

МОСКОВСКИЙ
МЕХАНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

КАНД. ТЕХН. НАУК, ДОЦ. А.Н. РОЗАНОВ

ПРАКТИКУМ
ПО
ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ
СПЛАВОВ

І. О Т Ж И Г
И НОРМАЛИЗАЦИЯ



МОСКВА

1951

О Г Л А В Л Е Н И Е

Стр.

В в е д е н и е

1. ОТЖИГ СТАЛИ

Определение	1
Скорость нагрева	1
Температура нагрева	4
Продолжительность выдержки	4
Скорость охлаждения	5
Л и т е р а т у р а	7

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	7
---	---

П Р И Л О Ж Е Н И Я	9
-------------------------------	---

П. НОРМАЛИЗАЦИЯ СТАЛИ

1.Определение	18
2.Цель нормализации	18
3.Температура нагрева	19
4.Скорость охлаждения	19
5.Температурный интервал превращения при нормализации	20
6.Лабораторная работа	20
Л и т е р а т у р а	21

ПРИЛОЖЕНИЕ	22
----------------------	----

В В Е Д Е Н И Е

Тепловая, или термическая, обработка стали проводится для придания ей нужных механических свойств: твердости, прочности, пластичности, вязкости, обрабатываемости и др.

Отжиг производится, в основном, с целью получения стали с наиболее низкой твердостью, с целью размельчения зерна, уменьшения напряжений и др.

Нормализация имеет целью подготовить структуру к последующей термической обработке или же является окончательной термической обработкой для малоуглеродистых сталей.

Для правильного выбора температуры нагрева стали необходимо знать температуру начала и окончания процессов превращения, т.е. необходимо знать так называемые критические точки стали.

Критические точки стали были впервые открыты знаменитым русским ученым Д.К.Черновым в 1868 г., т.е. за 20 лет до определения их французским инженером Османдом.

Критические точки стали — это узловые пункты перехода количества в качество. Открытие Чернова выявило диалектико-материалистический характер закономерностей, лежащих в основе созданной Д.К.Черновым науки о металлах и термической обработке стали.

1. ОТЖИГ СТАЛИ

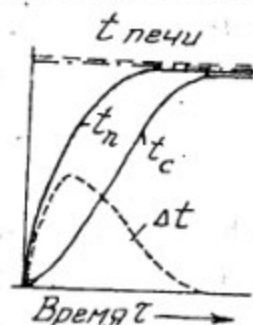
О п р е д е л е н и е

Отжиг — это такая термическая обработка, при которой сталь нагревается выше верхней критической точки с последующим медленным /обычно вместе с печью/ охлаждением^{х/}.

Существует несколько видов отжига, применяемых с различной целью. Эти виды приводятся в приложении 5 /цели и виды отжига/.

Скорость нагрева

Скорость нагрева стали зависит от многих факторов: состава стали, формы и размера изделия, величины внутренних напряжений и др. Чем больше в стали углерода или легирующих элементов, тем сложнее форма и больше размеры изделия, тем медленнее должен быть проведен нагрев.



Фиг. 1. Изменение температуры поверхности (t_n) и сердцевины (t_c) изделия при нагреве в печи

Нагрев поверхности и сердцевины происходит с разной скоростью /фиг. 1/, отчего в каждый момент нагрева возникает определенный температурный градиент Δt между температурой поверхности t_n и сердцевины t_c .

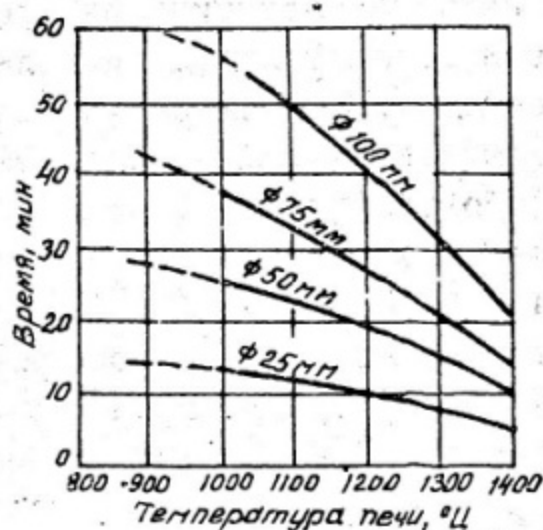
В таблице 1 приводятся основные дан-

х/ Эвтектоидные и заэвтектоидные стали при отжиге нагреваются несколько выше нижней критической точки /точка "α"

Д.К.Чернова/.

Характеристика изделия	Н а г р е в	
	медленный	быстрый
Состав стали	Высоколегированные и высокоуглеродистые стали	Мало- и среднеуглеродистые стали
Форма	Изделия с резкими изменениями сечения и изделия сложной формы	Изделия простой формы: прутки, штанги и др.
Размер	Больше 100-300 мм в диаметре	Изделия меньше 100 мм в диаметре
Состояние	Детали с большими остаточными напряжениями: закаленные, литые изделия сложной формы и т.п.	Детали с малыми остаточными напряжениями: отожженные, отпущенные на средние температуры и др.

Скорость нагрева, в первую очередь, зависит от температуры нагревающей среды, влияние которой показано на фиг.2

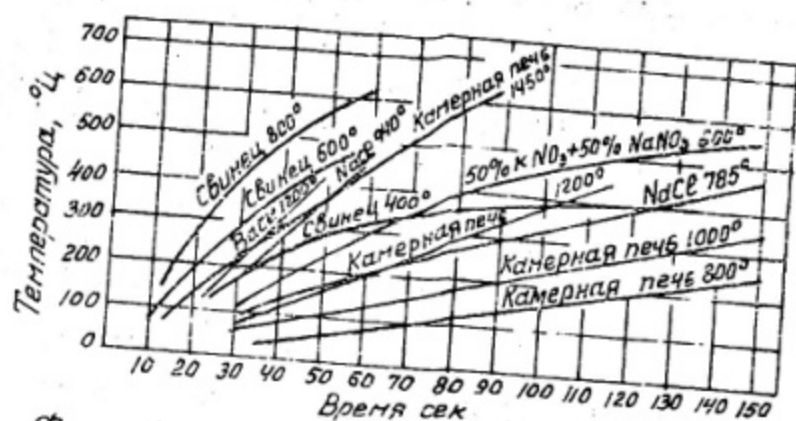


Фиг. 2. Время сквозного прогрева стальных заготовок в печи с разной температурой (скорость прогрева) (Копытов)

Значительное влияние оказывает и характер нагревающей среды: газовые среды нагревают гораздо медленнее, чем жидкие, что видно из фиг. 3.

На скорость нагрева влияет также количество загруженного металла: чем больше его, тем медленнее будет нагревание. Игрует роль также расположение металла в печи и форма сечения изделий. Чем дальше расположены детали друг от друга и чем больше обогреваемая поверхность при оди-

наковом сечении, тем быстрее будет нагрев /фиг.4/.



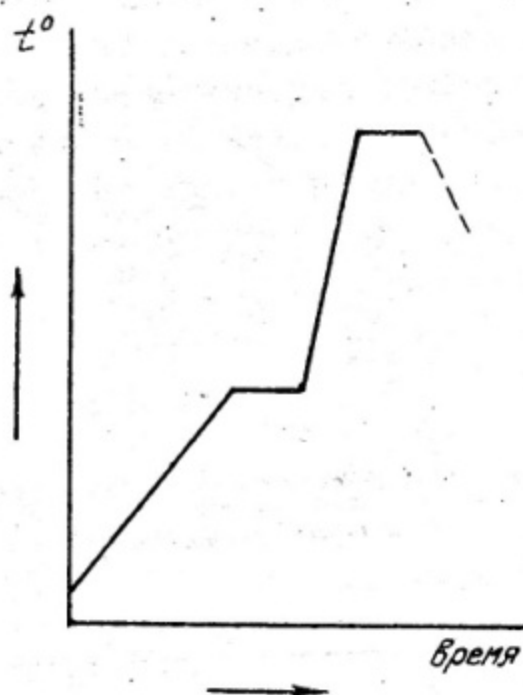
Фиг.3. Кривые повышения температуры центра медного шара диаметром 70мм в печах и ваннах (Копытов)

Расположе- ние заготовок	Относительная продолжитель- ность нагрева	Расположе- ние заготовок	Относительная продолжитель- ность нагрева
	1		1
	1,4		1
	4		2
	2,2		1,4
	2		1,3
	1,8		

Фиг.4. Сравнительная продолжитель-
ность нагрева круглых и квад-
ратных заготовок (Копытов)

Для углеродистой и низколегированной стали обычно применяют непрерывный нагрев, а для высоколегированных

сталей в виде изделий сложной формы - ступенчатый нагрев /фиг.5/.



Фиг.5. Схематический график режима ступенчатого нагрева

Температура нагрева

Температура нагрева для полного отжига доэвтектоидных сталей определяется верхней точкой Д.К.Чернова /точка *B* / и принимается на 20-30° выше последней. Для заэвтектоидных сталей обычно производится неполный отжиг, при котором температура нагрева находится в интервале между точками *a* и *b* Чернова. В некоторых случаях производят гомогенизирующий отжиг с целью выравнивания состава стали. Поскольку процесс диффузии ускоряется с повышением температуры, постольку и нагрев производится при температуре на 200-300° выше верхней критической точки.

Продолжительность выдержки

Продолжительность выдержки при нагреве до заданной температуры определяется размером изделия. Чем

больше поперечное сечение изделия, тем продолжительнее должна быть выдержка.

Выдержка начинается с момента приобретения поверхностными слоями изделия заданной температуры /температуры печи/, что можно приблизительно установить по одинаковому цвету накала металла и стенок печи. Дальнейшая выдержка необходима для полного прогрева всей массы металла до заданной температуры и завершения процессов превращения в целях получения однородного твердого раствора. При этом надо иметь в виду, что малотеплопроводные стали, к числу которых следует отнести высоколегированные /например, быстрорежущую сталь/, будут прогреваться медленнее, чем углеродистые стали.

Значительное влияние на продолжительность выдержки оказывает и состав стали, так как выравнивание состава твердого раствора является диффузионным процессом, а скорость диффузии зависит от содержания легирующих элементов и температуры.

Скорость охлаждения

Последний и наиболее важный этап отжига — это процесс охлаждения. Если температура нагрева и продолжительность выдержки сказываются на размере зерна аустенита, а следовательно, и на размере зерна продуктов превращения, как, например, феррита и перлита, а также на структурной форме этих составляющих, то скорость охлаждения в основном будет оказывать влияние на температуру выделения феррита или цементита и температуру превращения аустенита в феррито-цементитную смесь. Температура превращения аустенита в значительной степени определяет структуру стали при отжиге. Чем больше скорость охлаждения, тем ниже температура превращения и, следовательно, тем мельче феррито-цементитная смесь и тем меньше количество избыточной структурной составляющей феррита или цементита /соответственно в доэвтектоидной и заэвтектоидной сталях.

При этом может быть получена структура сорбита или

других неравновесных составляющих, придающих стали повышенную твердость и пониженную вязкость. Однако, поскольку отжиг преследует цель снизить твердость стали и получить структуры, отвечающие состоянию равновесия, постольку при отжиге обычно всегда дается весьма малая скорость охлаждения.

Надо иметь в виду, что легированные стали, аустенит которых более склонен к переохлаждению, будут иметь более мелкую структуру, чем углеродистые стали, при одинаковых скоростях охлаждения и поэтому эти стали требуют более медленного охлаждения.

Можно принять следующие данные о скорости охлаждения.

Скорость охлаждения фасонного литья из углеродистой стали: $100-120^{\circ}$ в час.

Горячекатанная углеродистая сталь охлаждается со скоростью $100-200^{\circ}$ в час до 500° . Легированные - со скоростью $50-60^{\circ}$ в час, высоколегированные - еще медленнее.

Если при отжиге не задаются целью уменьшения внутренних напряжений в стали, то медленное охлаждение вместе с печью можно закончить значительно раньше комнатной температуры.

Следует заметить, что во многих случаях медленное охлаждение можно закончить после превращения аустенита в феррито-цементитную смесь /перлит/, затем изделия вынимают из печи, освобождая ее для следующей обработки, а дальнейшее охлаждение ведут на воздухе. Это значительно ускоряет выход изделий после отжига и повышает производительность печей.

Для углеродистых сталей медленное охлаждение достаточно проводить до температуры $500-600^{\circ}$. В случае, когда отжиг ведется с целью практически полного снятия внутренних напряжений, то медленное охлаждение может продолжаться до комнатной температуры или несколько выше.

Л и т е р а т у р а

1. ГУЛЯЕВ А.П., ЛАХТИН Ю.М., ТАРУСИН А.И. - Термическая обработка стали. Машгиз, 1946.
2. КОНТОРОВИЧ И.Е. - Термическая обработка стали. Metallurgizdat, 1950.
3. ПОДОПРИГОРА С.С. - Сталь. Metallurgizdat, 1933.
4. МИНКЕВИЧ Н.А. - Курс термической обработки стали и чугуна. ОНТИ, 1935.
5. ВНИТОМАШ - Сборник статей - Термическая обработка. Машгиз, 1948.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

З а д а н и е : Произвести отжиг углеродистой стали.

Порядок работ

1. Определить твердость образца до отжига.
2. Определить температуру отжига в соответствии с составом заданной стали.
3. Произвести нагрев в электропечи, определив скорость нагрева образца от 20° до заданной температуры^{х/}.
4. Выдержать образец при заданной температуре в течение времени, обусловливаемого сечением образца и составом стали.

х/ Момент нагрева поверхности образца на заданную температуру можно определить приблизительно по совпадению цвета накала поверхности образца и стенки печи.

5. Охладить образец согласно заданной скорости охлаждения до 600° , постепенно уменьшая нагрев печи путем уменьшения силы тока регулировочным реостатом.
- Дальнейшее охлаждение до $400-500^{\circ}$ вести вместе с выключенной печью и, наконец, вынуть образцы из печи и охладить их на воздухе.
6. Подсчитать среднюю скорость охлаждения от температуры нагрева до 600° .
7. Построить график температура-время для нагрева, выдержки и охлаждения до 400° ; указать состав стали, размер и форму образца.
8. Подсчитать по графику продолжительность общего времени /нагрев + выдержка/ на 1 мм диаметра или наибольшей толщины образца.
9. Определить твердость стали после отжига.
10. Просмотреть и зарисовать микроструктуру отожженной стали, указав присутствующие фазы и структурные составляющие.
11. Привести в отчете данные по всем пунктам работы.

Подготовка ответов на вопросы

1. В чем заключается отжиг стали?
2. Какова цель отжига?
3. Какие существуют виды отжига /привести схематические кривые в координатах температура-время для каждого вида отжига/?
4. Какие процессы происходят при нагреве и охлаждении стали при отжиге?
5. Как определить температуру отжига стали?
6. Как изменяется структура стали при отжиге?
7. Как изменяются механические свойства стали в результате отжига?

8. Какие виды брака могут быть при неправильном выполнении режима отжига и каким образом можно их исправить?

П Р И Л О Ж Е Н И Я

ПРИЛОЖЕНИЕ № 1

Таблица 1

Критические точки и температура
нагрева при отжиге стали с разным содержа-
нием углерода

% C	Критические точки Д.К. Чернова при нагреве		Температура нагрева при отжиге °C	ПРИМЕЧАНИЕ
	нижняя α	верхняя β		
0,1	723 /Ac ₁ /	875 /Ac ₃ /	900-910	
0,2	723 -"-	835 -"-	850-860	
0,4	723 -"-	780 -"-	800-820	
0,6	723 -"-	750 -"-	770-790	
0,8	723 -"-	735 -"-	750-770	
0,9 ^{х/}	723 -"-	723 -"-	740-760	Нормальный, непол- ный отжиг. В слу- чае необходимости в изменении строе- ния вторичного це- ментита, нагрев сле- дует вести до более высоких температур /выше цементитной линии/, но при этом необходимо быстрое охлаждение - закалка в масле.
1,0	723 -"-	800 (Ac _m)	740-760	
1,2	723 -"-	895 -"-	740-760	
1,3	723 -"-	935 -"-	740-760	
1,5	723 -"-	995 -"-	740-760	

х/ По другим данным совпадение по температуре критических точек относится к стали 0,83 или 0,8% C.

Условия нагрева углеродистых
сталей

1. Очень медленный нагрев углеродистой стали /0,1-0,5% C/ в газовых печах: 1 час на каждые 25 мм толщины или диаметра; продолжительность выдержки - 1/5 от времени нагрева.

2. Ускоренный нагрев - по условиям, представленным в табл.2.

Таблица 2

Температура печи °C	Продолжительность нагрева 1 мм диаметра или толщины образцов разной формы, мин. x/		
	Круглое сечение	Квадратное сечение	Пластины
600	1	1,5	2
800	0,5	0,75	1
900	0,3 ^{xx/}	0,45	0,6

x/ 1/5 от общего времени нагрева, полученного по данным табл.2, будет составлять продолжительность выдержки; остальное время - на нагрев до заданной температуры.

xx/ 0,2 для диаметра 6 мм
0,4 - " - " - 7,5 мм

Условия нагрева легированной
стали

Приблизительные данные по нагреву легированных сталей приводятся в табл.3.

Таблица 3

Наименование стали	Скорость нагрева на 1 мм диаметра или толщины, мин.
Низколегированные конструкционные и углеродистые инструментальные стали	2,2
Высоколегированные конструкционные и инструментальные стали	2,5
Стали с особыми физическими свойствами	3,6
Быстрорежущая сталь	5,0

Примечание. Приведенные в табл.3 данные относятся к квадратным сечениям в пределах 50 - 170 мм. Для круглого сечения указанное время может быть уменьшено до 30%.

Влияние отжига на механические свойства горячекатанной стали иллюстрировано в табл. 4.

Таблица 4

Химический состав стали,				Состояние стали	Предел текучести ² кг/мм ²	Предел прочности ² при растяжении ² кг/мм ²	Удлинение, %	Статическое поперечное сечение, %
C	Mn	Si	N, Cr					
0,43	0,56	0,32	-	Прутки, $d = 32$ мм послековки	39	68,5	20,6	43,4
0,43	0,56	0,32	-	То же после отжига на 850°	33	56	22,4	57
0,56	0,6	0,25	-	Пластинки толщиной 50 мм после прокатки	36	71	15	38
0,56	0,6	0,25	-	То же после отжига на 820°	28,5	58,5	22,5	48
0,64	0,26	0,19	-	Прутки, $d = 22$ мм, послековки	60	98	15	47
0,64	0,26	0,19	-	То же после отжига на 810°	34	62	24	59,5
				Отжиг на 960°	56,4	72	15,6	26,5
				Отжиг 1100°	40	83	8,6	19
				Изделия с толщиной стенок 75 мм после штамповки	66	100	5,2	6,3
0,67	0,46	0,23	2,92	То же после отжига на 770°	47	75	22,5	61,5
0,67	0,46	0,23	2,92					

ЦЕЛИ И ВИДЫ ОТЖИГА
/по проекту ГОСТа на терминологию
термической обработки/

Вид пп	Наимено- вание обработ- ки	Определение /и операции/	Назначение /примерно/	Структурные изменения /основные/
1	Отжиг	Нагрев до одной из температур в интервале превращения, выше или немного ниже; выдержка при этой температуре и последующее охлаждение - либо медленное - либо равномерное, либо с промежуточными остановками на определенных температурах /ступенчатое охлаждение/	Снижение твердости, улучшение обрабатываемости, повышение пластичности и вязкости, снятие внутренних напряжений, устранение или уменьшение структурной неоднородности, подготовка к последующей термической обработке	Изменение вследствие фазовой перекристаллизации, формы и размеры зерен: изменение дисперсности фаз и структурных составляющих чугуна и некоторых сталей; распад цемента с выделением свободного углерода.
2	Отжиг полный	Вид отжига, характеризующийся нагревом выше верхней температуры интервала превращения на 50-500 и медленным охлаждением до температуры ниже интервала превращения /обычно до 400-500, а при отжиге крупных поковок, слитков и фасонных сталей отливок до 100	Соответственно п.1 /применяется преимущественно для доэвтектоидной стали/	Соответственно п.1.

Наименование обработки	Определение / и операции	Назначение / примерно	Структурные изменения / основные
3	Отжиг полный	Вид отжига, характеризующийся нагревом до одной из температур в интервале превращений. Охлаждение как и при полном отжиге, см. п.2	Соответственно п.1. Применяется преимущественно для заготовок из сортового проката и поковок из конструктивной стали перед их механической обработкой.
4	Отжиг низкотемпературный	Вид отжига, характеризующийся нагревом до температуры немного ниже интервала превращений, выдержкой при этой температуре и последующим медленным или ускоренным охлаждением	Снижение твердости и улучшение обрабатываемости, уменьшение внутренних напряжений. Применяется как метод сфероидизации стали и графитизации серого чугуна
5	Отжиг-рекристаллизация	Вид отжига, характеризующийся нагревом выше температур рекристаллизации с последующим охлаждением медленным или ускоренным	Уменьшение зерен, раздробленных при холодной деформации, а также изменение их формы.

№ пп	Наименование работы	Определение / и операции	Назначение / примерно	Структурные изменения / основные
6	Отжиг изотермический	Вид отжига, характеризующийся нагревом до одной из температур в интервале превращения или выше его, последующим охлаждением / обычно ускоренным, до температур несколько ниже интервала превращения, соответствующей выдержкой при этой температуре и окончательным охлаждением / обычно ускоренным.	Согласно указанному для п.1. Применяется обычно для ускорения процесса отжига легированной стали, а также для стали и чугуна, прошедших холодную деформацию / патентирование.	Изменение, связанное с изотермическим распадом / при постоянной подкритической температуре / несколько переохлажденного аустенита, приводящее к более однородному стрессу по сравнению с другими видами отжига.
7	Отжиг светлый	Вид отжига, характеризующийся нагревом с применением защитной атмосферы и обезуглероживания.	Согласно указанному для п.1, при одновременном уменьшении до минимума обезуглероживания и окисления поверхности изделий, которая должна остаться относительно светлой.	Изменение формы и размеров зерна и структурных составляющих соответствующее указанному для п.п. 2-5.

№ пп	Наименование обработки	Определение / и операции	Назначение / примерно	Структурные изменения / основные
8	Отжиг закрытый	Вид отжига, характеризующийся нагревом деталей в ящиках, трубах, ретортах, с заполнением песком, углем, чугунной стружкой и т.д.	Согласно указанному для п.1, при одновременном предохранении поверхности от обезуглероживания и более или менее значительного окисления.	Соответственно п.7.
9	Отжиг диффузионный / гомогенизация	Вид отжига, характеризующийся нагревом до температуры значительно выше интервала превращений / на 180-300° / с последующим медленным охлаждением.	Выравнивание химической неоднородности зерен твердого раствора, уменьшение возможности образования флокенов. При этом меняется главный образ для крупных фасонных стальных отливок и слитков из легированной стали.	Изменения, связанные с усиленной диффузией и интенсивным ростом зерен при высоких температурах. ПРИМЕЧАНИЕ. При наличии дополнительного отжига или нормализации, изменения - соответственно п.1.

ПРИМЕЧАНИЕ. Вследствие интенсивного роста зерен изделение подвергается дополнительному отжигу или нормализации с более низкой / нормальной / температурой.

№ пп	Наименование работ	Определение / и операции	Назначение / примерно	Структурные изменения / основные
10	Отжиг сфероидизирующий	Вид термической обработки / отжиг или комбинированная обработка, приводящий к получению округленной формы карбидов / сфероидизированных / посредством: а/ отжига неполного, б/ отжига низкотемпературного, в/ отжига низкотемпературного с предварительной закалкой, г/ отжига с периодическим изменением температуры отжига около / выше и ниже / температур перлитного превращения.	Максимальное снижение твердости, приводящее к улучшению обрабатываемости изделий на металлорежущих станках. Уничтожение карбидной сетки и заварочной сетки стали при отжиге с предварительной закалкой / от температуры, необходимой для полного перевода карбидов в твердый раствор. Повышение пластичности и вязкости в стали и специальных видах ковкого чугуна.	Изменение структуры заготовки с фазовой перекристаллизацией и сфероидизацией карбидов.

П. НОРМАЛИЗАЦИЯ СТАЛИ

1. Определение

Нормализацией называется термическая обработка, заключающаяся в нагреве стали на $40-60^{\circ}$ выше верхней критической точки и последующем охлаждении на спокойном воздухе.

2. Цель нормализации

Нормализация — термическая обработка, преследующая, в основном, те же цели, что и отжиг.

При нормализации, по сравнению с отжигом, механические свойства изменяются в направлении увеличения ударной вязкости, твердости, предела прочности при растяжении, предела текучести и уменьшения удлинения и сжатия поперечного сечения. Нормализация — термическая обработка, значительно более дешевая чем отжиг, так как после прогрева металла на заданную температуру печь освобождается, и детали охлаждаются не вместе с печью, а на воздухе.

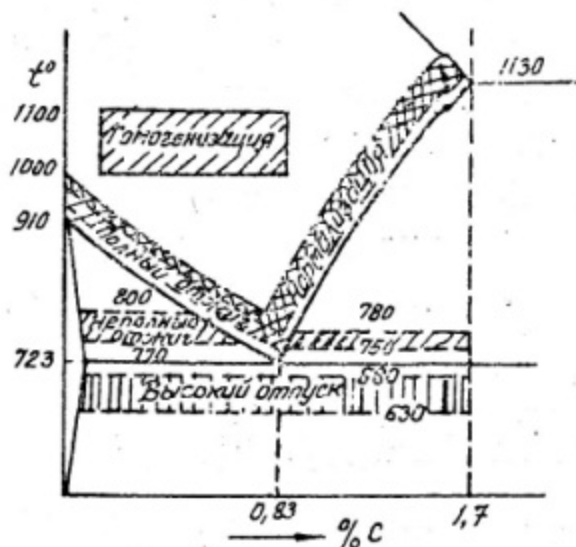
Однако структура и механические свойства, достигаемые в результате нормализации, очень сильно зависят от состава стали и только в случае углеродистой стали отжиг может быть заменен нормализацией. Так, углеродистые стали с содержанием углерода до 0,3% можно всегда нормализовать. В некоторых случаях отжиг можно заменить нормализацией и в сталях с содержанием углерода до 0,5%, но тогда для деталей сложной формы дают дополнительный отпуск при 600° .

Очень часто подвергают нормализации легированную конструкционную сталь, но тогда, как правило, дают дополнительный высокий отпуск при температуре $550-650^{\circ}$, так как в данном случае при нормализации образуется мартенсит.

Часто нормализация является подготовительной операцией перед закалкой стали.

3. Температура нагрева

Как видно из определения, температура нагрева стали при нормализации находится несколько выше /см. приложение № 1/, чем при отжиге.



Фиг. 6. Температура нагрева сталей с разным содержанием углерода при нормализации, отжиге и высоком отпуске (схема)

Так, обычно при нормализации сталь нагревают выше верхней точки Д.К.Чернова или цементитной линии на $40-60^{\circ}$, т.е. на $20-30^{\circ}$ выше, чем при полном отжиге. Сравнение температур отжига и нормализации представлено более наглядно на фиг. 6.

4. Скорость охлаждения

Охлаждение при нормализации применяют на спокойном воздухе.

Скорость охлаждения стали на спокойном воздухе в большей мере, чем при отжиге, зависит от размера детали. Чем больше толщина или диаметр обрабатываемого изделия или полуфабриката, тем меньше получается скорость охлаждения.

Вследствие более быстрого охлаждения, чем при отжиге, нормализация приводит к большему переохлаждению аустенита, что сказывается и на получаемой структуре.

Структура нормализованной углеродистой стали обычно состоит из более мелких пластин феррита и цементита /карбида/; в структуре будет меньше феррита или цементита, чем это следует из диаграммы состояния. Содержание углерода в феррито-цементитной смеси будет изменяться в зависимости от скорости охлаждения.

Вследствие большого переохлаждения и снижения температуры превращения аустенита, при нормализации образуется сорбитообразный перлит, или сорбит в углеродистых сталях, тростит и мартенсит — в легированных сталях и даже аустенит — в легированных сталях с высоким содержанием хрома и никеля, или с высоким содержанием марганца /12-14%./

5. Температурный интервал превращения при нормализации

Вследствие ускоренного охлаждения при нормализации температура начала выделения феррита, цементита и сорбита снижается.

Превращение аустенита в феррито-цементитную смесь происходит не при одной температуре /как это должно быть при медленном охлаждении/, а в интервале температур.

6. Лабораторная работа

З а д а н и е : произвести нормализацию стали.

Порядок выполнения работы

1. Определить твердость образца до нормализации.
2. Определить температуру нормализации для стали данного состава.
3. Произвести нагрев, определив скорость последнего /см. "Отжиг стали"/.
4. Вынуть образец из печи и охладить его на спокойном воздухе.
5. Определить среднюю скорость охлаждения от температуры нагрева до 100° с помощью контактной термопары.
6. Построить график в координатах температура-время для нагрева, выдержки и охлаждения образца.
7. Подсчитать продолжительность охлаждения в минутах на 1 мм толщины или диаметра образца.
8. Определить твердость образца после нормализации.
9. Просмотреть и зарисовать микроструктуру нормализованных сталей.
10. Привести в отчете данные по всем пунктам работы.

Подготовка ответов
на вопросы

1. В чем заключается нормализация стали ?
2. Какова цель нормализации ?
3. Каково различие в механических свойствах отожженной и нормализованной стали ?
4. В чем заключается различие в структуре отожженной и нормализованной углеродистой стали ?
5. Как будет изменяться при увеличении скорости охлаждения стали:
 - а/ количество феррита в структуре стали 0,4% С?
 - б/ количество цементита в структуре стали 1,5 С?
 - в/ количество феррито-цементитной смеси в стали 0,4% С ?
 - г/ то же - в стали 1,5% С ?
 - д/ содержание углерода в феррито-цементитной смеси стали 0,4% С ?
 - е/ то же - в стали 1,5% С ?
 - ж/ толщина феррито-цементитных пластин в любой стали ?
 - з/ отношение толщин пластин феррита и цементита в стали 0,4 С ?
 - и/ то же - в стали 1,5% С ?
 - к/ температура превращения аустенита в феррито-цементитную пластинчатую смесь в эвтектоидной стали ?
 - л/ твердость эвтектоидной стали /с указанием цифр для феррито-цементитной пластинчатой смеси/ ?

Л и т е р а т у р а

1. ГУЛЯЕВ А.П., ЛАХТИН В.М. и ТАРУСИН А.И. - Термическая обработка стали. Машгиз, 1946.
2. КОНТОРОВИЧ И.Б. - Термическая обработка стали. Металлургиздат, 1950.

Зависимость температуры нормализации
от содержания углерода в стали

Таблица 1

%, С	Температура °С
0,1	920-940
0,2	890-910
0,4	850-870
0,6	800-820
0,8	775-790
1,0	830-850
1,2	900-920
1,4	950-970

Таблица 2

Сопоставление твердости стали после отжига и нормализации

Химический состав, %					Н _В после нормализации при температурах:				
С	Mn	Si	Cr	Ni	Н _В после отжига	800°	850°	900°	975°
0,21	0,54	0,21	-	-	118	128	128	128	128
0,43	0,56	0,32	-	-	159	192	192	202	207
0,74	0,7	0,3	-	-	177	241	263	268	-
0,38	0,35	0,65	-	3,46	170	196	217	-	220
0,67	0,23	0,18	1,52	-	179	222	258	-	317
0,42	0,35	1,63	1,37	-	206	217	262	302	321
0,41	0,32	0,11	1,59	0,97	187	228	364	-	364
0,57	0,3	0,19	1,16	3,32	210	321	532	600	616

ПРИМЕЧАНИЕ. Нормализации и отжигу подвергались образцы сечением 22х22 мм.

Таблица 3

Сопоставление механических свойств стали после
отжига и нормализации

Химический состав, %		Термическая обработка	Предел теку- чести, кг/мм ²	Предел проч- ности при растя- жении, кг/мм ²	Удли- нение на 100 мм, %	Сжатие попе- речного се- чения, %
C	Mn					
0,74	0,7	Отжиг 770°	29	62	20	45
0,74	0,7	Нормализ. 880°	51,5	95,8	12,6	23
0,41	1,59	Отжиг 880°	33	69	20,5	55
0,41	1,59	Нормализ. 810°	74	96	17,6	47,6

ПРИМЕЧАНИЕ. Образцы имели диаметр в пределах 15-22 мм.

Л86078, 24/П-51 г. Зак. 216, тир. 125, Сткл. ММИ. Малая Пионерская 12