроводности стали (имеются эмпирические формулы в справочниках).

Продолжительность выдержки при температуре закалки выбирают такой, чтобы произошла гомогенизация аустенита.

**Скорость охлаждения** зависит от охлаждающей среды, формы изделия, теплопроводности стали. Обычно в результате закалки образуется мартенситная структура, поэтому охлаждать сталь следует с такой скоростью, чтобы кривая охлаждения не пересекала С-образные кривые изотермического превращения аустенита (рис. 4.1).

Основные требования к охлаждающей среде – высокая скорость охлаждения в области температур 650…550°С – область наименьшей устойчивости переохлажденного аустенита и более низкая скорость, ниже 300°С – область мартенситного превращения. В первой области желательно подавить диффузионные процессы, а во второй уменьшить термические и структурные напряжения.

В качестве закалочных сред для углеродистых сталей используют воду, минеральные масла, для легированных сталей дополнительно – расплавленные соли, растворы NaOH и NaCl в воде и т.д.

Основными технологическими свойствами, характеризующими процесс закалки стали, являются закаливаемость – способность стали повышать твердость в результате закалки (зависит от содержание углерода) и прокаливаемость – способность стали получать закаленный слой с мартенситной или мартенситно-трооститной (50/50) структурой и высокую твердость на ту или иную глубину (зависит от критической скорости закалки). Характеристикой прокаливаемости являются Dкр–критический диаметр – максимальный диаметр прутка, который закаливается насквозь в данном охладителе (рис. 4.5).

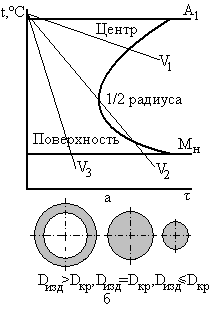


Рис. 4.5. Скорость охлаждения по сечению изделия (а), закаленный слой (серый) в образцах различного сечения (б)

В этом случае на поверхности изделия и в его центре скорость охлаждения больше критической. С введением в сталь легирующих элементов закаливаемость и прокаливаемость стали увеличивается.

**Способы закалки стали.**Существуют различные способы охлаждения стали при закалке. Они выбираются в зависимости от формы изделия, марки стали и необходимого комплекса свойств (рис 4.6).

Закалку в одном охладителе (V3) применяют для простых изделий. Основной недостаток закалки – большие термические напряжения в металле.

Закалку в двух охладителях (V4) (например, вода и масло) используют для деталей более сложной формы.

Ступенчатая закалка (V5) проводится по следующей схеме: деталь охлаждают в среде, имеющей температуру несколько выше Мн, и выдерживают до приобретения деталью температуры закалочной среды, но не превышают времени устойчивости аустенита при этой температуре и затем охлаждают с небольшой скоростью.

При изотермической закалке (V6) деталь охлаждают в среде с температурой выше Мн (и соответствующей получаемой структуре) и выдерживают в течение времени, необходимого для полного превращения аустенита в необходимую структуру.

Закалка с самоотпуском применяется для обработки ударного инструмента (зубил кузнечного инструмента и т.д.), когда требуется постепенное понижение твердости от поверхности изделия к центру. Охлаждение проводят в одном охладителе и прерывают, когда сердцевина еще имеет достаточно тепла, за счет которого поверхностный слой вновь нагревается и таким образом происходит отпуск.

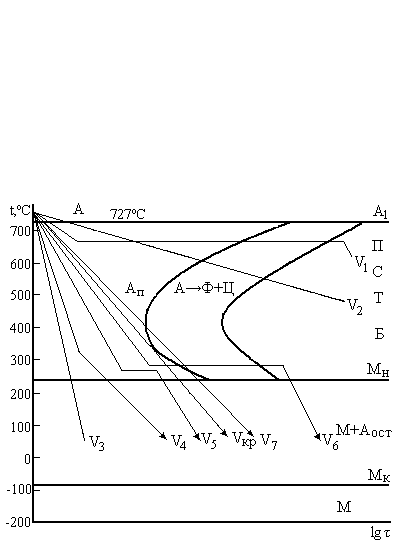


Рис. 4.6. Различные способы термической обработки:

V1 – изотермический отжиг, V2 – нормализация, V3 – закалка в 1 среде,V4 – закалка в 2-х средах, V5 – ступенчатая закалка, V6 – изотермическая закалка, V7 – неполная закалка

Поверхностная закалка применяется для получения изделия с вязкой сердцевиной и твердой износостойкой поверхностью. Известно несколько методов быстрого нагрева поверхностного слоя (токами высокой частоты, лазером и др.). Наибольше применение нашел нагрев токами высокой частоты (ТВЧ) с последующим быстрым охлаждением. Нагрев поверхности до температуры Ас3происходит за 3…5 секунд, в это время сердцевина прогревается ниже Ас1, поэтому поверхность закаленного изделия приобретает мартенситную структуру, а сердцевина остается без изменений (перед закалкой изделие обычно нормализуют). Твердость поверхности после закалки и низкого отпуска – 54…58 HRC.

Обработка холодом предложена для легированных сталей, температура мартенситного превращения Мк которых лежит ниже нуля. Обработка холодом вызывает превращения остаточного аустенита в мартенсит, что повышает твердость, износостойкость, стабилизирует размеры изделия. Обработку производят сразу после закалки, чтобы не произошла стабилизация А, и затем проводят отпуск, чтобы снять напряжения.

**Отпуск** – нагрев закаленной стали до температур ниже критической точки Ас1, выдержка при этой температуре и охлаждение (обычно на воздухе).

Отпуск – окончательная термообработка, и его целью является изменение строения и свойств стали: повышение вязкости и пластичности, уменьшение твердости и устранение внутренних напряжений.

В зависимости от температуры нагрева различают три вида отпуска: низкотемпературный (низкий), среднетемпературный (средний) и высокотемпературный (высокий).

При низком отпуске закаленную сталь нагревают до 150…200°С, выдерживают в течение 1…3 часов и охлаждают. Структура – отпущенный мартенсит. Применяется для закаленных и химико-термически отработанных углеродистых и легированных сталей, от которых требуется высокая твердость (58…63HRC), износостойкость и стабильность размеров (инструмент). Снимаются (частично) закалочные напряжения, происходит некоторое увеличение пластичности и вязкости.

При среднем отпуске закаленную сталь нагревают на 350…450°С. Получаемая структура, троостит отпуска зернистый, обладает высокой твердостью (40-50HRC), прочностью, хорошей упругостью и достаточной вязкостью. Применяется для пружин, рессор, штампов, ударного инструмента.

При высоком отпуске закаленные изделия нагревают до 500…650°С, выдерживают и охлаждают. Структура – зернистый сорбит (цементит приобретает зернистую структуру). Это существенно повышает ударную вязкость и пластичность при твердости 30…40HRC, получается оптимальное для конструкционных сталей сочетание механических свойств.

Высокому отпуску подвергаются среднеуглеродистые (0,3…0,5%С) и легированные стали. Он применяется для деталей, подвергающихся действию высоких нагрузок. Закалку с высоким отпуском называют улучшением.

**4.3. Химико-термическая обработка**

Химико-термическая обработка – это способ поверхностного упрочнения металла, представляющий собой технологический процесс насыщения поверхностного слоя металла каким-либо элементом. При этом изменяется химический состав поверхностных слоев изделия за счет диффузионного насыщения их элементами, повышающими твердость, износоустойчивость и др.

Основными видами ХТО являются цементация, азотирование, цианирование и диффузионная металлизация.

**Цементация** – это процесс насыщения поверхности стальных деталей углеродом. Изделия нагревают в среде, легко отдающей углерод. Цементации подвергаются, как правило, стали с содержанием углерода (0,1…0,3%C), в том числе и легированные. В результате на поверхности концентрация углерода возрастает до 1%.

Глубиной цементации условно считают расстояние от поверхности детали до половины зоны, где в структуре наряду с перлитом имеется такое же количество феррита. Глубина цементации в среднем достигает 1…2мм.

Различают цементацию твердым карбюризатором (углеродосодержащими смесями) и газовую.

Цементацию твердым карбюризатором – смесью древесного угля (75…80% по объему) и активаторов BaCO3, NaCO3, K2CO3 осуществляют в герметично закрытых ящиках при температуре 900…950ºС в течение 8…14часов.

Более дешевой и современной является газовая цементация, при которой детали нагревают в герметических печах в атмосфере углесодержащих газов (природного – 96% метана, окиси углерода, пропана и др.) при температуре 930…950°С в течение 8-12 часов. Толщина цементованного слоя составляет 1…2,5 мм.

Окончательные свойства проявляются после термической обработки – закалки с низким отпуском.

После закалки и отпуска изделия приобретают твердость 60…63HRC. Цементируют истирающиеся детали машин: зубчатые колеса, поршневые пальцы, червяки, кулачковые валики, толкатели клапанов и др.

**Азотирование** – это насыщение поверхностного слоя азотом. При этом не только увеличивается твердость и износостойкость, но и повышается коррозионная стойкость. Азотированию подвергают многие конструкционные и инструментальные стали, но наилучший эффект получают у легированных сталей, содержащих алюминий, хром, титан и другие элементы. Это связано с образованием нитридов легирующих элементов (MoN, CrN).

Азотирование – окончательная операция при изготовлении детали, прошедшей термообработку (закалку с высоким отпуском) и имеющей структуру сорбита отпуска. Проводится азотирование при температуре 500…600°С в среде аммиака NH3 в течение длительного времени (до 60 час.). Глубина азотированного слоя составляет 0,3…0,6мм, твердость поверхностного слоя доходит до 1200HV. Азотированию подвергают цилиндры моторов и насосов, шейки валов и т.д.

**Цианирование**и**нитроцементация** стали – это процесс одновременного насыщения поверхности стали углеродом и азотом. Цианированный слой обладает высокой твердостью и сопротивлением износу, повышается усталостная прочность и коррозионная стойкость. Совместная диффузия C и N происходят быстрее, чем диффузия каждого элемента в отдельности.

Цианирование проводят в расплаве цианистых солей NaCl, KCN, Ca(CN)2, оно бывает высокотемпературным (800…950°С) и низкотемпературным (540…560°С). Высокотемпературное (глубокое) цианирование (900…950°C, 1,5…6 часов) дает насыщение 1…1,2%С и 0,2…0,3%N на глубину 0,6…2,0 мм для сталей начально содержащих 0,2…0,4%С. После высокотемпературного цианирования следует закалка с низким отпуском. Твердость поверхности – 60HRC. Низкотемпературное цианирование проводится при температуре 540…560ºC, при этом преобладает насыщение азотом, глубина цианированного слоя составляет 0,2…0,5 мм твердость поверхности 1000HV.

Нитроцементацию, или газовое цианирование проводят в газовых смесях, содержащих 70…80% цементирующего газа и 20…30% аммиака. Состав газов и температуру определяют соотношение углерода и азота в цианированном слое. Твердость нитроцементованных изделий 58…60HRC. Этой обработке подвергают детали сложной конфигурации, склонные к короблению.

**Диффузионная металлизация** – это насыщение поверхности стальных изделий алюминием, хромом, кремнием и др.

**Алитирование** – насыщение поверхности изделия алюминием. Проводится в твердой или жидкой среде. В твердом состоянии насыщение проводится в засыпке ферроалюминия и хлористого алюминия при 950…1000°С в течение 3…12часов.

Металлизация в жидком алюминии при 700…800°С дает тот же эффект за 1…1,5 часа. Алитированный слой имеет глубину 0,3…0,8мм, cсодержание алюминия достигает до 30%. Алитированные детали приобретают высокую жаростойкость, они могут работать при температуре до 1150°С за счет образования на поверхности детали пленки Al2O3.

**Хромирование** – насыщение поверхности хромом повышает сопротивление газовой коррозии (окалиностойкости) до 800°С и коррозионную стойкость в HNO3, морской воде и др. Хромирование проводится в жидкой среде при 950…1000°С в течение 5…20 часов, получается глубина слоя 0,2…0,3 мм, насыщенная карбидами хрома и имеющая твердость 1200…1300HV.

**Силицирование** – насыщение поверхности кремнием для повышения жаростойкости, коррозионной стойкости, износостойкости. Детали засыпают порошком ферросилиция, нагревают до 950…1050°С, пропускают хлор в течение 2 часов и получают слой глубиной в 1 мм, содержащий кремния до 14%.

**Борирование** – насыщение поверхности бором для повышения износостойкости при абразивном износе. Температура жидкого электролизного процесса 930…950°С, длительность 2…6 часов, глубина 0,15…0,35мм, твердость 1800…2000HV. В порошкообразных смесях, содержащих кроме бора алюминий, проводят бороалитирование. После борирования детали подвергают изотермической и ТВЧ закалке для уменьшения напряжений в поверхностном слое.

**4.4. Термомеханическая обработка**

Термомеханическая обработка – комбинированный метод обработки, в котором сочетаются пластическая деформация и термическая обработка.

Преимуществом ТМО является то, что при существенном увеличении прочности пластичность снижается незначительно, а ударная вязкость выше в 1,5 - 2 раза, чем у такой же стали после закалки с низким отпуском.

Сущность ТМО заключается в том, что перед закалкой проводят пластическую деформацию высокотемпературной фазы, в результате чего она претерпевает фазовое превращение в наклепанном или частично рекристаллизованном состоянии. В зависимости от температуры, при которой проводят деформацию, различают **высокотемпературную обработку** (ВТМО) и **низкотемпературную** (НТМО) (рис. 2.7).

При ВТМО деформация осуществляется при температурах выше А3по следующей схеме: нагрев выше А3для получения однородной структуры аустенита, подстуживание, деформация на 25…30% и сразу же, чтобы не произошло рекристаллизации, закалка, а затем низкий отпуск. При ВТМО мартенситное превращение происходят в стали с деформированной структурой зерен аустенита.

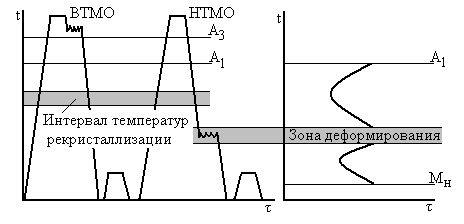


Рис. 4.7. Схемы различных вариантов термомеханической обработки

НТМО применяется к среднеуглеродистым легированным сталям, закаливаемым на мартенсит. При НТМО деформации подвергается переохлажденный аустенит при температурах ниже А1и температуры рекристаллизации, но выше температуры начала мартенситного превращения. Иногда НТМО называют **аусформинг**.

Закалка деформированного после ТМО аустенита образует более мелкие пластинки мартенсита.

**4.5. Механическое упрочнение поверхности**

Кроме рассматриваемых выше способов упрочнения поверхностного слоя применяются методы механического упрочнения. Один из них – дробеструйная обработка – упрочнение поверхности полностью обработанных изделий стальной и чугунной быстро летящей дробью, которая вызывает пластическую деформацию поверхностного слоя металла на глубину от 0,15 до 0,30 мм.

Дробеструйная обработка упрочняет детали, работающие при знакопеременной нагрузке рессоры, пружины, торсионы, валы и т. д. После дробеструйной обработки, для сглаживания мелких вмятин, цилиндрические детали подвергают обкатке специальными роликами.

Контрольные вопросы:

Написать конспект лекции и ответить на вопросы.

1.Что называется отжигом?

2.Как влияет отжиг на свойства металла?

3.Для чего производится закалка?

4.Что такое нормализация?

5.Как влияет темпмратура и скорость охлаждения металла?

6.Какие существуют способы закалк?

7.Какие процессы относятся к химико-термичиеской обработке металлов?