

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО КУРСУ**

**Теория и технология термической и химико-термической
обработки**

**для студентов, обучающихся по направлениям
22.03.01 - материаловедение и технологии материалов,
28.03.02 - нанотехнологии**

ИЗУЧЕНИЕ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ ЗАКАЛОЧНЫХ СРЕД

Цель работы

Изучить влияние охлаждающей среды на скорость охлаждения, степень переохлаждения и устойчивость переохлажденного аустенита до начала его распада.

Охлаждающие среды

Охлаждение при проведении термической обработки должно обеспечить получение структур заданного типа (перлитного, мартенситного или промежуточного – бейнитного) в пределах сечения изделия, заданного чертежом и технологией обработки. При этом охлаждающая среда не должна вызывать дефектов закалки, таких как поводки, коробления, трещины, значительные остаточные растягивающие напряжения в поверхностных слоях изделий.

Обычно для закалки используют так называемые кипящие жидкости – воду, водные растворы солей и щелочей, масла, эмульсии. Это связано с тем, что закалка подвергают стали, которые имеют малую устойчивость переохлажденного аустенита. От этих сталей требуется высокая твердость, что может быть обеспечено лишь получением структуры мартенситного типа. Углеродистые и среднелегированные стали, например сталь 40, сталь 40Х, 40ХН, имеют устойчивость переохлажденного аустенита при температуре 500...560 °С всего лишь 1...3 с. Значит, необходимо знать, какая из охлаждающих сред способна предотвратить распад переохлажденного аустенита в интервале температур $A' \rightarrow M_H$. Дадим характеристику некоторым охлаждающим средам.

Вода – широко распространенная охлаждающая жидкость. Имеет существенные недостатки: большую скорость охлаждения значительно теряет при нагреве; большая скорость охлаждения в области мартенситного распада приводит к образованию структурных напряжений и трещин. Образуется паровая рубашка.

Водные растворы солей и щелочей - имеют большую охлаждающую способность, в 3 раза превышающую скорость охлаждения в холодной воде. Паровая рубашка разрушается мгновенно, охлаждение происходит более равномерно. Температурная граница между зонами пузырькового кипения и конвективным теплообменом смещается в область высоких температур. В таблице 1.1 приведены характеристики различных охлаждающих сред.

Таблица 1.1

Характеристики различных охлаждающих сред

Охлаждающая среда	Температурный интервал пузырькового кипения, °С	Относительная интенсивность охлаждения в середине интервала	Скорость охлаждения в интервале = 650...550 °С, град/с
Вода при $t = 20\text{ °С}$	40...100	1	600
Вода при $t = 40\text{ °С}$	350...100	0,7	100
Вода при $t = 80\text{ °С}$	250...100	0,2	30
10 %-ный раствор в воде при $t = 20\text{ °С}$	650...100	3,0	1100
50 %-ный раствор в воде при $t = 20\text{ °С}$	650...100	1,0	1200
Масло минеральное при $t = 20\text{-}200\text{ °С}$	500...250	0,3	150

Масло машинное, или минеральное, имеет значительную охлаждающую способность ($v_{\text{охл}} = 120$ град/с). Однако на малоуглеродистых сталях получение структуры мартенсита при закалке в масле невозможно.

Масло дает небольшую скорость охлаждения в мартенситном интервале температур. Это уменьшает структурные напряжения, исключает появление закаленных трещин. Масло имеет постоянную охлаждающую способность (закаливающую) при нагреве до температур 120...150 °С, воспламеняется при температурах $t = 165\text{...}300\text{ °С}$ и дает на поверхности пригар. Температуру масла при закалке необходимо поддерживать 90...100 °С. Холодное масло имеет низкую вязкость и дает малую скорость охлаждения, особенно в области температур перлитного превращения.

ПОВЕДЕНИЕ ОХЛАЖДАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ЗАКАЛКЕ

При погружении нагретой детали в охлаждающую среду и охлаждении ее до комнатной температуры на кривой охлаждения можно различить три стадии (рис.1.1):

Первая (участок "А" на кривой рис.1.1) - вокруг нагретой детали возникает паровая рубашка. При этом скорость охлаждения резко уменьшается. Скорость отвода тепла через пар в воде и масле малая. В жидком азоте скорость охлаждения $v_{\text{охл}} 100\text{...}120$ град/с сохраняется во всем интервале температур. Паровая рубашка в видимом азоте устойчива во всем интервале температур, в том числе и при комнатной.

Вторая (участок "В" на кривой рис.1.1) - характерна тем, что паровая рубашка разрушается и жидкость начинает кипеть. Это стадия пузырькового кипения, где скорость склеивания максимальная. Этот этап стараются расширить, например, добавляя в воду соли или щелочи.

Третья (участок "С" на кривой рис.1.1) - на этой стадии кипение прекращается. Образование паровой рубашки не происходит. Отвод тепла осуществляется за счет конвекции. Скорость охлаждения в воде на этом этапе больше, по сравнению с охлаждением в масле. Оптимальный способ закалки и охлаждающую среду выбирают в зависимости от состава стали, геометрии

ческой формы и размеров детали. Чем сложнее деталь, тем больше величина внутренних структурных напряжений и тем дольше вероятность получения закалочных трений и брака. Различают следующие способы закалки:

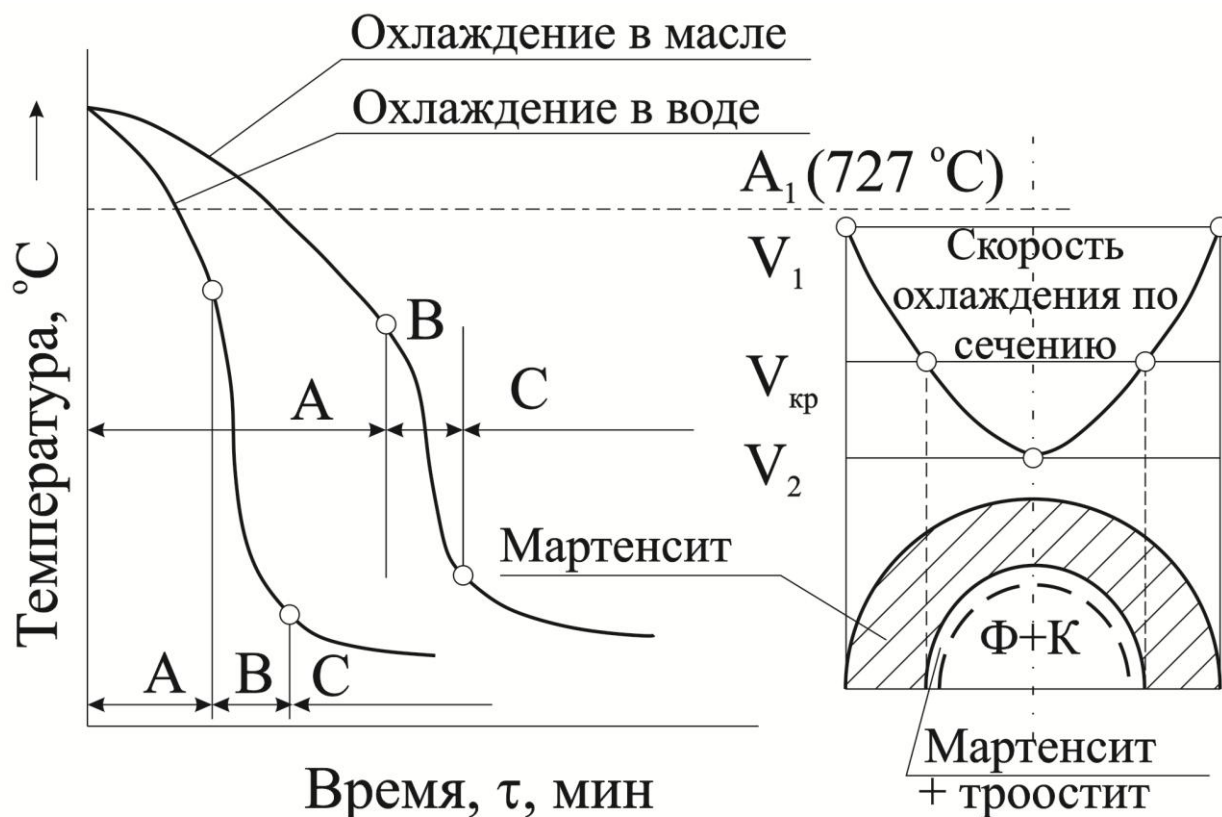


Рис. 1.1

1. Закалка в одном охладителе. На рис.1.2 скорость охлаждения v_1 . Нагретую деталь помещают в охлаждающую среду и выдерживают ее там до полного охлаждения. Этот способ применяется для деталей простой формы, изготовленных из углеродистой или легированной сталей.

2. Закалка в двух средах. Нагретую деталь вначале помещают, например, в воду, а затем переносят в масло, в соль или на воздух. Этот способ применяется при закалке высокоуглеродистых сталей. При охлаждении во второй закалочной среде уменьшаются внутренние напряжения. Для чего требуется высокая квалификация термиста. На рис.1.2 это показано кривой v_2 .

3. Ступенчатая закалка. Нагретую деталь обычно помещают в охлаждающую среду, которая имеет температуру немного выше M_H , выдерживают до полного выравнивания температуры по всему сечению. В дальнейшем деталь извлекают и охлаждают на спокойном воздухе. На рис.1.2 это показано кривой v_3 . При охлаждении на воздухе возможна правка деталей. В качестве охлаждающей жидкости применяют расплавленную соль, свинец, олово.

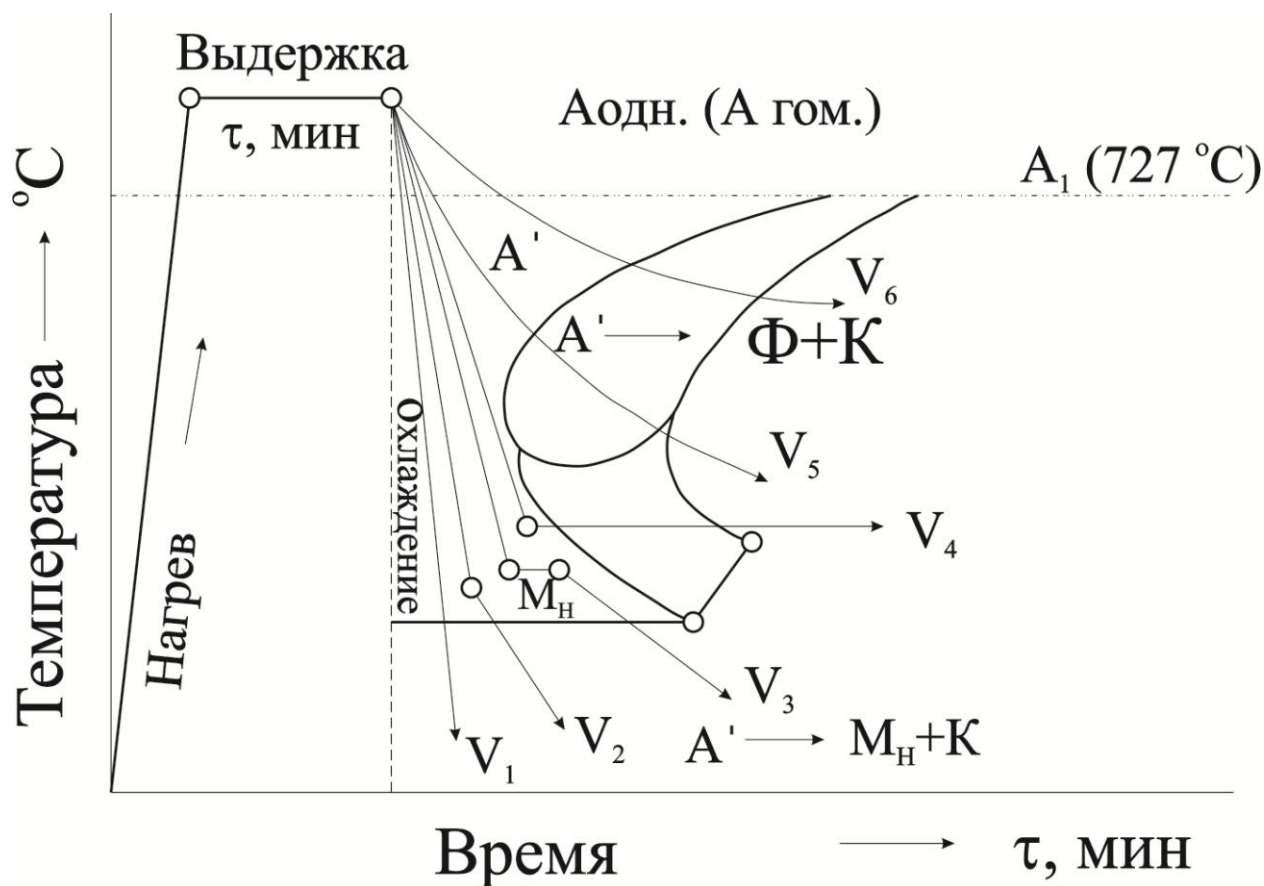


Рис. 1.2

Изотермическая закалка

При изотермической закалке детали выдерживают в расплавленной соли, например в селитре, до полного распада переохлажденного аустенита. Продолжительность выдержки в закалочной среде выбирают по диаграммам изотермического распада в справочниках. Изотермической закалке подвергают в основном легированные стали. В углеродистых сталях и имеется малая устойчивость переохлажденного аустенита. При сечении $S_r(\Phi) = 4,0$ мм получить структуру бейнита невозможно, ввиду распада переохлажденного аустенита в перлит на начальном этапе охлаждения.

Методические указания и порядок выполнения работы

1. Составить схему технологического процесса термической обработки сталей с охлаждением в различных средах.
2. При назначении технологических параметров процесса термической обработки использовать данные табл. 1.1.
3. Скорость охлаждения сталей в области температур переохлажденного аустенита (от T_{A1} до T_{Mn}) рассчитать по кривым охлаждения по методу касательных.
4. Определить степень переохлаждения стали до начала распада переохлажденного аустенита и дать сопоставимые заключения.

5. Определить (рассчитать) минимальную устойчивость переохлажденного аустенита до начала его распада с учетом охлаждающих сред.

6. Описать последовательность операций и явления, протекающие в аустените при охлаждении в различных закалочных средах.

7. Определить на образцах исследуемых сталей твердость, микротвердость в исходном состоянии и после закалки с охлаждением в различных закаленных средах.

8. Исследовать структуру и механические свойства сталей в исходном и закаленном состояниях. Данные занести в табл. 1. 2.

9. Дать заключение об охлаждающей способности различных сред. Написать выводы и рекомендации, написать отчет.

Таблица 1.2

Марка стали	Режимы термической обработки		Расчетные параметры охлаждающей среды				HRC (HRB)
	$t_{\text{ауст.}}, ^\circ\text{C}$	$\tau_{\text{выд.}}, \text{мин.}$	$\nu_{\text{охл.}}, \text{град/с}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$\tau_{\text{min}}, \text{сек}$	$t_{\text{расп. .}}, ^\circ\text{C}$	
	Закалка на воду						
	Закалка на масло						
	Нормализация						

Лабораторная работа 2

ВЛИЯНИЕ ОХЛАЖДАЮЩИХ СРЕД НА ЗАКАЛИВАЕМОСТЬ И ПРОКАЛИВАЕМОСТЬ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Цель работы

Изучить влияние различных охлаждающих сред (вода, масло, расплавленные соли и др.) на превращения углеродистой стали при проведении термической обработки с целью получения максимальной твердости и прочности.

Закаливаемость и прокаливаемость углеродистых сталей

Под прокаливаемостью следует понимать способность стали воспринимать закалку на большую или меньшую глубину. Прокаливаемость характеризуется зоной высокой твердости с мартенситной или троосто - мартенситной структурой.

От прокаливаемости отличают закаливаемость стали, под которой понимается способность к повышению твердости и других свойств стали в результате заковки. Способность стали к заковке в первую очередь зависит от содержания углерода в ней.

Одним из сильных охладителей является вода. Иногда охлаждающую способность холодной воды изменяют в большую сторону, добавляя к ней различные соли от 5 до 15 % объема. Однако центральная часть детали имеет скорость охлаждения меньше критической (для углеродистой стали менее 100 °C/с) при толщине или диаметре изделия более 10...15 мм. Для того чтобы закалить на мартенсит сталь, содержащую углерода 0,2 % и менее, необходима скорость охлаждения, превышающая 1000 °C /с, а это достижимо только на тонких пластинках. На рис. 2.1 показана схема охлаждения поверхностных и глубинных слоев детали, поясняющая прокаливаемость стали. При погружении детали в охлаждающую жидкость на поверхности происходит следующее:

- первый период - пленочное охлаждение - это когда образуется паровая рубашка, которая резко уменьшает скорость охлаждения;
- второй - пузырьковое кипение. В этот период паровая рубашка полностью разрушается, происходит быстрый теплоотвод;
- третий период - конвективный теплообмен, здесь заканчивается кипение охлаждающей жидкости. Теплоотвод в этот период происходит с наименьшей скоростью.

Итак, на поверхности охлаждение происходит со скоростью $v_{\text{охл.}}^{1T} > v_{\text{крит.}}$, поэтому там получается структура мартенсита с максимальной твердостью (см. рис.2.1).

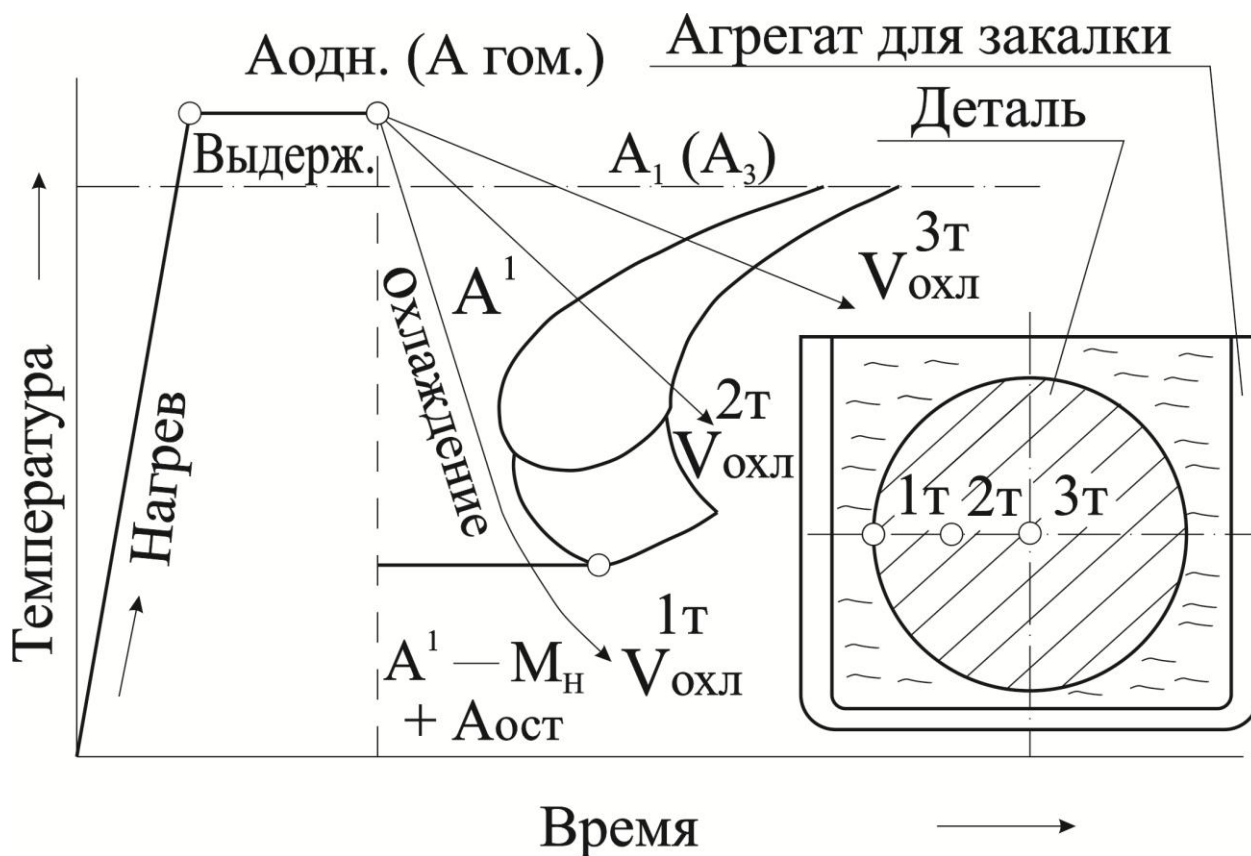


Рис. 2.1

Глубинные слои охлаждаются со скоростью $v_{\text{охл.}}^{2T} > v_{\text{крит.}}$, так как теплоотвод осуществляется лишь за счет теплопередачи от горячих слоев металла к холодным. Поэтому в этом интервале глубинных слоев, переохлажденный аустенит распадается на феррито - цементитную смесь, которая имеет меньшую твердость по сравнению с мартенситом. В центральной части детали в точке 3 охлаждение протекает за счет теплопередачи от горячих слоев металла к теплым, где скорость охлаждения $v_{\text{охл.}}^{3T} > v_{\text{охл.}}^{2T} > v_{\text{крит.}}$. В центре детали твердость самая наименьшая. Каждая сталь имеет свою глубину прокаливаемости, т.е. ту зону, где можно получить структуру мартенсита. Никакое увеличение скорости охлаждения выше критической не может увеличить прокаливаемость в значительной мере, а вот вероятность образования закалочных дефектов с повышением скорости охлаждения возрастает.

Если подвергнуть закалку в воде крупногабаритные детали, изготовленные из стали 45, то в поверхностных слоях получается смешанная структура, состоящая из мартенсита, троостита, сорбита, а в сердцевине детали возможна феррито - сорбитная структура для крупногабаритных деталей из углеродистой стали невозможно получить требуемую твердость даже на поверхности. Вследствие неполной закалки и образования неоднородной структуры в изделиях возникают напряжения, приводящие к большому количеству брака по трещинам. Чтобы улучшить закаливаемость углеродистой стали и избежать брака по трещинам, необходимо усилить циркуляцию воды или масла, или растворить некоторое количество солей.

Из углеродистых сталей наилучшей закаливаемостью обладает сталь эвтектоидного состава. Она имеет наименьшую критическую скорость охлаждения.

Введение в состав сталей легирующих элементов повышает устойчивость переохлажденного аустенита, и как следствие приводит к уменьшению критической скорости охлаждения, а следовательно, увеличивает прокаливаемость и улучшает закаливаемость. Для легированных сталей критическая скорость охлаждения может составлять 3...5 °C/с, а устойчивость переохлажденного аустенита - 20...25 мин (например, для стали P18) и более.

Детали из легированной стали даже с невысоким содержанием легирующих элементов и углерода при закалке в соответствующих охладителях могут прокаливаться насквозь в крупных сечениях. Например, для стали 30ХГСНА прокаливаемость составляет 280 мм.

В данной работе необходимо изучить влияние различных охлаждающих сред на закаливаемость и прокаливаемость стали.

Различное действие охлаждающих сред связано со скрытой теплотой испарения, теплоемкостью, теплопроводностью, с объемом охладителя, скоростью циркуляции охладителя, с температурой охладителя.

Из всех перечисленных факторов главным является скрытая теплота испарения, второстепенными - теплоемкость и теплопроводность.

Для расплава солей большое значение имеет температура охлаждения и скорость циркуляции охладителя.

Все применяющиеся в промышленности охладители по силе их действия делятся на четыре группы:

1. Сильнодействующие: холодная вода, растворы в холодной воде 5...15 %.
2. Среднедействующие: растворы в холодной воде глицерина, мыла, извести, подогретая до 50...60 °C вода, горячие водные растворы различных солей.
3. Умеренные: растительные и минеральные масла, мазут.
4. Слабодействующие: струя воздуха, струя воздуха с паром или с распыленной водой, расплавленный свинец (350...500 °C), расплавленные соли (150...500 °C), вода при 80...90 °C, горячие масла.

Выбор режимов охлаждения

При различных скоростях охлаждения стали после аустенизации можно получить следующие типы структур:

- 1) перлитную (ОДО, ВТМДО – охлаждение со скоростью меньше критической);
- 2) мартенситную (ТО, ВТМО – охлаждение со скоростью больше критической);
- 3) промежуточную бейнитную (ИЗО, ВТМИЗО – охлаждение до начала распада со скоростью больше критической, а распад при постоянной темпе-

ратуре). В производственных условиях для получения мартенситных структур используют для охлаждения чаще всего масло или воду, для получения структур бейнитного или перлитного типа – расплавленные соли или металлы.

В таблице П.1 приведены составы солей, применяемых в промышленности в качестве закалочных средств, а в таблице П.2 – скорости охлаждения различных сред.

Методические указания по выбору режимов термической обработки

1. При выборе температуры аустенизации использовать данные таблицы П.3. Минимальная температура аустенизации при обработках ТО, ИЗО, ОДО (где пластическая деформация аустенита отсутствует) назначается лишь на 30...50 °С выше критической для исследуемой цели.

2. В случае упрочнения по способам ВТМО, ВТМИЗО, ВТМДО (с предварительной горячей пластической деформацией аустенита) температура аустенизации может превышать критическую на 100...200 °С, что обусловлено особенностями в поведении аустенита при данных способах упрочнения.

3. Закалочная среда выбирается в соответствии с ее скоростью охлаждения и видом обработки по таблице П.1. Для получения структур бейнитного или перлитного типов следует применять закалочные среды, химический состав которых указан в таблице П.2.

4. По выбранным режимам провести термическую обработку. После термической обработки образцы замаркировать. Маркировка должна отражать вид упрочняющей обработки и сохраняться до конца механических испытаний.

5. Качество проведенного термического упрочнения оценивать по твердости. Отклонение от среднеарифметического значения не должно превышать $\pm 3\text{HRC}$. Недопустимо подвергать механическим испытаниям образцы, имеющие пятнистость по твердости.

Порядок выполнения работы

1. Получить стали для исследования. Используя данные таблицы П.1, П.2 и П.3 приложения, назначить режимы термической обработки и зарисовать схемы технологического процесса. Описать последовательность операций и явления, протекающие при проведении термической обработки. Режимы должны обеспечивать максимальную твердость.

2. Определить на образцах исследуемых сталей твердость и микротвердость в исходном состоянии и после закалки – на твердость. Описать охлаждающую способность каждой из исследованных сред. Исследовать структуры сталей, полученных закалкой в данной охлаждающей среде. Данные занести в таблицу 2.1 (результаты исследований).

3. Дать заключение о влиянии каждой охлаждающей среды на микроструктуру и твердость закаленной стали. Написать выводы и рекомендации по применению изученных охлаждающих сред для целей создания оптимального комплекса свойств.

Результаты исследования по закаливаемости различных углеродистых сталей

[illegible]

Лабораторная работа 3

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ ПРИ ЗАКАЛКЕ НА МИКРОСТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Цель работы

Изучить влияние различной скорости охлаждения при проведении термической обработки стали на механические свойства (по твердости) и ее структурное состояние.

Закалка углеродистых сталей

Свойства стали одного и того же химического состава можно, регулировать в широком интервале значений путем изменения ее структуры при проведении термической обработки. Термическая обработка – это совокупность операции нагрева, выдержки и охлаждения металлических изделий, изготовленных из стали определенного химического состава. Любой процесс термической обработки представляется обычно графически в координатах "температура - время" с указанием конкретных критических точек стали. На рисунке 3.1 представлена схема термической обработки углеродистой эвтектоидной стали "У8" (термокинетическая диаграмма превращения переохлажденного аустенита стали У8). А на рисунке 3.2 приведена диаграмма превращения аустенита при непрерывном охлаждении стали У8.

Если сталь У8 нагреть до аустенитного состояния, а затем охладить с различными постоянно растущими скоростями, то увеличивается степень переохлаждения аустенита, понимается температура начала его распада, В случае распада аустенита с получением структур перлитного типа (перлит, сорбит, троостит) процесс контролируется диффузией углерода

$$A_{0,8} \xrightarrow{\text{дифф.углерод.}} [(\Phi_{0,025} + \text{Ц}_{6,67})]$$

т.е. процесс начинается с диффузии углерода; затем образуется цементит различной дисперсности; заканчивается распад переохлажденного аустенита $Fe_\gamma \rightarrow Fe_\alpha$ превращением. С увеличением скорости охлаждения уменьшается диффузионная подвижность углерода, но одновременно увеличивается число зародышей цементита. Изменяется содержание углерода в Fe_α . В результате строение феррито - цементитной смеси изменяется; считают, что увеличивается степень дисперсности перлита. Такие изменения вызывают увеличение твердости и прочности феррито - цементитной смеси.

В зависимости от скорости охлаждения формируются следующие структуры:

1) при медленном охлаждении (например, вместе с печью, v_1 на рис. 3.1) получаем на стали У8 пластинчатый перлит с твердостью $HV \approx 1900...2300$ МПа;

2) при большей скорости охлаждения (например, v_2 – охлаждение на воздухе) получим сорбит с твердостью $HV \approx 3000$ МПа;

3) при охлаждении в водовоздушной диспергированной смеси (например, v_3 – получим троостит заковки). Твердость троостита $HV \approx 4000$ МПа;

При скорости охлаждения, близкой к критической ($v_{кр.}$, для У8 > 120 град/с), часть аустенита распадается на феррито - цементитную смесь (троостит заковки), а часть остается нераспавшейся. При достижении температуры M_H (M_H – температура начала мартенситного превращения) оставшийся аустенит претерпевает мартенситное превращение. Получим смешанную троосто - мартенситную структуру.

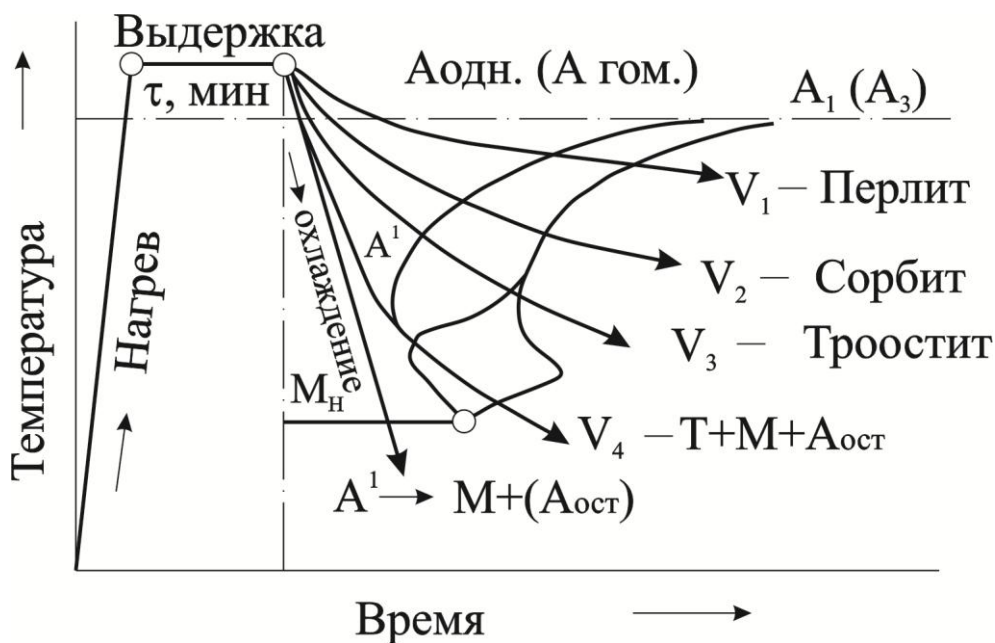


Рис. 3.1



Рис. 3.2

При скорости охлаждения больше чем критическая ($v_{\text{охл}} > v_{\text{кр}}$) подавляются (задерживаются) диффузионные процессы в аустените; аустенит переохлаждается до температуры M_H (рис.3.2), в результате чего мы получим новый тип структур. При этом происходит лишь перестройка кристаллической решетки аустенита (гранецентрированной кубической решетки, сокращенно ГЦК, символено Fe_γ) в объемно центрированную решетку феррита (сокращенно ОЦК, символено Fe_α) с многократно пресыщением углеродом. Этот тип структур носит название мартенсит – пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в α - железе. Превращение аустенита без выделения углерода в феррит приводит к искажению кристаллической решетки феррита: значительно повышается твердость, прочность стали; уменьшается пластичность. Сталь при этом скручивается. Мартенситное превращение протекает в интервале температур (от M_H до M_K). Температура M_K для большинства среднеуглеродистых сталей, конструкционных и инструментальных лежит в области отрицательных температур (3.3) (например, для стали У12 температура $M_K - t_{MK} \approx -100^\circ\text{C}$).

В структуре углеродистых сталей кроме мартенсита остается нераспавшийся так называемый остаточный аустенит " $A_{\text{ост}}$ ".

Структура мартенсита зависит от содержания углерода в стали. В малоуглеродистых сталях степень искажения кристаллической решетки мала; говорят, получили мартенсит близкий к кубическому (по характеру расположения отдельных структурных составляющих это реечный мартенсит). В этом случае закаленная на мартенсит сталь обладает достаточным запасом по пластичности.

В высокоуглеродистых сталях степень пересыщения углеродом велика, искажения кристаллической решетки большие; говорят, получили мартенсит тетрагональный. Степень тетрагональности $\frac{c}{\alpha} > 1$ (рис.3.4). По характеру структуры это игольчатый мартенсит, в котором отдельные структурные составляющие расположены относительно средней линии иглы мартенсита под углом 60° или 120° . Размеры отдельных составляющих мартенсита определяются действительной величиной аустенитного зерна. Чем больше зерно аустенита, тем крупнее пластины или иглы мартенсита.

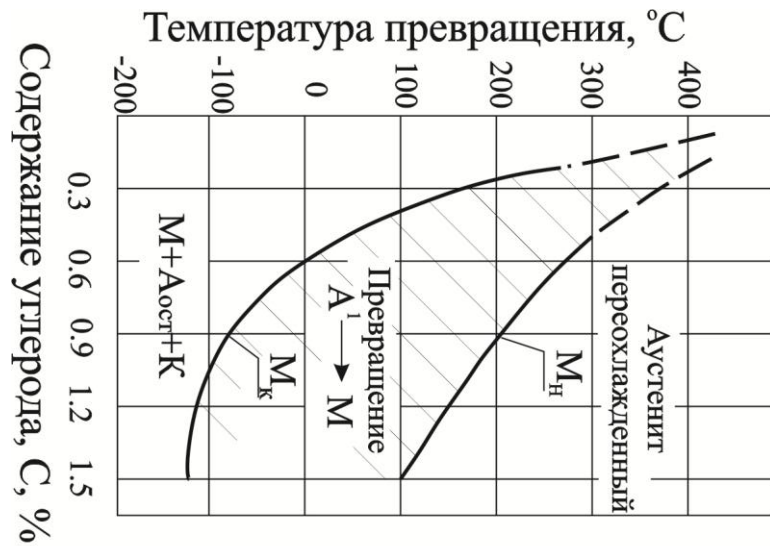


Рис. 3.3

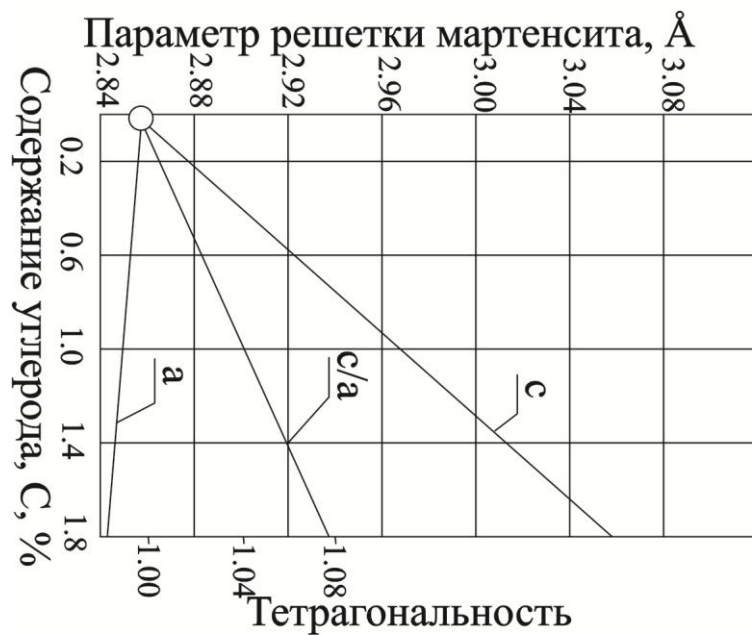


Рис 3.4

Порядок выполнения работы

1. Получить стали для исследования. Используя таблицу П.8 описать их химический состав и критические точки.
2. Используя данные таблицы П.1 выбрать охлаждающие среды, обеспечивающие получение структур перлита, сорбита, троостита, троосто - мартенсита и мартенсита закаленной стали.
3. Используя данные таблицы П. 3 назначить режимы термической обработки и зарисовать схемы технологического процесса закалки. Описать технологический процесс и последовательность операции.

5. Приготовить микрошлиф исследуемой стали. Исследовать структуру закаленной стали после охлаждения с различной скоростью. Дать заключение о влиянии скорости охлаждения на микроструктуру и свойства закаленной стали. Данные занести в таблицу 3.1. Написать выводы и рекомендации.

Результаты исследования по закаливаемости различных углеродистых сталей

[illegible]

Лабораторная работа 4

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ СТАЛЕЙ СО СТРУКТУРОЙ МАРТЕНСИТА И ПРОЦУКТОВ ЕГО РАСПАДА

Цель работы

Исследовать структуру и механические свойства сталей послезакалки на мартенсит с его последующим отпускком во всем интервале отпускных температур. Установить влияние режимов термической обработки на конструктивную прочность сталей.

1. Аустенитизация сталей

В теории и практике термической обработки нагрев сталей до аустенитного состояния и выдержка при температуре нагревания носит название «процесс аустенитизации».

Температура нагрева при различных видах термической обработки назначается с учетом температур критических точек упрочняемой стали. Для сокращения терминологии общепринятые критические точки различных сталей, соответствующие одинаковым структурным превращениям, принято обозначать в соответствии с равновесной диаграммой состояния «железо - цементит»:

A_C – температура превращения при нагреве;

A_T – температура превращения при охлаждении;

A_0 – 210 °С, температура магнитного превращения цементита (точка Кюри цементита);

A_1 – температура равновесия аустенита с ферритом и цементитом;

A_2 – 768 °С, температура магнитного превращения феррита (точка Кюри феррита);

A_3 – температура верхней границы области равновесия феррит - аустенит;

A_{CM} - температура верхней границы области равновесия аустенита с цементитом вторичным;

M_H – температура начала мартенситного превращения;

M_K – температура конца мартенситного превращения.

На практике критические температуры выбирают в справочниках по термической обработке. Для углеродистых и некоторых наиболее распространенных марок низко- и среднеуглеродистых сталей химический состав и критические точки приведены в таблице П.3.

При аустенитизации происходят следующие основные превращения (рис.4.1):

а) образование аустенита, включающее в себя зарождение и рост аустенитных зерен;

б) растворение частиц второй фазы (карбидов, нитридов и сложных интерметаллидных частиц);

в) насыщение аустенитного зерна углеродом и другими легирующими элементами;

г) процесс гомогенизации аустенита.



Чем выше температура нагрева, тем полнее растворяются карбиды и карбонитриды, увеличивается легированность аустенита, которая влияет на продукты его распада. Однако при растворении интерметаллидных частиц исчезают препятствия росту аустенитных зерен, начинается их активный рост. При крупном аустенитном зерне продукты его распада грубодисперсные, что отрицательно сказывается на уровне конструктивной прочности.

Время выдержки при температуре аустенитизации назначается в зависимости от конкретных условий: конфигурации деталей; плотности загрузки в печи; объема и мощности нагревательного устройства. Общее время выдержки для деталей простой конфигурации составляет 1,0...1,5 минуты на миллиметр наибольшего поперечного сечения в изделии.

Таким образом, аустенитизация стали является диффузионным процессом. Зеродыши аустенита часто возникают на межфазной поверхности феррита и цементита (рис.4.2). Здесь раньше создается необходимое для полиморфного превращения обогащение феррита углеродом. Из-за наличия дефектов понимается работа образования зародыша критического размера. Возникающий аустенит химически неоднороден. Особенно много содержит углерода аустенит, образовавшийся полного растворения цементита. Поэтому для гомогенизации аустенита необходимы дополнительные выдержки. На рис. 4.1 кривая полной аустенитизации обозначена цифрой 4.

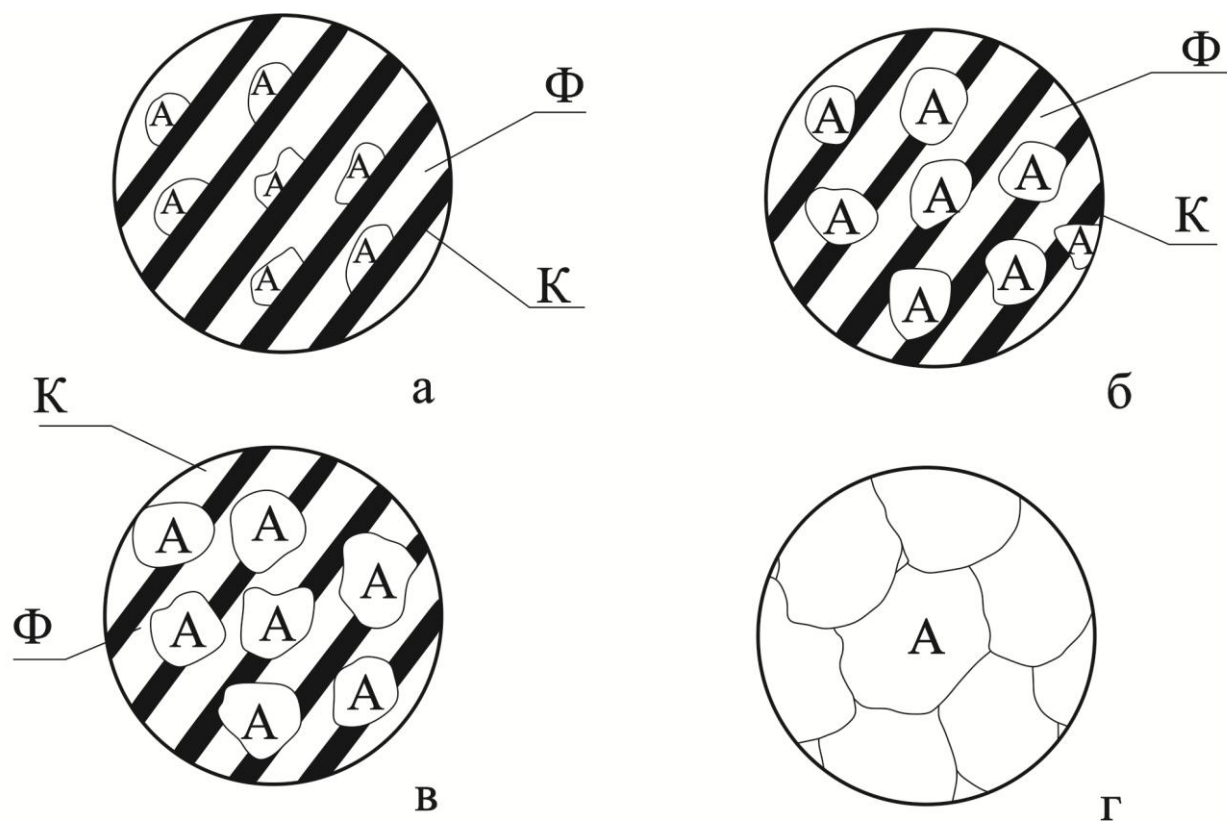


Рис. 4.2

2. Мартенситное превращение в стали

При быстром охлаждении стелей, прошедших полную аустенитизацию в воде или в масле, диффузионный распад аустенита на феррита - цементитную смесь подавлен. Однако полиморфное превращение аустенита подавить нельзя. При достижении температуры так называемого мартенситного превращения, которая обозначается точкой M_n , происходит мгновенная перестройка решетки ГЦК в ОЦК. На рис.4 изображена схема влияния скорости превращения на температуру, количество структурных составляющих.

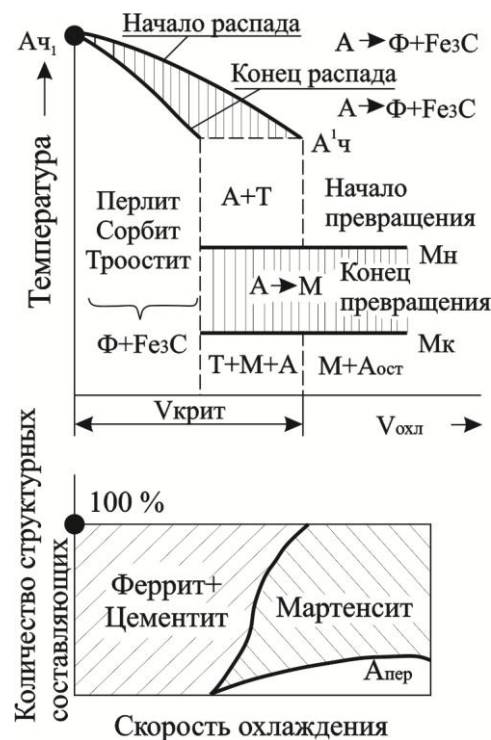


Рис. 4.3

Атомы углерода при этом занимают октаэдрические поры в кристаллической решетке ОЦК. Если содержания углерода при этом больше равновесного (феррит в равновесном состоянии растворяет 0,025% C), то кристаллическая решетка оказывается сдеформированной; в образовавшейся решетке ОЦК « $\alpha_0 = b_0 \neq c_0$ »; $c_0 > \alpha_0$; отношение $\frac{c_0}{\alpha_0} > 1$.

Отношение $\frac{c}{\alpha}$, характеризующее степень деформации или искажения, носит название – «степень тетрагональности».

Мартенсит – это пересыщенный твердый раствор углерода в ОЦК. Максимальное содержание углерода в мартенсите такое же, как и в гомогенном аустените до начала его распада в мартенсит.

2.1. Особенности мартенситного превращения

1. Мартенситное превращение протекает при быстром охлаждении углеродистой стали с температурой выше A_1 .

2. Превращение аустенита в мартенсит при охлаждении начинается с определенной для каждой марки стали температуры, которая обозначается M_H .

3. Чтобы мартенситное превращение развивалось до конца, необходимо охлаждать сталь непрерывно до температуры конца превращения M_K .

4. Мартенситное превращение в углеродистой стали не имеет инкубационного периода.

5. При мартенситном превращении на полированной поверхности образуется рельеф. Он свидетельствует о том, что превращение прошло путем сдвига или двойникования.

6. Мартенсит образуется в форме пластин, которые растут со скоростью 1000 м/с при любых температурах.

Мартенсит – метастабильная фаза. На диаграмме состояния «железо – цементит» она отсутствует. При любых температурах мартенсит обладает большей свободной энергией. В углеродистых сталях мартенсит всегда является пересыщенным твердым раствором внедрения углерода в решетке ОЦК.

$$\frac{c}{\alpha} = 1 + 0,046 P,$$

где P - концентрация углерода по массе, %.

Содержание углерода в стали и в аустените не всегда одинаково, так как углерод входит в состав карбидов. Карбиды, сосуществующие с аустенитом, сами по себе не влияют на точку M_H . При повышении температуры заковки, когда карбиды растворяются в аустените и концентрация углерода в нем возрастает, точка M_H снижается.

Если задержать на некоторое время охлаждение при температуре ниже M_H , то аустенит, сохранившийся непревращенным, становится более устойчивым. При дальнейшем понижении температуры этот аустенит не сразу распадается на мартенсит, а лишь после некоторого переохлаждения относительно температуры остановки.

Характерной особенностью мартенсита заковки является большая прочность, твердость по сравнению с ферритом данной стали. Однако мартенсит заковки обладает повышенной хрупкостью и низкой пластичностью.

Удельный объем аустенита при содержании углерода от 0,2 до 1,4 % составляет 0,12227 - 0,12528 соответственно; удельный объем этого же мартенсита изменяется от 0,12708 до 0,13061 см³/г. Поэтому увеличение удельного объема при образовании мартенсита является одной из основных причин возникновения при заковке больших внутренних напряжений. Эти внутренние напряжения вызывают деформации, поводки, коробления и даже трещины. Стали после заковки на мартенсит всегда подвергают отпуску.

2.Отпуск стали

(превращение мартенсита и остаточного аустенита при нагреве)

Отпуск стали - это нагрев закаленной стали до температур выше точки A_1 . Типичная структура закаленной стали – «Мартенсит - остаточный аустенит - карбиды (в легированных и высокоуглеродистых сталях)». Мартенсит и остаточный аустенит являются неравновесными фазами. Переход в более устойчивое – равновесное состояние должен сопровождаться распадом аустенита и мартенсита.

Поэтому различают:

1. Первое превращение при отпуске (распад мартенсита). Температура 100...200 °С.

2. Второе превращение при отпуске (распад остаточного аустенита). Температура 200...350 °С.

3. Третье превращение при отпуске – образование и коагуляция карбидов; снятие внутренних напряжений. Это превращение при отпуске охватывает интервал от 360 °С до 650 °С. Наиболее интенсивно внутренние напряжения снимаются при 550 °С и выше.

С технологической точки зрения различают три вида отпуска:

1) низкотемпературный (низкий) отпуск проводят с нагревом до 200 °С. При этом мартенсит закалки переходит в мартенсит отпуска; снижаются внутренние напряжения, улучшается вязкость, повышается прочность без заметного снижения твердости;

2) среднетемпературный (средний) отпуск выполняют при температурах 250...450 °С. Применяют главным образом для пружин, рессор, штампов. При этом у стали повышается пластичность, вязкость, снижается твердость. У легированных сталей в этом интервале возможна необратимая отпускная хрупкость. Охлаждение в воде после отпуска частично устраняет отпускную хрупкость. Это связано с образованием на поверхности сжимающих остаточных напряжений;

3) высокотемпературный (высокий) отпуск проводят при температурах 500...650 °С. Высокий отпуск создает наилучшие сочетания пластичности, вязкости и прочности. Термическую обработку, состоящую из закалки и высокого отпуска, называют улучшением. При высоком отпуске происходит дальнейшее снижение твердости и прочности, с одновременным увеличением пластичности стали. Сталь после закалки и последующего высокого отпуска имеет меньшую чувствительность к концентраторам напряжений, снижается температура верхнего и нижнего порога хладноломкости. Отпуск при температурах 550...600 °С в течение 1,0...2,0 ч полностью снимает остаточные внутренние напряжения. Чаще всего длительность отпуска составляет $t = 1,5...2,0$ часа.

Методические указания и порядок выполнения лабораторной работы

1. Получить стали для исследования. Составить схему технологической обработки сталей, сочетающую закалку на мартенсит с последующим отпуском во всем интервале температур отпуска. При назначении режимов термической обработки использовать данные таблицы П. 3 Данные занести в таблицу 4. 1.

2. По выбранным режимам провести термическую обработку. После термической обработки образцы замаркировать. Маркировка должна отражать вид упрочняющей обработки и сохраняться до конца механических испытаний.

3. Качество проведенного термического упрочнения оценивать по твердости. Отклонение от среднеарифметического значения не должно превышать ± 3 HRC. Недопустимо подвергать механическим испытаниям образцы, имеющие пятнистость по твердости.

4. Данные по твердости и микротвердости занести в таблицу 4.2. Твердость и микротвердость определять на образцах до и после термической об-

работки. По данным механических испытаний рассчитать стандартные характеристики. Данные занести в таблицу 4.2.

5. Исследовать структуру сталей после проведенных режимов упрочняющих обработок. Дать заключение о влиянии каждой термической обработки на микроструктуру, твердость и механические свойства. Написать выводы и рекомендации по применению данных видов термической обработки для целей оседания оптимального комплекса свойств.

Таблица 4.1

Марка стали	Режимы термической обработки					
	$t_{\text{ауст.}}, ^\circ\text{C}$	$\tau_{\text{выд.}}, \text{мин}$	Охлажд. среда	$v_{\text{охл.}}, \text{град/с}$	$t_{\text{Мн.}}, ^\circ\text{C}$	$t_{\text{отп.}}, ^\circ\text{C}$

Таблица 4.2

Температура отпуска, $^\circ\text{C}$	Механические свойства сталей					
	$\sigma_{\text{в}}, \text{МПа}$	$\sigma_{0,2}, \text{МПа}$	$S_{\text{к}}, \text{МПа}$	$\delta, \%$	$\Psi, \%$	HRC (HRB)

Лабораторная работа 5

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ СТАЛЕЙ С ИЗОТЕРМИЧЕСКИМ РАСПАДОМ ПЕРЕОХЛАЖДЕННОГО АУСТЕНИТА В БЕЙНИТ

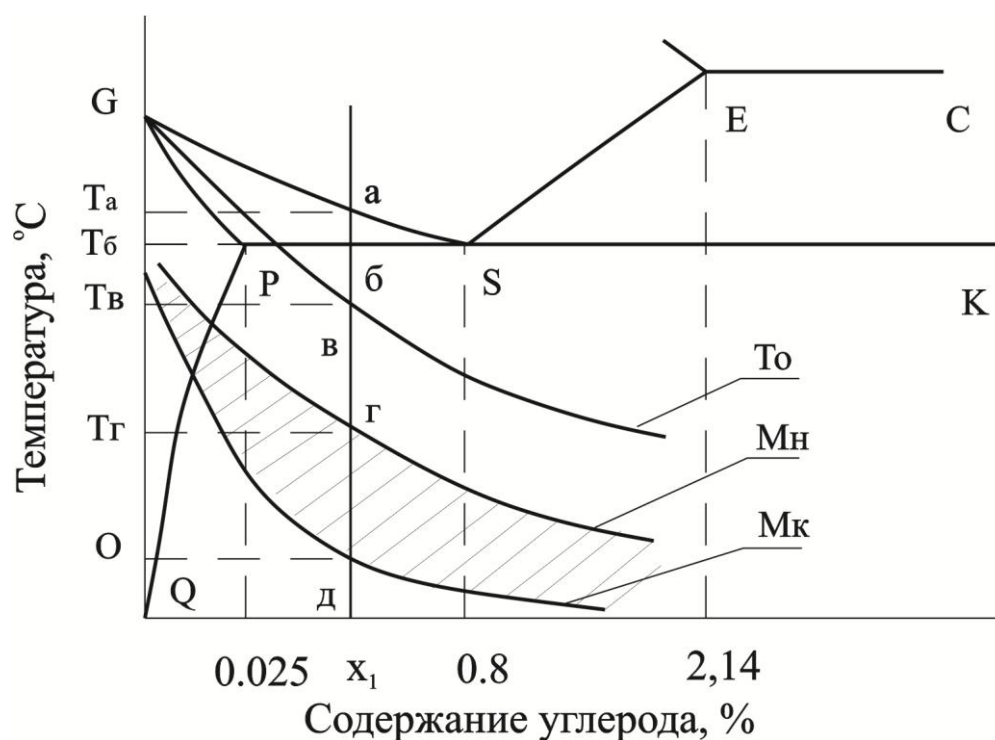
Цель работы

Исследовать структуру стали, полученную изотермическим распадом переохлажденного аустенита в бейнитной области. Оценить конструктивную прочность стали, имеющей структуру бейнитного типа.

1. Превращение в углеродистой стали при охлаждении

При охлаждении стали, содержащей углерода меньше равновесного, полиморфное превращение заканчивается образованием феррита. Если в стали содержание углерода больше равновесного при данной температуре, то $\gamma \rightarrow \alpha$ превращение дополняется эвтектоидным распадом аустенита $[Fe_\gamma \rightarrow Fe_\alpha + (Fe_\alpha + Fe_3C)]$. Форма, число и распределение образовавшихся ферритных кристаллов зависят от многих факторов. Медленное охлаждение ниже температуры T_a (рис.5.1.) приводит к образованию равноосных кристаллов феррита.

Если содержание углерода повышенное, то образование феррита происходит в основном на границах зерен аустенита. При ускоренном охлаждении стали кристаллы феррита растут и в объеме аустенитных зерен. Поскольку переупаковка атомов связана с диффузионным перераспределением углерода между фазами, то укрупнение зерен аустенита связано с образованием видманштеттовой структуры.

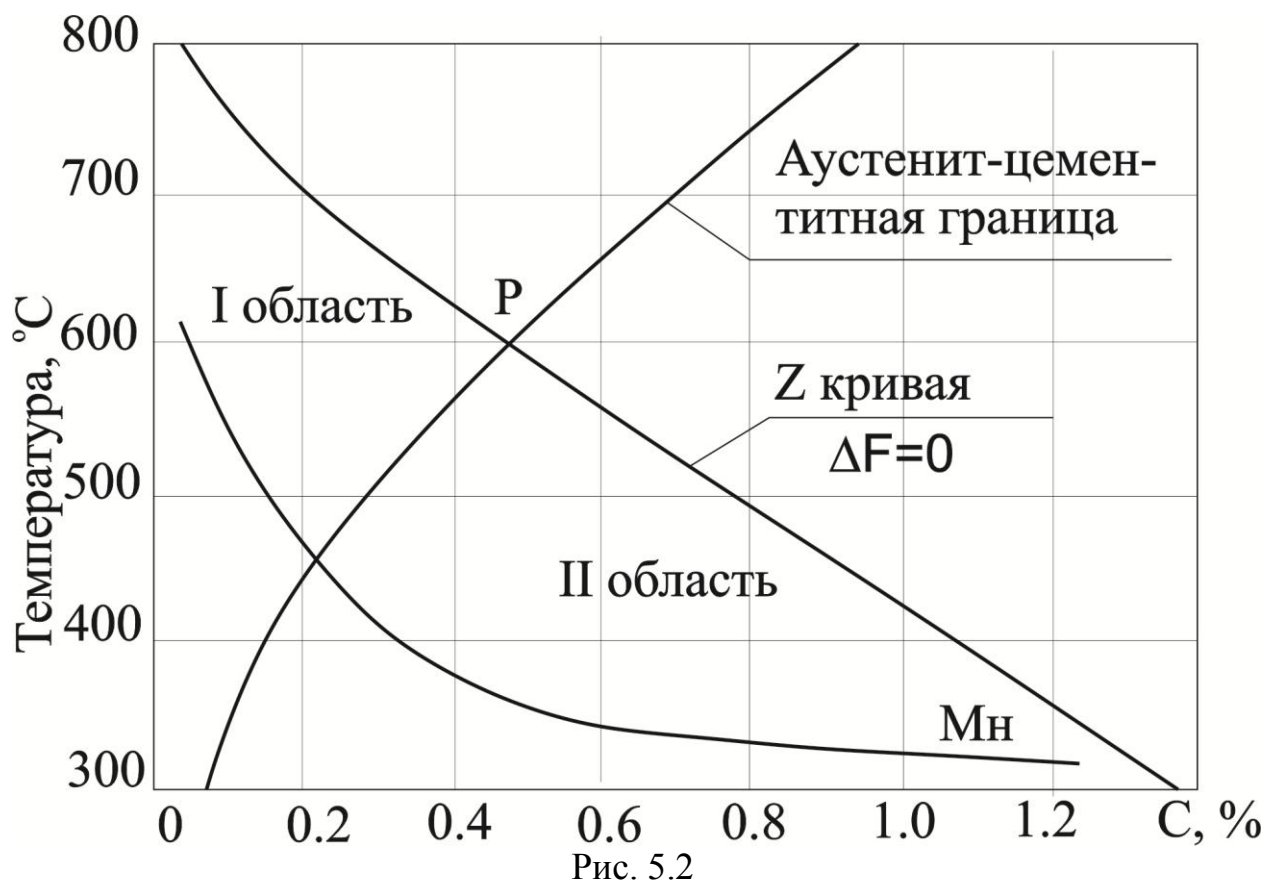


Переход $\gamma \rightarrow \alpha$ без перераспределения углерода становится возможным при охлаждении стали состава X_1 ниже температуры T_B , характеризующей условия равновесия (равенства термодинамических потенциалов) аустенита и феррита одинакового состава (кривая T_0). Образование пересыщенного углеродом раствора в обычных условиях происходит при охлаждении до линии M_N (точка T_Γ). В этом случае полиморфное превращение осуществляется сдвигом и не сопровождается изменением состава твердого раствора. Образуются пластины и иглы новой структуры, которая называется мартенситом. Пластины и иглы мартенсита ориентированы в исходном твердом растворе закономерно:

$$\begin{aligned} (011)_M &\parallel (111)_A \\ [111]_M &\parallel [110]_A \end{aligned}$$

2. Кинетика бейнитного превращения

Промежуточные, или так называемое бейнитное превращение, протекает от 550 °С и до температуры начала мартенситного превращения, т.е. до M_N , оно сочетает в себе элементы диффузионного перераспределения углерода между продуктами распада аустенита и сдвиговый характер $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения (рис.5.2).



Двойственный характер промежуточного или так называемого бейнитного превращения сказывается и на его кинетике. Как и при перлитном превращении, скорость промежуточного превращения определяется диффузией атома внедрения углерода в твердом растворе. На рисунке 5.3 показана кинетика бейнитного превращения при изотермической закалке.

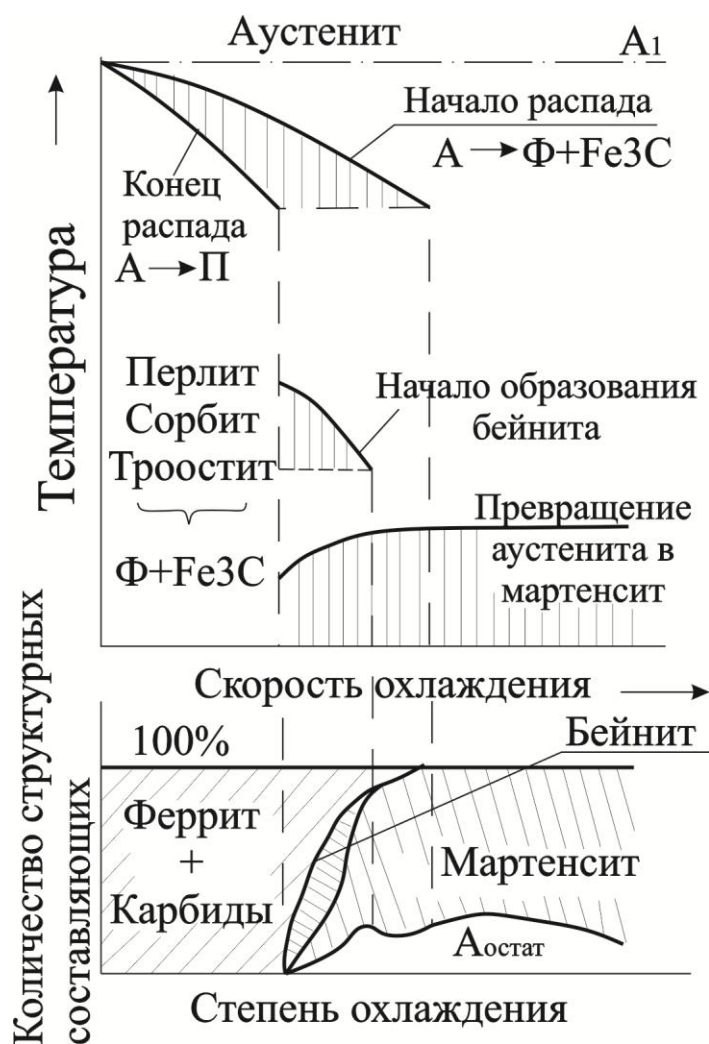


Рис. 5.3

Промежуточное превращение начинается при охлаждении аустенита до температуры ниже T_0 (см. рис.5.1, точка в). При T_0 термодинамические потенциалы растворов γ и α одного состава одинаковы. Однако малая диффузионная подвижность атомов железа не позволяет осуществить $\gamma \rightarrow \alpha$ переход по нормальному (диффузионному) механизму. Кристаллы α - феррита образуются по сдвиговому механизму. Однако такой кристалл сильно разрастаться не может, так как это приводит к значительной упругой и пластической деформации окружающего аустенита, потере сопряженности γ и α упаковок.

При малом переохлаждении ниже T_0 энергия деформации может быть выше выигрыша термодинамического потенциала при бездиффузионном $\gamma \rightarrow \alpha$ превращении. Тогда рост кристалла α - фазы бейнита прекратится. Если кристалл α - фазы бейнита будет содержать мало углерода, то его образование окажется энергетически оправданным. Содержание углерода в α - фазе бейнита может уменьшиться либо за счет выделения карбидов, либо за счет диффузии углерода в окружающий аустенит (рис.5.4). При этом содержание углерода повышается от 0,6 до 1,6 %.

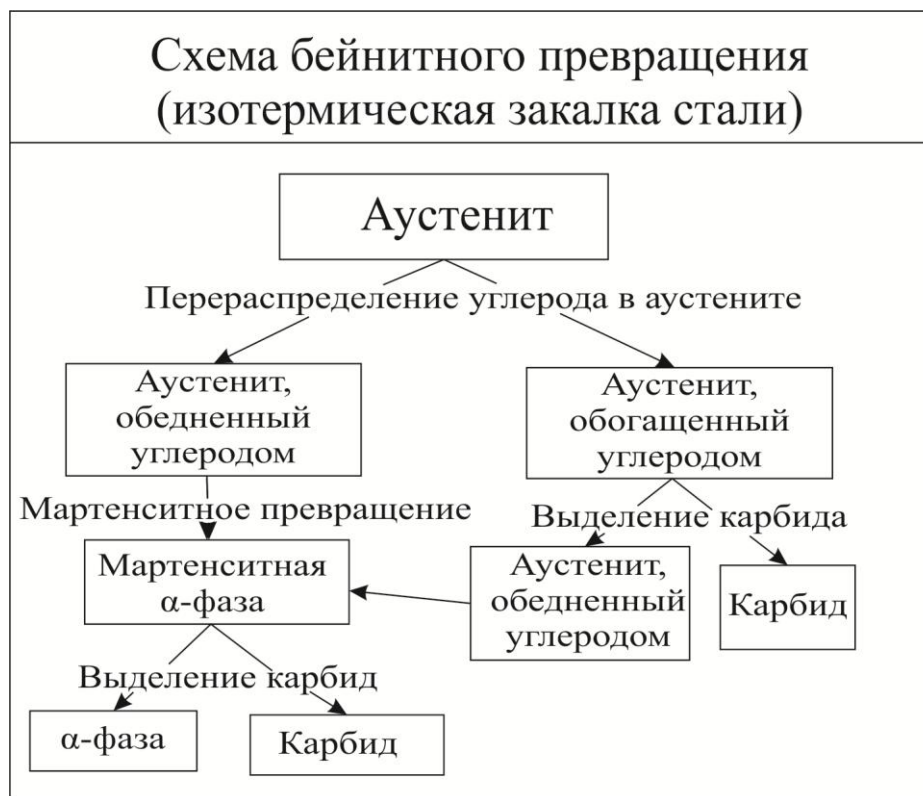


Рис. 5.4

Благодаря этому повышается устойчивость переохлажденного аустенита, и он теряет способность к $\gamma - \alpha$ превращению. Способность аустенита к превращению восстанавливается либо вследствие диффузии углерода от границы раздела с α - фазой бейнита, либо в результате образования карбидов железа.

При больших степенях переохлаждения ниже температуры T_0 атомы углерода не успевают удалиться от феррита (фронта $\gamma - \alpha$ превращения и тогда цементит выделяется на межфазной поверхности α - фазы бейнита и аустенита). Кинетика изотермического превращения аустенита и количество структурных составляющих представлены на рис.5.3.

В образующейся α - фазе бейнита углерода больше равновесного, поэтому решетка бейнита тетрагональная. При этом при бейнитном превращении образуется двухфазная смесь кристаллов α – твердого раствора, пересыщенного углеродом, и карбиды. В зависимости от температуры превращения различают нижний — игольчатый бейнит, образующийся при температурах 350...250 °С. Он напоминает отпущенный мартенсит. Бейнит, образующийся при температурах 450..300 °С, носит название «верхний» и напоминает вид резаной соломы. Верхний бейнит от нижнего можно более строго отличить при электронно - микроскопическом анализе. В верхнем бейните карбидные частицы расположены между пластинами α - фазы бейнита, по границам пластин α - фазы , внутри пластин. В нижнем бейните включения карбидов находятся только внутри пластин α - фазы бейнита.

3. Механизм бейнитного превращения

Продукты изотермического распада переохлажденного аустенита по своим свойствам, составу и структуре близки к продуктам отпущенного мартенсита заявленной стали, если температура отпуска и распада примерно одинаковы. Карбидная фаза в верхнем бейните цементит (Fe_3C), а в нижнем бейните ϵ - карбид ($\text{Fe}_\epsilon\text{C}$), который заменяется на Fe_3C с увеличением температуры или времени выдержки. Бейнитное превращение включает следующие основные процессы: $\gamma - \alpha$ перестройку решетки; перераспределение углерода; выделение карбидов железа. Во всем температурном интервале бейнитного превращения феррит бейнита образуется по мартенситному механизму. Это подтверждает факт образования рельефа на плоской предварительно отполированной поверхности. При перлитном превращении этого не происходит. По окончании бейнитного превращения в сталях всегда присутствует остаточный аустенит.

Бейнитное превращение протекает ниже температуры рекристаллизации железа, т.е. ниже 500°C . В этом интервале температур полностью подавлена диффузия железа. Образование феррита путем неупорядоченного $\gamma - \alpha$ превращения невозможно. Перлитный распад подавлен. Но выше 200°C еще достаточно активно идет диффузия углерода, которая делает возможным выделение карбида из аустенита и феррита.

Пластинки α - фазы бейнита растут медленно путем когерентного роста при упругой связи с исходной γ - фазой. Это объясняется тем, что α - фаза бейнита может образоваться лишь на γ - фазе, обедненной углеродом.

Рост α - фазы бейнита контролируется диффузией углерода. В момент превращения концентрация углерода не меняется. Тотчас же после $\gamma - \alpha$ превращения начинается выделение углерода с образованием цементита или ϵ - карбида. В участках аустенита, которые обогатились углеродом перед, $\gamma - \alpha$ превращением может сразу выделиться карбид (см.рис.5.4). При высоких температурах превращения α - фаза бейнита содержит мало углерода.

4. Механические свойства стали со структурой бейнита

Бейнит прочнее перлита. Прочностные свойства бейнита растут с понижением температуры изотермического распада. Пластичность бейнита выше по сравнению с мартенситом. Повышенная прочность бейнкита обусловлена малым размером кристаллов α -фазы; дисперсными выделениями карбидов; повышенной плотностью дислокаций: закрепленных атомами углерода; искажениями решетки α - фазы за счет пресыщенности ее углеродом и легирующими элементами.

Предел текучести бейнита связан с размером кристаллов α - фазы соотношением Петча — Холла. С понижением температуры распада кристаллы α - фазы становятся мельче. Это является одной из главных причин повышения прочностных свойств бейнита. Сталь со структурой нижнего бейнита отличается сочетанием высокой прочности и пластичности.

Методические указания

1. Получить стали для исследования. Используя таблицу приложения описать их химический и фазовый состав в равновесном (отожженном) состоянии. Описать критические точки и параметры, характеризующие распад переохлажденного аустенита в бейнитной области.

2. Используя данные таблицы П.1 выбрать охлаждающие среды, обеспечивающие получение структуры нижнего и верхнего бейнита.

3. Используя данные таблицы П.1 и П.8 разработать схему технологического процесса с получением структур бейнитного типа. Описать последовательность операций при термической обработке.

4. Провести термическую обработку сталей с получением структур верхнего и нижнего бейнита. Определить на образцах исследуемых сталей твердость и микротвердость до термообработки и после термообработки по различным режимам. Провести испытание на растяжение. По полученным диаграммам растяжения рассчитать механические характеристики, получаемые при испытаниях на растяжение.

5. Приготовить микрошлиф исследуемой стали. Исследовать и описать структуру верхнего и нижнего бейнита. Дать заключение о влиянии микроструктурных на механические свойства исследуемых сталей данные занести в таблицы 5.1 и 5.2. Написать выводы и рекомендации.

Таблица 5.1

Марка стали	Режимы термической обработки					
	$t_{\text{ауст.}}, ^\circ\text{C}$	$\tau_{\text{выд.}}, \text{мин}$	Охлажд. среда	$v_{\text{охл.}}, \text{град/с}$	$t_{\text{из.}}, ^\circ\text{C}$	$\tau_{\text{изо.}}, \text{мин}$

Таблица 5.2

Температура отпуска, $^\circ\text{C}$	Механические свойства сталей					
	$\sigma_{\text{в}}, \text{МПа}$	$\sigma_{0,2}, \text{МПа}$	$S_{\text{к}}, \text{МПа}$	$\delta, \%$	$\Psi, \%$	HRC (HRB)

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблица П.1

Скорость охлаждения стали в различных средах

Закалочная среда	Скорость охлаждения в интервале температур, °С/с	
Вода при: 18 °С	600	270
28 °С	500	270
50 °С	100	270
74 °С	30	200
10%-ный водный раствор едкого натра при 18 °С	1200	300
10%-ный водный раствор поваренной соли при 18 °С	1100	300
10%-ный водный раствор соды при 18 °С	800	270
10%-ный водный раствор серной кислоты при 18 °С	750	300
Вода дистиллированная	250	—
Эмульсия масла в воде	70	200
Мыльная вода	30	—
Минеральное машинное масло	150	30
Трансформаторное масло	120	25
Сплав 75 %Sn +25 %Cd при 175 °С	450	50
10%-ный водный раствор NaCl при 18 °С	1100	300
10%-ный водный раствор Na ₂ CO ₃ при 18 °С	800	270
Плиты медные	80	—
Плиты алюминиевые	50	—
Плиты стальные	30	—
Кипящий слой: Al ₂ O ₃ размером Ø 250 мм	90	120
Расплавленная селитра при температуре: 200 °С	100	—

Таблица П.1

Соли, применяемые для охлаждения

Состав соли, %	Температура плавления, °C	Температурный интервал применения, °C
55% KNO_3 +45% $NaNO_2$	137	150...500
55% $NaNO_3$ +45% $NaNO_2$	221	230...550
55% $NaNO_3$ +45% KNO_3	218	230...550
55% KNO_3 +45% $NaNO_3$	218	230...550
$NaNO_3$	317	325...600
KNO_3	337	350...600
28% $NaCl$ +72% $CaCl_2$	500	540...870

Таблица П.3

Химический состав (%) и критические точки углеродистых сталей

Марка стали	Содержание элементов по массе, %							Критические точки			
	<i>C</i>	<i>Mn</i>	<i>Si</i>	<i>S</i>	<i>P</i>	<i>Cr</i>	<i>Ni</i>	<i>Ac₁</i>	<i>Ac₃</i>	<i>Mn</i>	<i>t_n</i>
10	0,07-0,14	0,35-0,65	0,17-0,37	0,04	0,036	0,15	0,25	735	790	–	920
20	0,17-0,24	0,35-0,65	0,17-0,37	0,04	0,045	0,30	0,30	735	854	470	910
30	0,27-0,35	0,50-0,80	0,17-0,37	0,05	0,045	0,30	0,30	730	830	360	890
40	0,37-0,45	0,50-0,80	0,17-0,37	0,05	0,045	0,30	0,30	730	800	350	880
45	0,42-0,50	0,50-0,80	0,17-0,37	0,05	0,45	0,30	0,30	730	790	340	840
50	0,47-0,55	0,50-0,80	0,17-0,37	0,04	0,045	0,39	0,30	725	770	340	830
60	0,57-0,65	0,50-0,80	0,17-0,37	0,04	0,045	0,30	0,30	725	760	320	830
У7 (У7А)	0,65-0,74	0,20-0,40	0,15-0,35	0,03	0,035	0,20	0,25	730	760	280	900
У8 (У8А)	0,75-0,84	0,20-0,40	0,15-0,35	0,03	0,035	0,20	0,25	730	–	210	860
У10 (У10А)	0,95-1,04	0,15-0,35	0,15-0,35	0,03	0,04	0,20	0,25	730	–	175	790

Таблица П.3а

Цементуемые стали

Но- мер груп- пы	Марка стали	Условия нагруже- ния	Сече- ние детал- ли	Прокали- ваемость $D_{кр}$, мм	Перечень деталей	Поверхно- стный слой	Сердцевина изделия					
						HRC	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	KCU, МДж/ м ²	HB	
1	10	Износ при ма- лых удельных нагруз- ках	Малое	Менее 10 мм	Кулачки, штампо- вый инст- румент	60...64	Не регламентированы					95...1 00
2	15X, 15Г, 20X, 20Г, 15XФ, 12ХН2	Износ при по- вышен- ных удельных нагруз- ках	Малое и сред- нее	10...15	Штампо- вый инст- румент, зубчатые колеса, работаю- щие на износ без динами- ческих на- грузок	58...61	750...85 0	650...70 0	15	1,0... 1,2	100... 160	
3	18ХГМ 18ХГТ 12ХН3	Износ при вы- соких	Сред- нее	15...20 и бо- лее	Шестерни	56...61	1200...1 300	1000...1 100	12... 15	0,8... 1,0	250... 350	

	A	удельных нагруз- ках									
4	18X2H4 BA 30XГТ	Износ при вы- соких удельных нагруз- ках	Большое	Более 100	Зубчатые колеса ав- томобиля	56...61	1300...1 600	1100...1 400	10... 14	0,7... 1,0	320... 440

Улучшаемые стали

Но- мер груп- пы	Мар- ка стали	Условия нагру- жения	Прокали- ваемость $D_{кр}$, мм	Перечень дета- лей	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	KCU, МДж/м ²	НВ
					после окончательной термообработки				
1	30, 40 45, 50	Детали, рабо- тающие при ма- лых на- грузках	8...12	Гладкие, сту- пенчатые валы, фланцы, штиф- ты, цапфы, ва- лы карданные	700...800	500...70 0	11...15	1,0...1,3 5	241...26 9
2	30X 40X 40Г 40ХН	Средне- нагру- женные детали	15 20...25	Оси, рычаги, коленчатые ва- лы, шестерни, болты шатуна	850...930	700...78 0	11...18	0,8...0,8 5	265...27 0
3	30ХГ СА 40ХН МА 30ХН 2ВФ 18Х2 Н4ВА	Детали, рабо- тающие при наи- больших удель- ных на- грузках	30 80 100 120	Валы, детали рулевого управления, тяжелонагру- женные детали редукторов компрессорных машин, высо- конапряженные валы ротора	1100...1150	850...88 0	10...15	1,0...1,2	— 267 — —

				турбин, колен- чатые валы					
--	--	--	--	------------------------------	--	--	--	--	--

Пружинно-рессорные стали

Номер группы	Марка стали	Условия работы	Примерное назначение	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	КСУ, МДж/м ²	НВ
				после окончательной термообработки				
1	65, 85 60Г, 70Г	Стали пониженной прочности	Пружины механизмов и машин	1000...1150	800...1000	7...10	25...35	320...420
2	50ХГ, 55ХГР, 55С2, 60С2, 50ХФА, 50ХГФА	Стали средней прочности	Рессоры автомашин; пружины подвижного состава железнодорожного транспорта	1300...1600	1100...1400	5...8	20...35	360...480
3	70С2ХА, 70С3А 60С2ХФА	Стали повышенной прочности	Пружины часовых механизмов и механизмов машин (тяжелонагруженных)	1600...1900	1450...1700	6...8	20...25	380...480

Инструментальные стали

Марка ста- ли	Условия рабо- ты	Прокаливаемость $D_{кр}$, мм	HRC после термообработки	Примерный перечень изделий
Нетепло- стойкие У8 У10 У12 У13	Динамические нагрузки; $t = 190...200$ °C	8 10 10	54...58 62...63 61...65 61...65	Деревообрабатывающий инструмент, зубила, отвертки, фрезы, сверла; руч- ные метчики, напильники для обработ- ки мягких металлов
Полутепло- стойкие 11Х ХВСГ 9ХС ХВГ	$t = 200...250$ °C $t = 250...260$ °C	15...20 90 40...50 80	62...63 63...64 62...63 62...64	Ручные напильники, бритвенные ножи, лезвия; граверный и хирургический ин- струмент; плашки большого сечения, ручные сверла, развертки; плашки для нарезания мягкого материала, протяжки диаметром более 100 мм
Теплостой- кие (крас- нотстойкие) Р18 Р12 Р6М5 Р9	$t = 615...620$ °C		62 63 63 62	Метчики машинные, сверла, резцы, протяжки $\varnothing 80...100$ мм, плашки круг- лые для нарезания твердых металлов; долбяки, шаберы, фрезы резьбовые, развертки
Р6М5К5 Р9М4К8 Р12Ф4К5	$t = 630...640$ °C		65 67...69 65...67	Фрезы для нарезания труднообраба- тываемых сплавов; фрезы и сверла, работающие при повышенных нагруз- ках

				каx
--	--	--	--	-----

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Тушинский Л.И. Теория и технология упрочнения металлических сплавов. – Новосибирск: Наука, 1990. – 306 с.
2. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов. – М.: Металлургия, 1978. – 398 с.
3. Башнин Ю.А., Ушаков Б.К., Сакей А.Г. Технология термической обработки. – М.: Металлургия, 1986. – 424 с.
4. Гуляев А.П. Металловедение: Учебник для вузов. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.
5. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов: Учебник для вузов. – М.: Металлургия, 1977. – 408 с.
6. Попова Л.Е., Попов А.А. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета раствора в сплавах титна: Справочник термиста. – М.: Металлургия, 1991. – 50 с.
7. Исследование конструктивной прочности сплавов после термического и термомеханического упрочнения: Метод. указания / Сост. Кузьмин Н.Г., Артемьев А.П. – Новосиб. электротехн. ин-т, Новосибирск, 1981. – 38 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Лабораторная работа 1	1
Лабораторная работа 2.....	7
Лабораторная работа 3.....	12
Лабораторная работа 4.....	17
Лабораторная работа 5.....	24
Приложения	31
Список литературы	43