

Управление образования
Могилёвского областного исполнительного комитета

Учреждение образования
«Могилёвский государственный машиностроительный
профессионально-технический колледж»



ЭЛЕМЕНТ
учебно-методического
комплекса
по учебному предмету:
«Материаловедение»

ОПОРНЫЙ КОНСПЕКТ
по учебному предмету : «Материаловедение»
по теме: «Термическая, химико-термическая и
термомеханическая обработка металлических
материалов»

**Квалификация: «Кузнец на молотах и
прессах»**

РАЗРАБОТЧИК:

Свиридов С.В.,
преподаватель высшей
категории

2017

Материалы рассмотрены на заседании методической комиссии преподавателей специальных дисциплин и мастеров производственного обучения

Протокол от _____ 2017 № ____.

Председатель методической комиссии _____ С.В. Свиридов

Аннотация

Опорный конспект по учебному предмету: «Материаловедения», предназначен для проведения учебных теоретических занятий по квалификации: «Кузнец на молотах и прессах».

Опорный конспект составлен согласно учебного плана предмета и содержит материал, который может быть использован преподавателем и обучающимися при подготовке к занятиям.

Конспект содержит рисунки, которые наиболее полно иллюстрирует текстовый материал.

Данная работа предназначена для обучающихся и преподавателей специальных профессионально-технических предметов.

СОДЕРЖАНИЕ

1 Сущность и назначение термической обработки	5
2 Превращения протекающие в стали при охлаждении	9
3 Отжиг и нормализация углеродистых сталей. Закалка стали. Отпуск стали	11
3.1 Отжиг и нормализация	11
3.2 Закалка и отпуск стали	13
3.3 Поверхностное упрочнение стали	15
4 Дефекты, возникающие при термической обработке	17
4.1 Дефекты при отжиге и нормализации	17
4.2 Дефекты при закалке	18
5 Особенности термической обработки легированных сталей.	20
6 Обработка холодом. Поверхностная закалка. Виды химико-термической обработки.	22
6.1 Обработка холодом	22
6.2 Поверхностная закалка	22
6.2 Виды химико-термической обработки	24
Список литературы	

1 СУЩНОСТЬ И НАЗНАЧЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Термическая обработка предполагает получение необходимых свойств сплава путем его нагрева до определенной температуры, некоторой выдержки и охлаждения с определенной скоростью рис.1.

Изменяя температуру нагрева и скорость охлаждения можно по разному изменить структуру сплава и получить различные свойства.

В зависимости от того, как изменяются свойства при термической обработке, можно различать **упрочняющую термическую обработку**, при которой повышаются твердость, прочность и износостойкость, и **разупрочняющую термическую обработку**, повышающую пластические свойства, вязкость и снижающие твердость, прочность, сопротивление деформации.

На практике оба вида термической обработки имеют широкое применение.

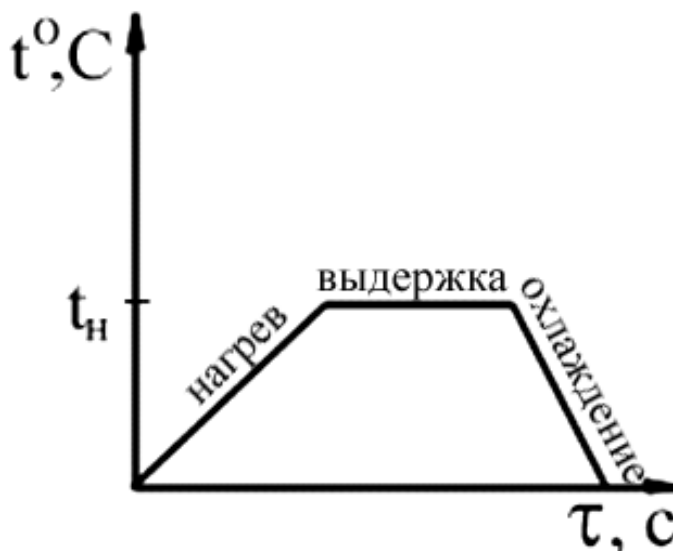


Рисунок 1 - Сущность термической обработки

1. Нагрев. Основная характеристика – скорость нагрева. Выбор скорости нагрева определяется характером распределения температуры внутри детали. В результате неравномерного нагрева деталь может разрушиться.

2. Выдержка. Температура нагрева – определяющий параметр. В зависимости от температуры меняется характер диффузионных процессов. Время выдержки – выбирается так, чтобы

а) обеспечить равномерное распределение температуры по требуемому объему металла

б) обеспечить завершение необходимых процессов.

3. Охлаждение. Скорость охлаждения – критический параметр. В зависимости от скорости охлаждения процессы в структуре могут быть

а) диффузионными (малая скорость)

б) бездиффузионными (большая скорость).

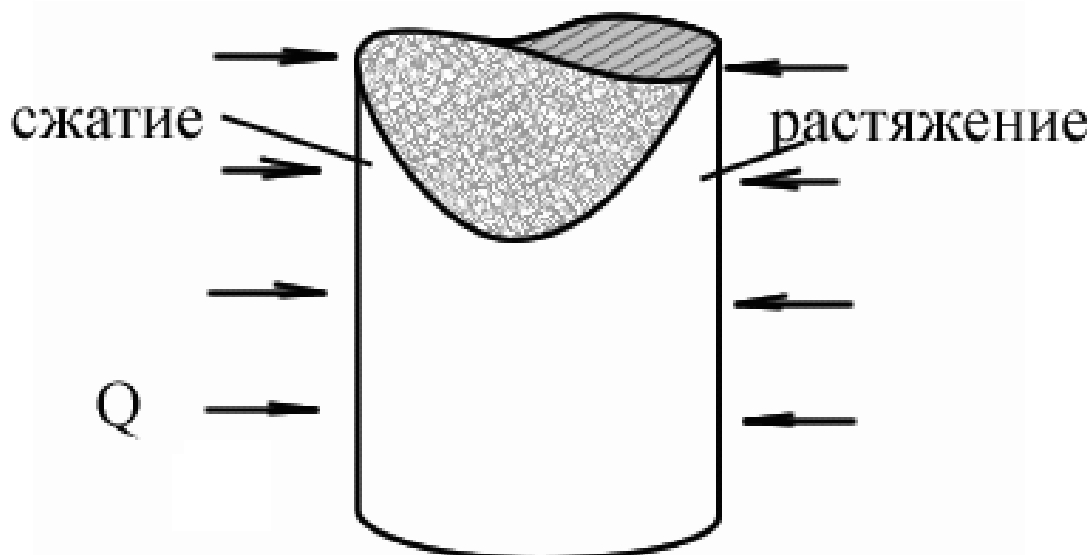


Рисунок 2 – Термические напряжения

Результат в зависимости от скорости охлаждения качественно различный.

Первую классификацию различных видов термической обработки предложил академик А.А. Бочвар была разработана классификация видов и разновидностей термической обработки сталей и цветных металлов, а также соответствующая технология, рис.3.

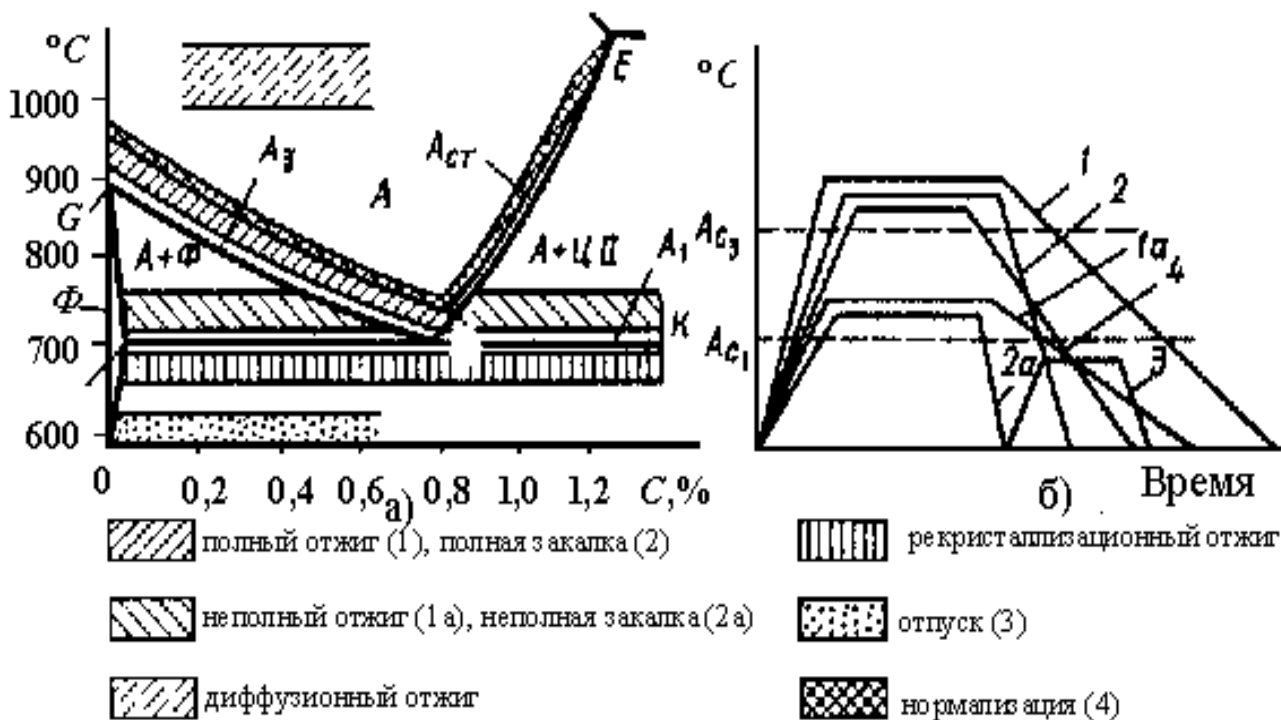


Рисунок 3 – Температура нагрева углеродистых сталей при различных видах термообработки (а) и циклограммы соответствующих видов ТО (б)

Собственно-термическая обработка заключается только в термическом воздействии на металл или сплав, химико-термическая - в сочетании химического и термического воздействия, термомеханическая - в сочетании термического воздействия и пластической деформации. Собственно-

термическая обработка включает в себя 6 основных видов, которые в свою очередь имеют различные разновидности также как и химико-термическая и термомеханическая обработки.

Отжиг первого рода.

При литье, обработке давлением, сварке и других технологических процессах в структуре металлов и сплавов могут возникать отклонения от равновесного состояния. Отжиг 1 рода частично или полностью устраняет эти отклонения. Основные параметры - температура нагрева и время выдержки. Скорость нагрева и охлаждения имеют подчиненное значение. Его проведение не обусловлено фазовыми превращениями в твердом состоянии, т.е. для железоуглеродистых сплавов нагрев производится до температур лежащих ниже A_{c1} рис.3,кр. 1.

Для Fe-C сплавов в зависимости от назначения дорекристаллизационный и рекристаллизационный отжиг и отжиг для снижения внутренних (остаточных) напряжений. Этот вид обработки применим к любым металлам и сплавам.

Отжиг второго рода.

Используется при необходимости изменить структуру и свойства металла или сплава. После термической обработки получают структуру близкую к равновесной. Основные параметры: температура нагрева, время выдержки и скорость охлаждения. Нагрев производится выше температуры A_{c3} , время выдержки должно обеспечить необходимые структурные изменения, а скорость охлаждения достаточно мала, и обеспечить обратные фазовые превращения, в основе которых лежат диффузионные процессы. В зависимости от назначения для Fe-сплавов различают: неполный отжиг-нагрев выше температуры A_{c1} , но ниже A_{c3} , охлаждение с печью; полный отжиг -нагрев до $A_{c3} + 30 - 40^\circ$, охлаждение с печью; нормализацию -нагрев до температуры $A_{c3} + 30 - 40^\circ$, охлаждение на воздухе; изотермический отжиг, рис.3, гр 2, 3, 4, 5 соответственно.

Закалка.

Как и отжиг второго рода используется для изменения структуры и свойств металлов и сплавов. После термообработки получают неравновесную структуру со свойствами существенно отличными от свойств в равновесном состоянии. Основные параметры: температура нагрева и скорость охлаждения. Нагрев производится выше температуры начала фазовых превращений. Время выдержки должно быть достаточно для необходимых структурных превращений, а скорость охлаждения достаточно велика, чтобы обратные превращения, связанные с диффузионными процессами, не успели произойти.

Существуют два резко различных вида закалок: закалка без полиморфного превращения и закалка с полиморфным превращением.

Закалка без полиморфного превращения применима к любым сплавам, в которых при нагреве одна фаза полностью или частично растворяется в другой. После закалки образуется пересыщенный твердый раствор компонента *А* в компонент *Б*. Такой вид закалки характерен при обработке цветных сплавов.

Закалка с полиморфным превращением возможна для любых металлов и сплавов, у которых при охлаждении изменяется кристаллическая решетка. При этом образуется новая фаза, называемая мартенситом.

Такая закалка характерна для железоуглеродистых сплавов, у которых различают две разновидности: неполная закалка с нагревом до температур $A_{c1} + 20 - 40$ полная закалка с нагревом до температур $A_{c3} + 20 - 40$.

Старение и отпуск.

После закалки сплав находится в метастабильном состоянии (пересыщенный твердый раствор) и обладает повышенной свободной энергией. Свойства его неудовлетворительные. Для ускорения процесса распада твердого раствора его нагревают, подвергают отпуску или старению.

Обычно термин отпуск применяют к сплавам подвергнутым закалке с полиморфным превращением прежде всего к железоуглеродистым сплавам - сталям и чугунам. Для цветных сплавов чаще используется термин «старение». Основные параметры отпуска и старения - температура и время выдержки.

2 ПРЕВРАЩЕНИЯ ПРОТЕКАЮЩИЕ В СТАЛИ ПРИ ОХЛАЖДЕНИИ

При медленном охлаждении стали образуются структуры, соответствующие диаграмме Fe-Fe₃C. Вначале происходит выделение феррита (в доэвтектоидных сталях) или вторичного цементита (в заэвтектоидных сталях), а затем происходит превращение аустенита в перлит. Это превращение заключается в распаде аустенита на феррит, почти не содержащий углерода и цементит, содержащий 6,67% С. Поэтому превращение сопровождается диффузией, перераспределением углерода. Диффузионные процессы происходят в течение некоторого времени, причем скорость диффузии резко падает с понижением температуры

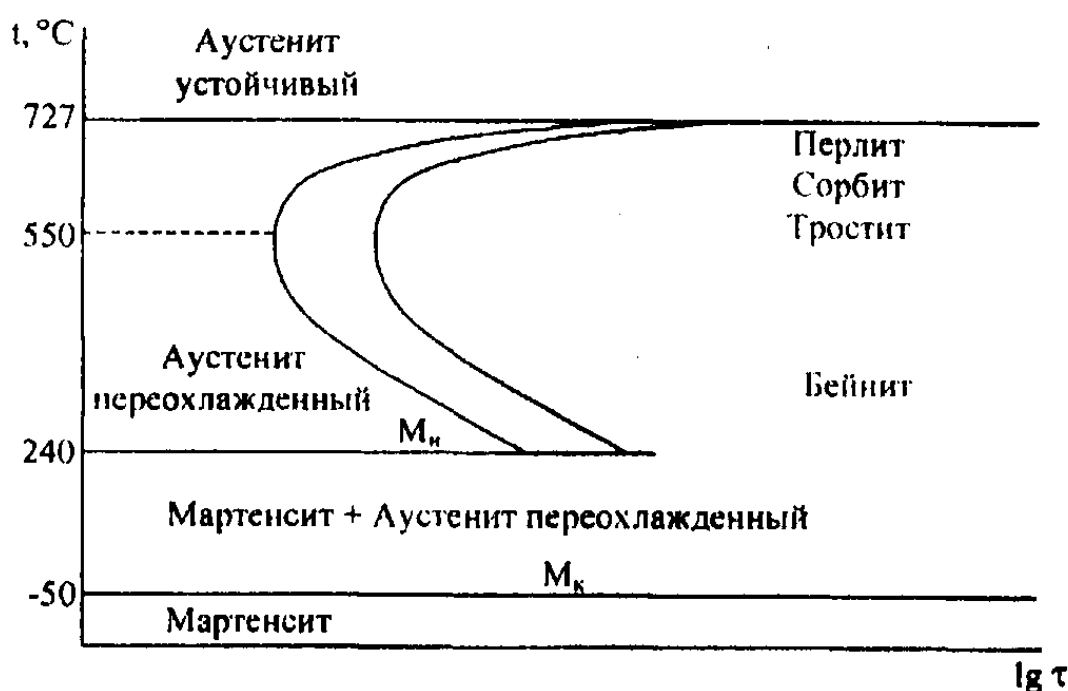


Рисунок 4 – Диаграмма изотермического превращения аустенита эвтектоидной стали

Обычно изучают изотермическое превращение аустенита (происходящее при выдержке при постоянной температуре) для эвтектоидной стали. Влияние температуры на скорость и характер превращения представляют в виде диаграммы изотермического превращения аустенита, рис.4. Диаграмма строится в координатах температура — логарифм времени. Выше температуры 727°C на диаграмме находится область устойчивого аустенита. Ниже этой температуры аустенит является неустойчивым и превращается в другие структуры. Первая S - образная кривая на диаграмме соответствует началу превращения аустенита, а вторая — её завершению. При небольшом переохлаждении — приблизительно до 550°C происходит упомянутое выше диффузионное перлитное превращение. В зависимости от степени переохлаждения образуются структуры, называемые перлит, сорбит и тростит. Это структуры одного типа — механические смеси феррита и цементита,

имеющие пластинчатое строение. Отличаются они лишь степенью дисперсности, т.е. толщиной пластинок феррита и цементита. Наиболее крупнодисперсная структура — перлит, наиболее мелкодисперсная — тростит. При переохлаждении аустенита приблизительно ниже 240°C скорость диффузии падает почти до нуля и происходит бездиффузионное мартенситное превращение. Образуется *мартенсит* — пересыщенный твердый раствор углерода в α -железе. Мартенсит имеет ту же концентрацию углерода, что и исходный аустенит. Из-за высокой пересыщенности углеродом решетка мартенсита сильно искажается, благодаря чему мартенсит имеет высокую твердость (до HRC 65). Горизонтальная линия M_s диаграммы соответствует началу превращения аустенита в мартенсит, а линия M_f — завершению этого процесса.

В диапазоне температур от мартенситного до перлитного превращения происходит промежуточное превращение и образуется структура, называемая бейнит.

3 ОТЖИГ И НОРМАЛИЗАЦИЯ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ. ЗАКАЛКА СТАЛИ. ОТПУСК СТАЛИ

3.1 Отжиг и нормализация

Отжигом стали называется вид термической обработки, заключающийся в ее нагреве до определенной температуры, выдержке при этой температуре и медленном охлаждении.

Цели отжига — снижение твердости и улучшение обрабатываемости стали, изменение формы и величины зерна, выравнивание химического состава, снятие внутренних напряжений. Существуют различные виды отжига: полный, неполный, диффузионный, рекристаллизационный, низкий, отжиг на зернистый перлит, нормализация. Температуры нагрева стали для ряда видов отжига связаны с положением линий диаграммы Fe-Fe₃C. Низкая скорость охлаждения обычно достигается при остывании стали вместе с печью.

Полный отжиг применяется для доэвтектоидных сталей. Нафев стали для полного отжига осуществляется на 30-50° выше линии GS диаграммы Fe-Fe₃C рис. 5. При этом происходит полная перекристаллизация стали и уменьшение величины зерна. Исходная структура из крупных зерен феррита и перлита при нагреве превращается в аустенитную, а затем при медленном охлаждении в структуру из мелких зерен феррита и перлита.

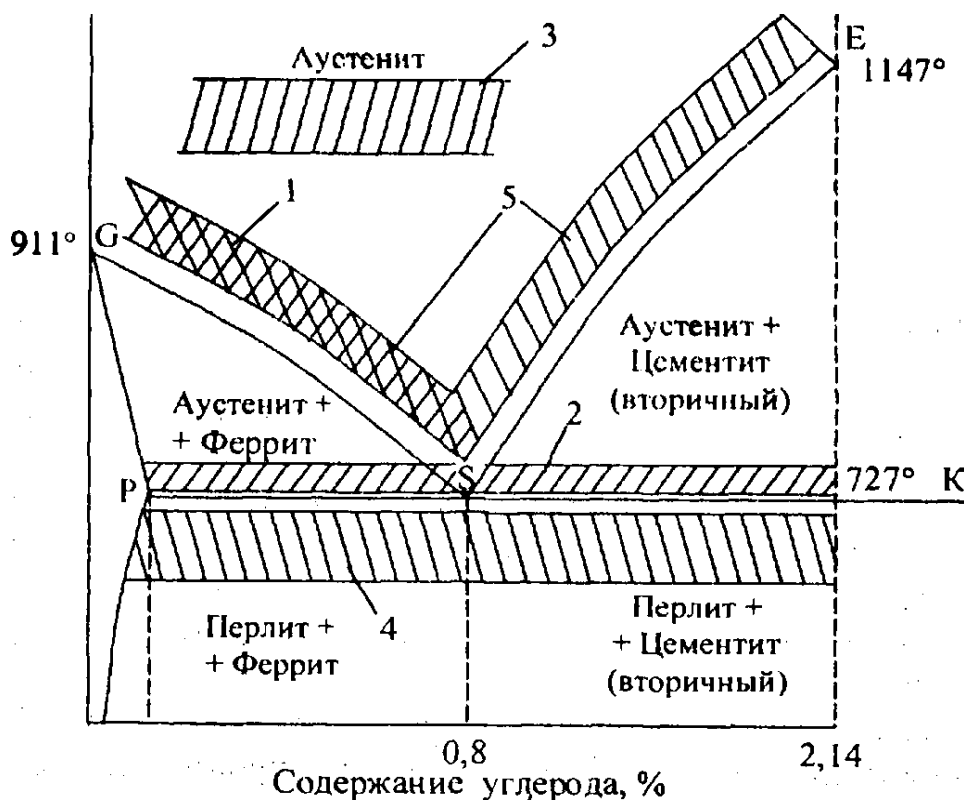


Рисунок 5 – Области температур нагрева для различных видов отжига:

- 1 - полный отжиг;
- 2 - неполный отжиг;
- 3 - диффузионный отжиг;
- 4 - рекристаллизационный отжиг;
- 5 - нормализация

Повышение температуры нафева привело бы к росту зерна. При полном отжиге снижается твердость и прочность стали, а пластичность повышается.

При **неполном отжиге** нагрев производится на 30-50°C выше линии PSK диаграммы Fe-Fe₃C рис. 5. Он производится, если исходная структура не очень крупнозерниста или не надо изменить расположение ферритной (в доэвтектоидных сталях) или цементитной (в заэвтектоидных сталях) составляющей. При этом происходит лишь частичная перекристаллизация — только перлитной составляющей стали.

Диффузионный отжиг (гомогенизация) заключается в нагреве стали до 1000-1100°C, длительной выдержке (10-15 часов) при этой температуре и последующем медленном охлаждении. В результате диффузионного отжига происходит выравнивание неоднородности стали по химическому составу. Благодаря высокой температуре нагрева и продолжительной выдержке получается крупнозернистая структура, которая может быть устранена последующим полным отжигом.

Рекристаллизационный отжиг предназначен для снятия наклепа и внутренних напряжений после холодной деформации и подготовки структуры к дальнейшему деформированию. Нагрев необходимо осуществлять выше температуры рекристаллизации, которая для железа составляет 450°C. Обычно для повышения скорости рекристаллизационных процессов применяют значительно более высокие температуры, которые, однако, должны быть ниже линии PSK диаграммы Fe-Fe₃C. Поэтому температура нагрева для рекристаллизационного отжига составляет 650-700°C.

В результате рекристаллизационного отжига образуется однородная мелкозернистая структура с небольшой твердостью и значительной вязкостью.

Низкий отжиг применяется в тех случаях, когда структура стапи удовлетворительна и необходимо только снять внутренние напряжения, возникающие при кристаллизации или после механической обработки. В этом случае сталь нагревают значительно ниже линии PSK диаграммы Fe-Fe₃C (200-600°C).

Отжиг на зернистый перлит (сфероидизацию) применяют для сталей близких к эвтектоидному составу или для заэвтектоидных. Такой отжиг осуществляют маятниковым способом (температуру несколько раз изменяют вблизи линии PSK, то перегревая выше нее на 30-50°C, то охлаждая ниже на 30-50°C) или путем длительной выдержки (5-6 часов) при температуре несколько выше линии PSK и последующего медленного охлаждения. После такого отжига цементит, обычно присутствующий в структуре в виде пластин, приобретает зернистую форму. Сталь со структурой зернистого перлита обладает большей пластичностью, меньшей твердостью и прочностью по сравнению с пластинчатым перлитом. Отжиг на зернистый перлит применяется для подготовки сталей к закалке или для улучшения их обрабатываемости резанием.

Нормализация состоит из нагрева стали на 30-50°C выше линии GSE диаграммы Fe-Fe₃C рис. 5, выдержки при этой температуре и последующего охлаждения на воздухе. Более быстрое охлаждение по сравнению с обычным отжигом приводит к более мелкозернистой структуре. Нормализация — более дешевая термическая операция, чем отжиг, так как печи используют только для нагрева и выдержки. Для низкоуглеродистых сталей (до 0,3% C) разница в свойствах между нормализованным и отожженным состоянием практически отсутствует и эти стали лучше подвергать нормализации. При большем содержании углерода нормализованная сталь обладает большей твердостью и меньшей вязкостью, чем отожженная. Иногда нормализацию считают самостоятельной разновидностью термической обработки, а не видом отжига.

3.2 Закалка и отпуск стали

Закалка — это вид термической обработки, состоящий в нагреве стали до определенной температуры, выдержке и последующем быстром охлаждении. В результате закалки повышается твердость и прочность, но снижается вязкость и пластичность. Нагрев стали производится на 30-50°C выше линии GSK диаграммы Fe-Fe₃C. В доэвтектоидных сталях нагрев выше линии GS необходим для того, чтобы после закалки в структуре не было мягких ферритных включений. Для заэвтектоидных сталей применяется нагрев выше линии SK, так как присутствие цементита не снижает твердость стали.

Обычно в результате закалки образуется мартенситная структура. Поэтому охлаждать сталь следует с такой скоростью, чтобы кривая охлаждения не пересекала C - образные кривые диаграммы изотермического превращения аустенита рис. 4. Для достижения высокой скорости охлаждения закаливаемые детали погружают в воду (для углеродистых сталей) или минеральные масла (для легированных сталей).

Способность стали закаливаться на мартенсит называется **закаливаемостью**. Она характеризуется значением твердости, приобретаемой сталью после закалки и зависит от содержания углерода. Стали с низким содержанием углерода (до 0,3%) практически не закаливаются и закалка для них не применяется.

Прокаливаемость называется глубина проникновения закаленной зоны. Отсутствие сквозной прокаливаемости объясняется тем, что при охлаждении сердцевина остывает медленнее, чем поверхность. Прокаливаемость характеризует критический диаметр D, т. е. максимальный диаметр детали цилиндрического сечения, которая прокаливается насквозь в данном охладителе.

Отпуск стали — это вид термической обработки, следующий за закалкой и заключающийся в нагреве стали до определенной температуры (ниже линии PSK), выдержке и охлаждении. Цель отпуска — получение более равновесной по сравнению с мартенситом структуры, снятие внутренних напряжений,

повышение вязкости и пластичности. Различают низкий, средний и высокий отпуск.

Низкий отпуск проводится при температуре 150-200°C. В результате снимаются внутренние напряжения, происходит некоторое увеличение пластичности и вязкости без заметного снижения твердости. Образуется структура мартенсит отпуска. Низкому отпуску подвергают режущий и мерительный инструмент, а также детали, которые должны обладать высокой твердостью и износостойкостью.



Рисунок 6 – Мартенсит

При среднем отпуске производится нагрев до 350-450°C. При этом происходит некоторое снижение твердости при значительном увеличении предела упругости и улучшении сопротивляемости действию ударных нагрузок. Структура стали представляет собой троостит отпуска, который имеет зернистое, а не пластинчатое строение. Применяется для пружин, рессор, ударного инструмента.

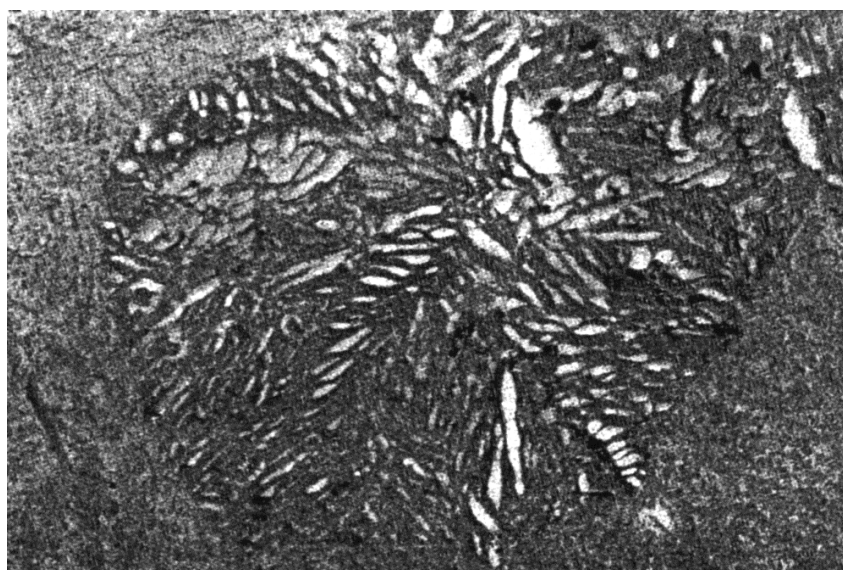


Рисунок 7 – Троостит

Высокий отпуск проводится при 550-650°C. В результате твердость и прочность снижаются значительно, но сильно возрастают вязкость и пластичность и получается оптимальное для конструкционных сталей сочетание механических свойств. Структура стали — **сорбит отпуска** с зернистым строением цементита. Применяется для деталей, подвергающихся действию высоких нагрузок. Термическая обработка, состоящая из закалки и высокого отпуска, называется улучшением. Она является основным видом обработки конструкционных сталей

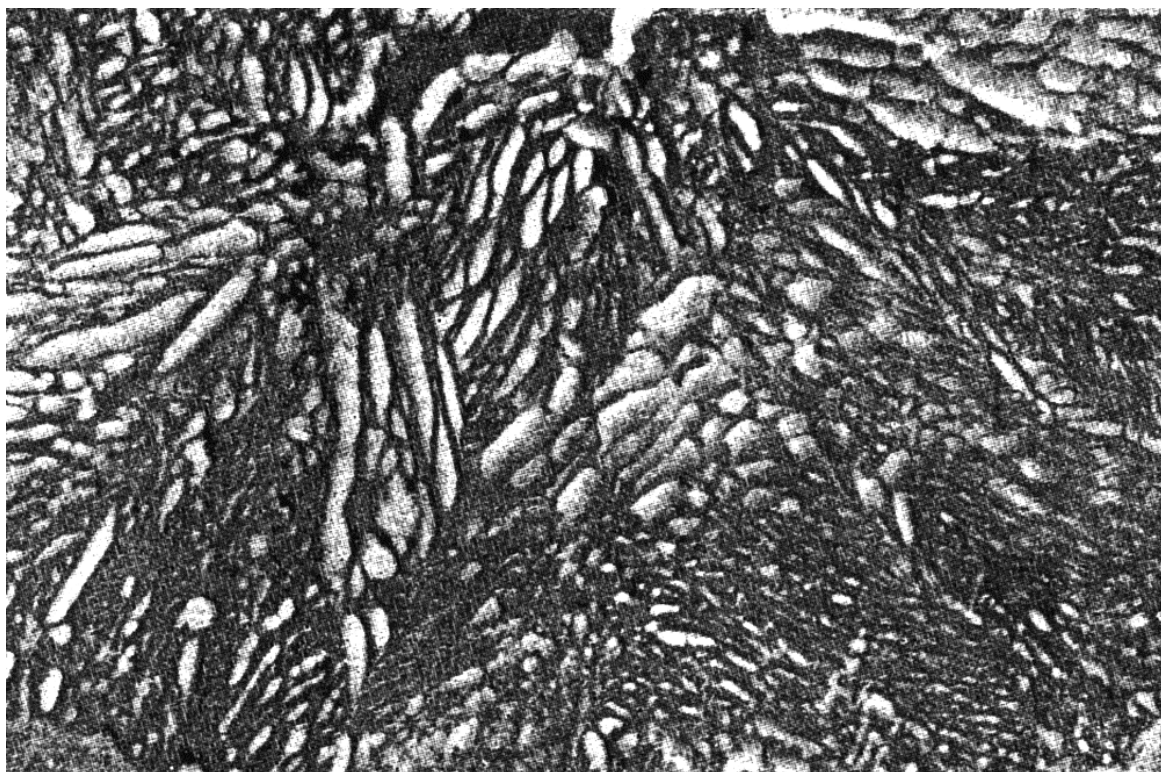


Рисунок 8 – Сорбит

3.3 Поверхностное упрочнение стали

Поверхностная закалка состоит в нагреве поверхностного слоя стальных деталей до аустенитного состояния и быстрого охлаждения с целью получения высокой твердости и прочности в поверхностном слое в сочетании с вязкой сердцевиной. Существуют различные способы нагрева поверхности под закалку — в расплавленных металлах или солях, пламенем газовой горелки, лазерным излучением, током высокой частоты. Последний способ получил наибольшее распространение в промышленности.

При нагреве **токами высокой частоты** закаливаемую деталь помещают внутри индуктора, представляющего собой медные трубки с циркулирующей внутри для охлаждения водой. Форма индуктора соответствует внешней форме детали. Через индуктор пропускают электрический ток (частотой 500 Гц-10 МГц). При этом возникает электромагнитное поле, которое индуцирует

вихревые токи, нагревающие поверхность детали. Глубина нагретого слоя уменьшается с увеличением частоты тока и увеличивается с возрастанием продолжительности нагрева. Регулируя частоту и продолжительность, можно получить необходимую глубину закаленного слоя, находящуюся в пределах 1-10 мм.

Преимуществами закалки токами высокой частоты являются регулируемая глубина закаленного слоя, высокая производительность (нагрев одной детали длится 10 с), возможность автоматизации, отсутствие окалинообразования. Недостаток — высокая стоимость индуктора, который является индивидуальным для каждой детали. Поэтому этот вид закалки применим, в основном, к крупносерийному и массовому производству.

Перспективный метод поверхностной закалки стальных деталей сложной формы — лазерная обработка. Благодаря высокой плотности энергии в луче лазера возможен быстрый нагрев очень тонкого слоя металла. Последующий быстрый отвод тепла в объем металла приводит к закалке поверхностного слоя с приданием ему высокой твердости и износостойкости.

4 ДЕФЕКТЫ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

4.1 Дефекты при отжиге и нормализации

В процессе отжига и нормализации могут возникнуть следующие дефекты: окисление, обезуглероживание, перегрев и пережог металла.

При нагреве в пламенных печах поверхность стальных деталей взаимодействует с печными газами. В результате металл окисляется и на деталях образуется окалина – химическое соединение металла с кислородом. С повышением температуры и увеличением времени выдержки окисление резко возрастает. Образование окалины не только вызывает угар (потерю) металла на окалину, но и повреждает поверхность деталей. Поверхность стали под окалиной получается разъеденной и неровной, что затрудняет обработку металла режущим инструментом. Окалину с поверхности деталей удаляют травлением в растворе серной кислоты в воде, очисткой в дробеструйных установках или галтовкой в барабанах.

Обезуглероживание, т. е. выгорание углерода с поверхности деталей, происходит при окислении стали. Обезуглероживание резко снижает прочностные свойства конструкционной стали. Кроме того, обезуглероживание поверхности может вызвать образование закалочных трещин и коробление (поводку детали).

Для предохранения деталей от окисления, а следовательно, и от обезуглероживания при отжиге, нормализации и закалке применяют безокислительные (защитные) газы, которые вводят в рабочее пространство печи.

При нагреве стали выше определенных температур и длительных выдержках в ней происходит быстрый рост зерен, ведущий к возникновению крупнокристаллической структуры. Это явление называют перегревом. Перегрев ведет к понижению пластических свойств стали. В перегретой стали при закалке образуются трещины. Перегрев металла может быть исправлен последующей термической обработкой – отжигом или нормализацией.

Пережог получается в результате длительного пребывания металла в печи при высокой температуре, близкой к температуре плавления. Физическая сущность пережога состоит в том, что кислород из окружающей атмосферы при высокой температуре проникает в глубь нагреваемого металла и окисляет границы зерен. В результате окисления границ зерен механическая связь между зернами ослабевает, металл теряет пластичность и становится хрупким. Пережог является неисправимым браком.

4.2 Дефекты при закалке

В процессе нагрева под закалку и при закалке могут появляться следующие дефекты: трещины, деформация и коробление, обезуглероживание, мягкие пятна и низкая твердость.

Закалочные трещины - это неисправимый брак, образующийся в процессе термической обработки. Они являются следствием возникновения больших внутренних напряжений. В штампах крупных размеров закалочные трещины могут появляться даже при закалке в масле. Поэтому штампы целесообразно охлаждать до 150-200°C с быстрым последующим отпуском.

Трещины возникают при неправильном нагреве (перегреве) и большой скорости охлаждения в деталях, конструкция которых имеет резкие переходы поверхностей, грубые риски, оставшиеся после механической обработки, острые углы, тонкие стенки и т.д.

Закалочные трещины, обычно расположенные в углах деталей или инструмента, имеют дугообразный или извилистый вид.

Деформация и коробление деталей происходят в результате неравномерных структурных и связанных с ними объемных превращений, обуславливающих возникновение внутренних напряжений в металле при нагреве и охлаждении.

При закалке стали коробление деталей может происходить и без значительных объемных изменений в результате неравномерного нагрева и охлаждения. Если, например, деталь небольшого сечения и большой длины нагревать только с одной стороны, то она изгибается. При этом нагреваемая сторона детали удлиняется и становится выпуклой, а ее противоположная сторона - вогнутой. Нагревать и охлаждать детали при закалке следует равномерно.

При погружении деталей и инструмента в закалочную среду надо учитывать их форму и размеры. Детали, имеющие толстые и тонкие части, погружают в закалочную среду сначала толстой частью, длинные детали (штоки, протяжки, сверла, метчики и т.д.) опускают в строго вертикальном положении, а тонкие плоские (диски, отрезные фрезы, пластинки и др.) - ребром.

Окисление и обезуглероживание происходит в основном при нагреве под закалку от взаимодействия печных газов или расплавленных солей с поверхностными слоями детали. Этот дефект особенно опасен на режущем инструменте, так как он в несколько раз снижает его стойкость.

Окисление и обезуглероживание поверхности изделия предупреждается строгим соблюдением установленного режима термической обработки, а также нагревом в среде нейтральных газов (азоте, аргоне).

Мягкие пятна - это участки на поверхности детали или инструмента с пониженной твердостью. Такие дефекты образуются при закалке в процессе охлаждения в закалочной среде, когда на поверхности детали имелась окалина, следы загрязнений и участки с обезуглероженной поверхностью, а также в

случае недостаточно быстрого движения детали в закалочной среде и образования на поверхности детали паровой рубашки.

Низкая твердость чаще всего наблюдается при закалке инструмента. Причинами низкой твердости являются недостаточно быстрое охлаждение в закалочной среде, низкая температура закалки, а также недостаточная выдержка при нагреве под закалку. Для исправления этого дефекта деталь следует подвергнуть высокому отпуску и снова закалить.

Перегрев деталей под закалку увеличивает зернистость металла и, следовательно, ухудшает его механические свойства. Металл приобретает повышенную хрупкость. Для повторной закалки деталей их следует подвергнуть отжигу для измельчения зерна.

Недогрев получается в том случае, если температура закалки была ниже критической точки A_{c3} (для доэвтектоидных сталей) и A_{c1} (заэвтектоидных сталей). Недогрев исправляют отжигом, после которого деталь снова закаливают.

5 ОСОБЕННОСТИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Различие в термической обработке легированной и углеродистой сталей состоит в выборе различных температур и скорости нагрева, длительности выдержки при этих температурах и способе охлаждения.

Легированные стали менее теплопроводны по сравнению с углеродистыми. Это необходимо учитывать и особенно осторожно нагревать детали из стали, содержащей такие элементы, как вольфрам.

Критические температуры у одних легированных сталей выше, у других — ниже; выбор температур термической обработки производится в зависимости от содержания в стали легирующих элементов.

Все легирующие элементы можно разбить на две группы: элементы, повышающие критические точки A_{C1} и A_{C3} , а следовательно, и температуры нагрева при термической обработке и элементы, понижающие критические точки. К первой группе относятся Cu, V, W, Si, Mo, Ti, Nb и др. В связи с этим отжиг, нормализация и закалка сталей, содержащих перечисленные элементы, производятся при более высоких температурах, чем отжиг, нормализация и закалка углеродистых сталей. Ко второй группе элементов относятся Mn, Ni и др. При выборе температуры термической обработки имеет значение склонность аустенитного зерна к росту.

Все легирующие элементы, за исключением Mn, препятствуют росту аустенитного зерна при нагреве. Особенно сильное влияние на уменьшение роста аустенитного зерна оказывают элементы, образующие в сталях карбиды (Cr, Mo, W, V, Ti): карбиды располагаются по границам зерна и затрудняют его рост при нагреве. Таким образом, легированные стали (за исключением марганцевистых) при термической обработке не склонны к перегреву; нагревать их можно до более высоких температур, чем углеродистые стали.

Время выдержки устанавливается несколько большее, чем для углеродистых сталей, так как легированная сталь обладает худшей теплопроводностью и полный прогрев изделия требует большего времени. Кроме того, для получения лучших механических свойств необходима выдержка, чтобы полностью растворились легированные карбиды в аустените.

Скорость охлаждения при термической обработке устанавливается в соответствии с устойчивостью переохлажденного аустенита и величиной критической скорости закалки. Практически это приводит к тому, что многие легированные стали закалываются на мартенсит в масле, т. е. при меньшей скорости охлаждения, чем углеродистая сталь.

Легированная сталь обладает большей прокаливаемостью, чем выше степень легированности сталей, тем более глубокой прокаливаемостью они обладают рис. 9. Легирующие элементы в стали влияют на устойчивость мартенсита при отпуске

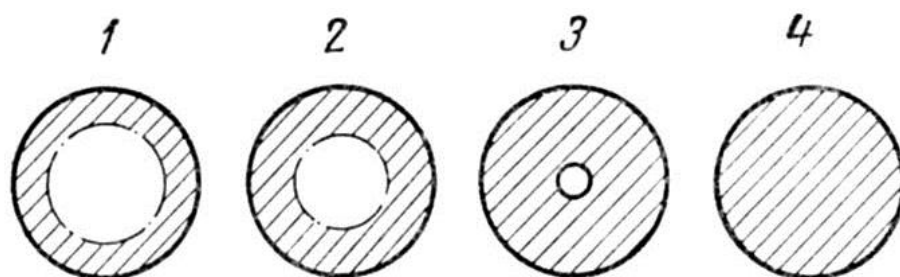


Рисунок 9 - Зависимость прокаливаемости от содержания в стали легирующих элементов:

- 1 - стали низкой прокаливаемости (углеродистые),
- 2 - стали средней прокаливаемости (например, хромистые),
- 3 - стали повышенной прокаливаемости (например, хромоникелевые),
- 4 - стали высокой прокаливаемости (хромомарганцевокремниевые и другие сложнолегированные); закаленный слой заштрихован

Например, в инструментальных быстрорежущих сталях карбидообразующие элементы W, Mo, V, Cr способствуют образованию красностойкого мартенсита. Благодаря этому высокая твердость стали сохраняется до температур 560—600° С, тогда как мартенсит углеродистой стали начинает распадаться при 200—240° С, что снижает твердость стали. Высокая красностойкость — весьма ценное свойство инструментальной стали. Инструмент в процессе резания нагревается, и, если сталь не красностойка, она теряет твердость и режущие свойства.

Кроме перечисленных особенностей, при отпуске легированной стали можно наблюдать **явление отпускной хрупкости**, т. е. понижение ударной вязкости, происходящее несмотря на уменьшение твердости. Причиной отпускной хрупкости является выделение хрупких фаз по границам зерен у таких широко распространенных сталей, как хромистые, хромоникелевые и др. Можно полностью избежать отпускной хрупкости, охлаждая такую сталь после отпуска не на воздухе, а в масле (крупные детали — даже в воде), а также применяя хорошо раскисленную сталь или другие марки стали, содержащие молибден или вольфрам, препятствующие выделению хрупких фаз.

Отметим, наконец, еще одну важную особенность термической обработки легированной стали. При закалке большинства сталей часть зерен высоколегированного аустенита мартенситного превращения не претерпевает, и в структуре стали сохраняется некоторое количество остаточного аустенита. Так как аустенит имеет невысокую твердость (НВ 170 - 220), закаленная сталь обладает несколько меньшей твердостью и пониженной износостойкостью. Значительного превращения остаточного аустенита в мартенсит отпуском у не удается добиться. Исследования, проведенные учеными, показали, что превращения остаточного аустенита в мартенсит можно достигнуть глубоким охлаждением до минус 65 —минус 70° С. После выдержки изделий при низких температурах в течение 1—2 часов в их структуре происходит полное превращение остаточного аустенита в мартенсит, и твердость, а вместе с ней и износостойкость изделий повышаются.

6 ОБРАБОТКА ХОЛОДОМ. ПОВЕРХНОСТНАЯ ЗАКАЛКА. ВИДЫ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ.

6.1 Обработка холодом

Высокоуглеродистые и легированные стали после закалки при комнатной температуре всегда содержат от 3 до 12% остаточного аустенита, а быстрорежущие стали - до 35% и более.

Присутствие остаточного аустенита в структуре закаленной стали крайне нежелательно, так как он снижает твердость и при постепенном самопроизвольном распаде вызывает изменение размеров деталей.

Устранить остаточный аустенит из структуры высокоуглеродистых и легированных сталей можно нагревом до 300-350°C, а из структуры быстрорежущих сталей - до 600°C. Однако при этих температурах мартенсит, имеющийся в структуре сталей, распадается на троостит и твердость падает. Уменьшить количество остаточного аустенита в закаленной стали без понижения твердости можно только охлаждением стали до минусовых температур, т. е. обработкой холодом.

Сущность обработки холодом состоит в том, что закаленные, но не отпущенные детали охлаждают при температуре от -12 до -120°C. Под действием такой температуры остаточный аустенит распадается и образуется мартенсит, в результате чего изменяются механические и магнитные свойства.

Обработку холодом применяют для получения однородной структуры стали, повышения твердости и стабилизации размеров закаленных деталей.

Для обработки холодом деталей и инструмента применяют специальные холодильные машины ХКМ-2, имеющие рабочую температуру -85°C. Кроме таких машин, применяют смеси сухого льда со спиртом или ацетоном, позволяющие получить температуру -73°C.

Обработку холодом обычно используют для инструмента, изготовленного из стали Р18, деталей из цементуемой стали 18ХНВА и колец особо точных подшипников из стали ШХ15.

После обработки холодом, чтобы снять внутренние напряжения, детали подвергают низкому отпуску.

6.2 Поверхностная закалка

Для некоторых типов деталей в соответствии с условиями их работы необходимо обеспечить высокую твердость и износостойкость поверхностных слоев, а сердцевина должна быть достаточно вязкой и пластичной. Это касается деталей, работающих в условиях износа с одновременным действием динамических нагрузок (например, шестерни). В таких случаях детали подвергают поверхностному упрочнению, которое заключается в

поверхностной закалке. При поверхностной закалке до закалочных температур нагревается лишь поверхностный слой детали. При последующем охлаждении только в нем образуется мартенситная структура. Это достигается быстрым нагревом детали с поверхности, когда сердцевина не успевает прогреться.

При этом по сечению детали получают три характерные зоны с разной структурой и свойствами.

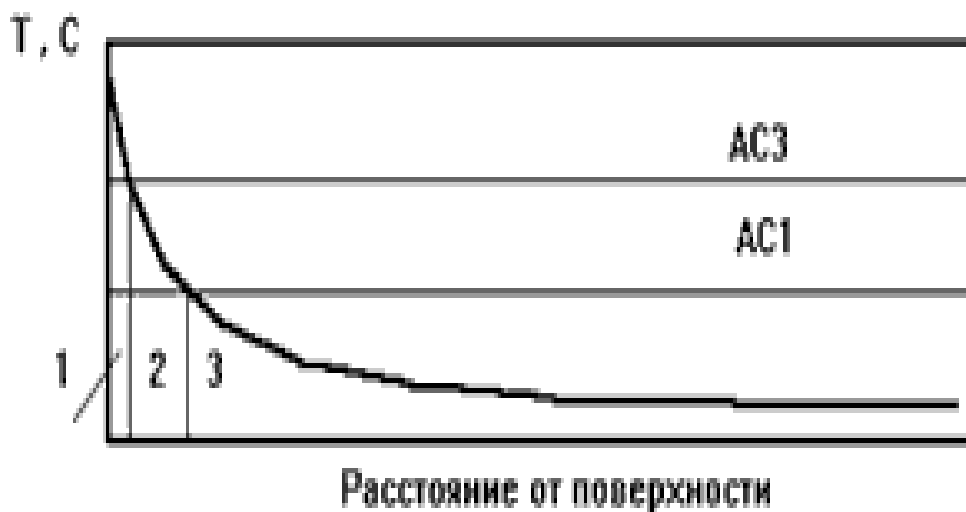


Рисунок 10- Распределение по сечению детали структуры и свойств стали

В первой зоне - после закалки получается мартенситная структура (и $A_{\text{ост.}}$) и максимальная твердость.

Во второй зоне - после закалки в структуре, кроме мартенсита, будет присутствовать и феррит. Следовательно, твердость будет ниже.

В третьей зоне - нагрев и охлаждение не приводят к каким-либо изменениям структуры, остается исходный перлит и феррит, твердость низкая, но достаточно высокие пластические свойства.

Быстрый нагрев осуществляется различными способами:

1. в расплавленных металлах
2. пламенем ацетилено - кислородной или газовой горелки
3. в электролитах

4. индукционная или высокочастотная закалка, которая получила наиболее широкое применение.

Сущность любого метода заключается в том, чтобы поверхностные слои детали быстро нагревать выше критических точек и создать резкий градиент температур по сечению, а затем резко охладить. Глубина закаленного слоя при этом способе упрочнения может быть в зависимости от необходимых условий эксплуатации от долей миллиметра до 3-5 мм.

6.2 Виды химико-термической обработки

Химико-термическая обработка — это процесс изменения химического состава, структуры и свойств поверхности стальных деталей за счет насыщения ее различными химическими элементами. При этом достигается значительное повышение твердости и износостойкости поверхности деталей при сохранении вязкой сердцевины. К видам химико-термической обработки относятся цементация, азотирование, цианирование и др.

Цементация — это процесс насыщения поверхностного слоя стальных деталей углеродом. Цементация производится путем нагрева стальных деталей при 880-950°C в углеродосодержащей среде, называемой карбюризатором. Различают два основных вида цементации — газовую и твердую. Газовая цементация проводится в газе, содержащем метан CH_4 и оксид углерода CO . Твердая цементация проводится в стальных ящиках, куда укладываются детали вперемешку с карбюризатором. Карбюризатором служит порошок древесного угля с добавкой солей Na_2CO_3 или BaCO_3 .

Цементации подвергают стали с низким содержанием углерода (0,1-0,3%). В результате на поверхности концентрация углерода возрастает до 1,0-1,2%. Толщина цементованного слоя составляет 1-2,5 мм.

Цементацией достигается только выгодное распределение углерода по сечению детали. Высокая твердость и износостойкость поверхности получается после закалки, которая обязательно проводится после цементации. Затем следует низкий отпуск. После этого твердость поверхности составляет HRC 60.

Азотированием называется процесс насыщения поверхности стали азотом. При этом повышаются не только твердость и износостойкость, но и коррозионная стойкость. Проводится азотирование при температуре 500-600°C в среде аммиака NH_3 , в течение длительного времени (до 60 ч.) Аммиак при высокой температуре разлагается с образованием активного атомарного азота, который и взаимодействует с металлом. Твердость стали повышается за счет образования нитридов легирующих элементов. Поэтому азотированию подвергают только легированные стали. Наиболее сильно повышают твердость такие легирующие элементы, как хром, молибден, алюминий, ванадий. Глубина азотированного слоя составляет 0,3 — 0,6 мм, твердость поверхностного слоя по Виккерсу доходит до HV 1200 (при цементации HV 900).

К преимуществам азотирования перед цементацией следует отнести отсутствие необходимости в дополнительной термообработке, более высокую твердость и износостойкость, высокую коррозионную стойкость поверхности. Недостатками являются низкая скорость процесса и необходимость применения дорогих легированных сталей.

Цианирование (нитроцементация) — это процесс одновременного насыщения поверхности стали углеродом и азотом. Проводится цианирование в расплавах цианистых солей NaCN или KCN или в газовой среде, содержащей смесь метана CH_4 и аммиака NH_3 . Различают низкотемпературное и высокотемпературное цианирование.

Низкотемпературное цианирование проводится при температуре 500-600°C. При этом преобладает насыщение азотом. Глубина цианированного слоя составляет 0,2-0,5 мм, твердость поверхности — HV 1000.

При высокотемпературном цианировании температура составляет 800-950°C. Преобладает насыщение углеродом. Глубина поверхностного слоя составляет 0,6 — 2,0 мм. После высокотемпературного цианирования следует закалка с низким отпуском. Твердость после термообработки составляет HRC 60.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение: Учебник для высших технических учебных заведений. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990.-528с.
2. Кузьмин Б.А. и др. Металлургия, металловедение и конструкционные материалы. М., Высшая школа, 1977.
3. Технология конструкционных материалов: Учебник / Г.А.Прейса, Н.А. Сологуб, И.А. Роженецкий и др. – 2-е изд., перераб. И доп. – К.: Выш. шк., 1991.-391с.
4. Кузьмин Б.А. и др. Технология металлов и конструкционные материалы. М: Машиностроение, 1981.
5. Дриц М. Е. Технология конструкционных материалов и материаловедение / М. Е. Дриц, М. А. Москалева. - М.: Вышш. шк., 1990.-692с.
6. Колесов С.Н. Материаловедение и технология конструкционных материалов / С.Н.Колесов, И.С.Колесов. – М.:Вышш. шк., 2004.-519с.
7. Волчок И.П. Системы современных технологий. Учеб. Пособие / И.П.Волчок, С.Н.Беликов. – Запорожье: Изд-во Металл-сич., 2001.-485с.
8. Материаловедение / под ред. Б. Н. Арзамасова. — Москва : МГТУ, 2005.