

Содержание

Введение.....	4
1. Цель работы.....	6
2. Задачи работы.....	6
3. Теоретическая часть.....	6
3.1. Превращения в сталях при нагреве. Образование аустенита из перлита (П→А).....	7
3.2. Превращения в стали при охлаждении.....	9
3.2.1. Диаграмма изотермического превращения аустенита.....	9
3.2.2. Перлитное превращение.....	11
3.2.3. Мартенситное превращение.....	14
4. Практическая часть.....	16
4.1. Оборудование и материалы.....	16
4.2. Последовательность выполнения работы.....	16
Требования к оформлению и содержанию отчёта.....	16
Критерии результативности работы.....	17
Контрольные вопросы.....	17
Список литературы.....	18
Приложение 1. Краткие биографические сведения о Минкевиче Н. А.....	19
Приложение 2. Форма отчёта.....	20
Приложение 3. Тесты для самоконтроля.....	23

Введение

Стали являются самым распространённым конструкционным материалом в машиностроении. Для придания сталям необходимой структуры и свойств их подвергают различным видам термообработки. Термическая обработка является одним из самых эффективных способов изменения структуры металлов и сплавов. С ней по глубине и разнообразию структурной проработки не могут сравниться никакие другие способы воздействия. Поэтому эта тема при изучении дисциплины «Материаловедение» является исключительно важной.

Впервые на зависимость свойств сталей от их структуры и условий её образования обратил внимание известный металлург Дмитрий Константинович Чернов. Он, наблюдая за особым свечением поверхности нагреваемых заготовок при определённых температурах, связал их с фазовыми и структурными превращениями в сталях. Установленные таким образом «на глаз» температуры фазовых превращений в сталях он назвал «критическими точками». Этот термин позднее вошёл во все учебники Металловедения.

Структурные превращения, происходящие в сталях при воздействии температуры, отмеченные Д. К. Черновым, затем были экспериментально подтверждены многими исследователями. Среди них в первую очередь следует отметить уральских учёных во главе с Сергеем Самойловичем Штейнбергом¹. Они впервые разработали современные представления о превращениях, протекающих в сплавах при нагреве и охлаждении, которые легли в основу теории термической обработки. Позднее были проведены исследования Георгием Вячеславовичем Курдюмовым (о нём на с. 27) с учениками по установлению важных особенностей формирования структуры закалённых сталей. Таким образом, приоритет разработки теории термической обработки принадлежит российским учёным.

Термообработку применяют как промежуточную операцию для улучшения таких технологических свойств как обрабатываемость резанием или давлением и как окончательную. Окончательная термообработка позволяет увеличить допустимые напряжения и уменьшить размеры и массу деталей машин при сохранении или

¹ Краткие биографические сведения приведены на с. 3 обложки

повышении их прочности, эксплуатационной надежности. Данный практикум посвящён теории термообработки сталей, которая по существу рассматривает структурные превращения в металлах при различных режимах нагрева и охлаждения.

При выполнении работы у студента формируются профессиональные компетенции – способность регулировать структуру углеродистых сталей путём изменения режимов их нагрева и охлаждения.

Выполнив работу, студент должен:

- **знать** структуру углеродистых сталей после различных видов термической обработки;
- **уметь** распознавать структуру стали после различных условий нагрева и охлаждения;
- **иметь навыки** проведения микроструктурного анализа термообработанных сталей.

СТРУКТУРНЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В СТАЛЯХ ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

1. Цель работы – изучение структуры сталей после различных режимов их нагрева и охлаждения.

2. Задача работы – выяснить сущность процессов, происходящих при изменении структуры стали при термической обработке.

3. Теоретическая часть

Для понимания процессов, происходящих при термической обработке необходимо знать, какие превращения происходят в структуре стали при нагреве и охлаждении. Для обоснованного выбора температуры нагрева при термической обработке пользуются понятиями «критических точек», под которыми понимают температуру фазовых превращений в сталях. Такими критическими точками являются точки A_1 , A_3 , A_m , расположенные соответственно на линиях PSK , GS и SE диаграммы состояния Fe-Fe₃C (рассмотрена в практикуме № 4). Критические точки дополнительно при нагреве обозначаются индексом «с» (A_{c1} , A_{c3} , A_{cm}), а при охлаждении индексом «r» (A_{r1} , A_{r3} , A_{rm}).

В сталях в зависимости от режимов термической обработки происходят четыре основных структурных превращения [1, С. 163]:

1) превращение перлита в аустенит² при нагреве стали выше точек A_{c1} , A_{c3} и A_{cm} ;

2) превращение аустенита в перлит или перлитоподобные продукты при охлаждении нагретой стали ниже точки A_1 ;

3) превращение аустенита в мартенсит³ при быстром охлаждении (закалке) нагретой стали;

² назван в честь сэра Уильяма Чандлера Робертса - Аустена или Остена (William Chandler Roberts-Austen). В 1898 г. он построил диаграмму фазовых превращений для системы железо-углерод.

³ назван в честь немецкого металлурга Адольфа Мартенса, который исследовал в 1890 г. микроструктуру закаленной стали.

4) превращения мартенсита и остаточного аустенита при нагреве закалённой стали до точки A_1 (отпуске).

Любой процесс термической обработки стали состоит из определённых комбинаций этих четырёх превращений. Рассмотрим их особенности.

3.1. Превращения в сталях при нагреве. Образование аустенита из перлита ($\text{П} \rightarrow \text{А}$)

Для большинства видов термической обработки исходную перлитную структуру сталей нагревают до превращения в аустенитное состояние. При нагреве вплоть до критической точки A_{c1} (727°C) перлит сохраняет пластинчатое строение, а при нагреве выше A_{c1} превращается в аустенит. Этот процесс протекает в два этапа.

На первом этапе образуются мелкие кристаллы аустенита – зародыши. Они образуются за счёт полиморфного превращения $\text{Fe}_\alpha \rightarrow \text{Fe}_\gamma$ (рис. 6.1, *а*) преимущественно на границах ферритной и цементитной фаз (пластин) [1, С. 163; 2, С. 183], где сосредоточено наибольшее количество дислокаций и других дефектов.

На втором этапе происходит рост зародышей аустенита за счёт диффузии атомов углерода из цементитных пластин перлита. При нагреве выше точки A_{c1} происходит непрерывное образование новых зёрен аустенита и их рост (рис. 6.1, *б, в*). В эвтектоидной стали перлит выше 727°C , полностью превращается в аустенит.

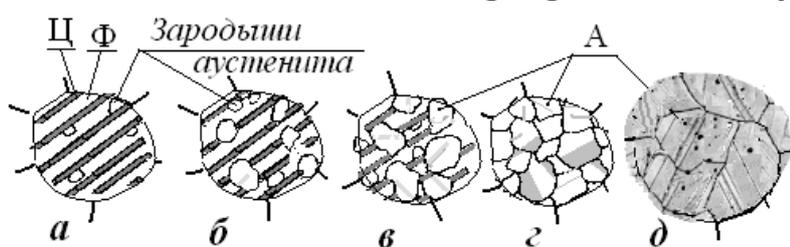


Рис. 6.1. Схема превращения перлита в аустенит при нагреве стали: *а* – перлитное зерно с зародышами аустенита – начало превращения; *б, в* – стадии развития превращения;

г – конец превращения; *д* – рост аустенитного зерна

В доэвтектоидных и заэвтектоидных сталях после превращения $\text{П} \rightarrow \text{А}$ в структуре сохраняются избыточные фазы: феррит в доэвтектоидных, а в заэвтектоидных – цементит. В доэвтектоидных сталях при нагреве от A_{c1} до A_{c3} избыточный феррит постепенно превращается в аустенит и при температуре A_{c3} феррит полностью исчезает. В заэвтектоидных сталях при нагреве от A_{c1} до A_{cm} происходит растворение углерода избыточных цементитных частиц в

аустените и при температуре A_{cm} – их полное исчезновение. Ввиду того, что в зерне перлита при нагреве в бесчисленных контактах цементитных и ферритных пластин появляется множество кристаллических зародышей аустенита, то по окончании превращения П→А образуется большое количество мелких аустенитных зёрен (рис. 6.1, з) с размером порядка 10...20 мкм⁴. Зерно аустенита в момент окончания перлитно-аустенитного превращения называется *начальным зерном*.

Таким образом, превращение перлита в аустенит сопровождается измельчением зерна стали. Поскольку мелкозернистая структура имеет более высокое значение ударной вязкости и прочности, то этим приёмом широко пользуются на практике термической обработки стали (отжиг, нормализация, закалка).

Размер зёрен аустенита существенно влияет на размер перлитных зёрен, которые получают при охлаждении. Поэтому всегда стремятся, чтобы зерно аустенита при нагреве не успело вырасти.

Размер зерна, полученный в стали в результате той или иной термической обработки, называют *действительным зерном*.

Образовавшийся аустенит в сталях неоднороден по содержанию углерода: в тех местах, где располагался цементит углерода больше, а где феррит – меньше. Поэтому для выравнивания химического состава зёрен аустенита сталь нагревают немного выше верхних критических точек A_{c3} и A_{cm} (на 30... 50 °С), затем выдерживают при этих температурах. При этом не рекомендуется нагревать сталь выше 930 °С⁵, это может привести к росту зерна аустенита (рис. 6.1, д) – *перегреву*. Если сталь нагреть ещё выше, то происходит окисление границ зёрен, что приводит к потере пластичности и прочности. Такое явление называется *пережогом*. Перегрев можно исправить последующей термической обработкой, а пережог неисправим.

3.2. Превращение аустенита при охлаждении

При термической обработке стали распад аустенита происходит либо изотермически (выдержка при постоянной температуре) либо в условиях непрерывного охлаждения. Влияние переохлаждения на устойчивость аустенита и скорость его превращения в перлит обычно

⁴ Новиков И.И. Теория термической обработки, 1986, С.157

⁵ Там же, С.165

представляют в виде диаграмм в координатах температура превращения – десятичный логарифм времени. Рассмотрим эту диаграмму.

3.2.1 Диаграмма изотермического превращения аустенита⁶. Она позволяет установить вид фазового превращения и возможную структуру стали в зависимости от скорости её охлаждения.

На рис. 6.2 представлены диаграммы изотермического превращения аустенита в сталях различного состава.

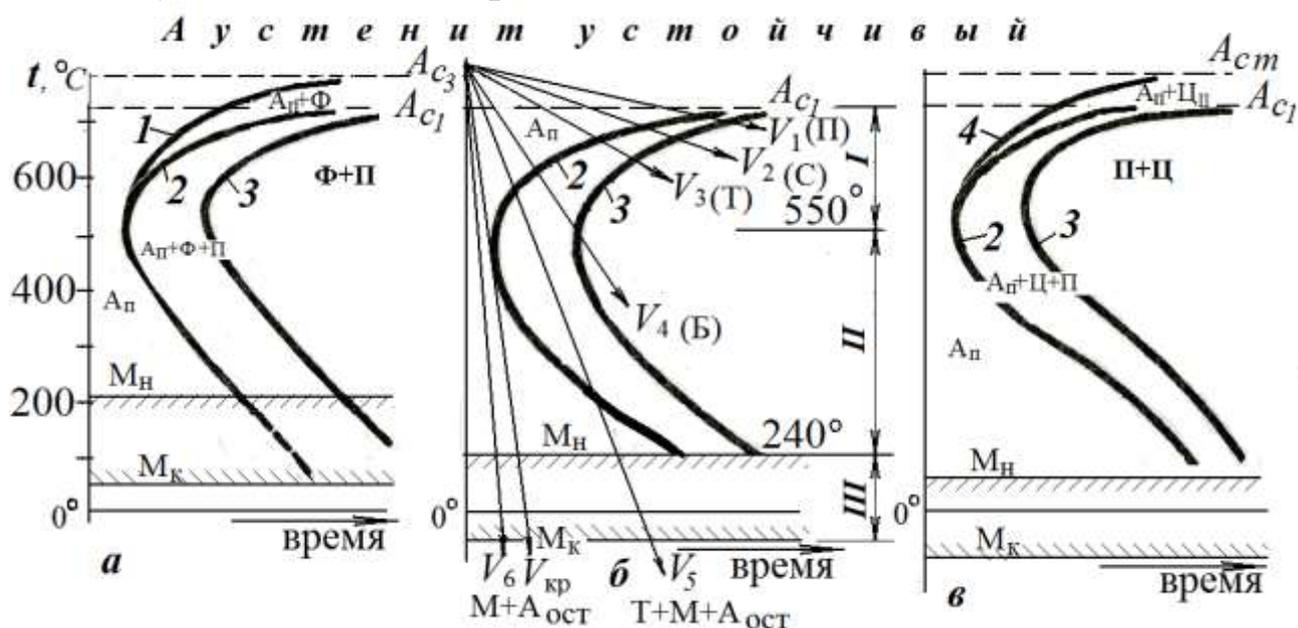


Рис. 6.2. Диаграмма изотермического распада аустенита: *а* – доэвтектоидной стали; *б* – эвтектоидной стали; *в* – заэвтектоидной стали; 1–линия начала превращения $A \rightarrow \Phi$; 2–линия начала превращения $A \rightarrow \Pi$; 3–линия конца превращения $A \rightarrow \Pi$; 4–линия начала превращения $A \rightarrow \text{Ц}_{\Pi}$

На рис. 6.2, *б* приведена диаграмма изотермического превращения аустенита эвтектоидной стали с наложенными скоростями охлаждения (лучи $V_1 \dots V_6$). На диаграммах изображены две линии по форме подобные русской букве «С» и поэтому, получившие название «С-образные кривые».

В доэвтектоидных сталях линия 1 С-образной кривой показывает начало образования избыточного феррита из переохлаждённого аустенита при температурах ниже точки A_3 . По линии 2 в сталях раз-

⁶ Диаграммы изотермического превращения имеют в основном познавательное значение, поскольку удобны для объяснения структурных превращений в стали при охлаждении из аустенитного состояния и могут применяться только для изотермических видов термообработки. В остальных случаях для назначения режимов термообработки пользуются термокинетическими кривыми, построенными при непрерывном охлаждении [Гуляев А. П., *Металловедение*, 1986, С. 227]

личного состава начинается превращение аустенита в феррито-цементитную смесь (Ф+Ц), линия 3 соответствует концу превращения.

В заэвтектоидных сталях по линии 4 из аустенита начинает образовываться избыточный вторичный цементит Ц_{II}.

Таким образом, при перлитном превращении в эвтектоидной стали после распада аустенита структура стали приобретает перлитную структуру, в доэвтектоидных сталях наряду с перлитом будут частицы избыточного феррита, а в заэвтектоидных сталях – вторичный цементит и перлит.

Как видно из диаграммы, аустенит наименее устойчив при температурах ~550 °С. Период времени до начала превращения аустенита называют *инкубационным* (левее кривой 1, 2 и 4).

В зависимости от степени переохлаждения аустенита (скорости охлаждения) на указанных диаграммах различают три температурные области превращения (см. рис. 6.2, б): I – перлитную; II – область промежуточного (бейнитного) превращения, т. е. промежуточного между перлитным и мартенситным превращением; III – мартенситную. Бейнитная структура – игольчатая структура феррито-цементитной смеси. Она при непрерывном охлаждении углеродистой стали (см. рис. 6.2, V₄) не образуется [3, С. 231], поэтому промежуточное (бейнитное) превращение (II) здесь не рассматривается.

3.2.2. Перлитное превращение. Перлитная область в углеродистых сталях распространяется на интервал температур от 727 °С (точки A₁) до изгиба C–диаграммы (~550 °С, см. рис. 6.2). Перлитное превращение аустенита при непрерывном охлаждении сводится к диффузионному перераспределению углерода и полиморфному превращению Fe_γ→Fe_α с образованием феррито-цементитной структуры. При этом ведущей, в первую очередь возникающей из аустенита, фазой является цементит [2, С. 194]. При охлаждении нагретой стали ниже 727 °С на границах зёрен аустенита выделяется углерод, который взаимодействуя с атомами железа образует тонкие пластины цементита, являющиеся его зародышами или центрами (рис. 6.3, а).

Далее образовавшаяся пластинка цементита растёт, удлиняется за счет диффузии углерода из прилегающих объемов аустенита, в которых его содержание понижается. Когда содержание углерода в аустените вблизи образовавшихся пластин цементита снизится до 0,02 %, эта область аустенита становится неустойчивой и испытывает

полиморфное превращение $Fe_{\gamma} \rightarrow Fe_{\alpha}$, которое приводит к образованию рядом с пластинкой цементита (вдоль нее) пластинки феррита⁷.

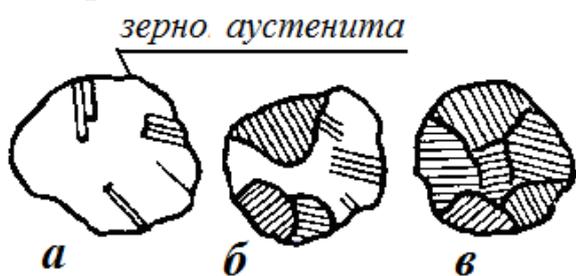


Рис. 6.3. Схема превращения аустенита в перлит в стали: *а* – начало образования пластинок цементита (тёмные тонкие линии) и феррита (белые пластины); *б* – образование колоний перлита; *в* – образование перлитных зёрен

Дальнейший рост возникших пластин феррита в свою очередь приводит к обогащению прилегающих участков аустенита углеродом, где зарождаются новые пластины цементита или растут уже имеющиеся. В результате образования и роста частиц цементита вновь создаются условия возникновения и роста пластинок феррита. Такое многократно повторяющееся зарождение и рост пластин феррита и цементита в результате диффузионного перераспределения углерода – характерная особенность перлитного превращения. Благодаря попеременному зарождению пластин феррита и цементита возникают колонии перлита (рис. 6.3, *б*), пластинки которого растут как по толщине, так и по длине. Рост образовавшихся колоний перлита продолжается до столкновения с другими кристаллами перлита (рис. 6.3, *в*), растущими из других центров. В итоге, в одном зерне аустенита возникает несколько перлитных зёрен, что приводит к измельчению структуры.

Кроме размеров перлитных зёрен, важным параметром структуры является дисперсность чередующихся пластин цементита и феррита, которая зависит от степени переохлаждения стали $\Delta t = A_1 - t$. *Дисперсность* (измельчённость) перлитных структур принято оценивать межпластиночным расстоянием Δ , за которое принимают суммарную толщину пластинок феррита и цементита (рис. 6. 4).

С уменьшением температуры распада аустенита, увеличивается переохлаждение Δt , что приводит к образованию большого числа новых зародышей феррито-цементитной смеси (Ф+Ц) и быстрому уменьшению скорости диффузионного роста образующихся пластин цементита, а, следовательно, и к измельчению структуры. В связи с этим принято различать три структуры перлитного типа: перлит,

⁷ Новиков И. И. Теория термической обработки, 1986 г, С. 170

сорбит, троостит. Они имеют одинаковое строение и образуются при различных скоростях охлаждения, но имеют различную дисперсность.

В эвтектоидной стали при охлаждении с печью со скоростью V_1 (60...120 град/ч.) до температур $\sim 727...650$ °С продуктом превращения аустенита является феррито-цементитная смесь с межпластиночным расстоянием $\Delta = (0,6...1,2) 10^{-3}$ мм (рис. 6.4, а; 6.5, а), которая называется *перлит*. Твердость стали с перлитной структурой составляет 180...250 *HV*. Такая термическая обработка называется *отжиг*.

Увеличение скорости охлаждения до V_2 (на воздухе $\sim 5...10$ °/с) при температурах 650...600 °С приводит к образованию *сорбита*⁸ – более тонкой механической смеси феррита и цементита с межпластиночным расстоянием $\Delta = (0,3...0,4) 10^{-3}$ мм (рис. 6.4, б; 6.5, б). Такая термическая обработка называется *нормализация*. Сталь с сорбитной структурой характеризуется высокой пластичностью и ударной вязкостью, достаточной упругостью и прочностью. Твердость стали с сорбитной структурой составляет 250...350 *HV*.

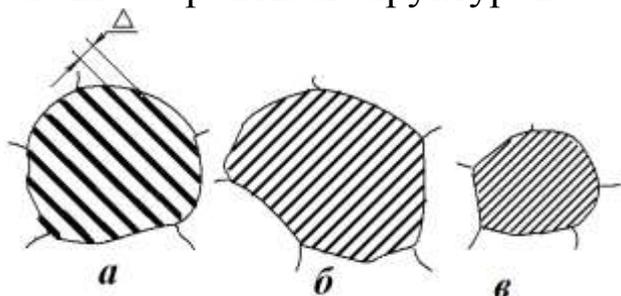


Рис. 6.4. Схема ферритоцементитных структур (тёмные полосы – цементит, а между ними – феррит): а – перлит; б – сорбит; в – троостит (толщина цементитных пластин \sim в 7 раз тоньше ферритных)

При охлаждении стали со скоростью V_3 (в масле 100...150 °/с) до температур 600...550 °С (например, в масле) аустенит превращается в *троостит*⁹ – смесь феррита и цементита (рис. 6.4, в; 6.5, в). Такая термическая обработка называется *одинарной обработкой*¹⁰. Троостит отличается от перлита и сорбита ещё большей дисперсностью составляющих с $\Delta = (0,1...0,2) 10^{-3}$ мм. Сталь с трооститной структурой характеризуется более высокой твердостью (350...450 *HV*), высоким пределом упругости, но малой вязкостью и пластичностью.

С помощью электронного микроскопа можно наблюдать плас-

⁸Назван в честь англ. учёного Генри Клифтон Сорби (Sorby, 1826...1908), который в 1863 г использовал световой микроскоп для изучения микроструктуры минералов (первым микроскоп для изучения структуры стали применил П. П. Аносов в 1831 году).

⁹Троостит [troostite] — троостит, трустит (не получил употребления), назван в честь французского химика Л. Ж. Труста (L. Y. Troost; 1825—1911 гг.).

¹⁰ Термин впервые введён Минкевичем Н. А. – о нем в прил. 1.

тинчатое строение троостита с веерообразным расположением пластин цементита в феррите (см. рис. 6.5, в).

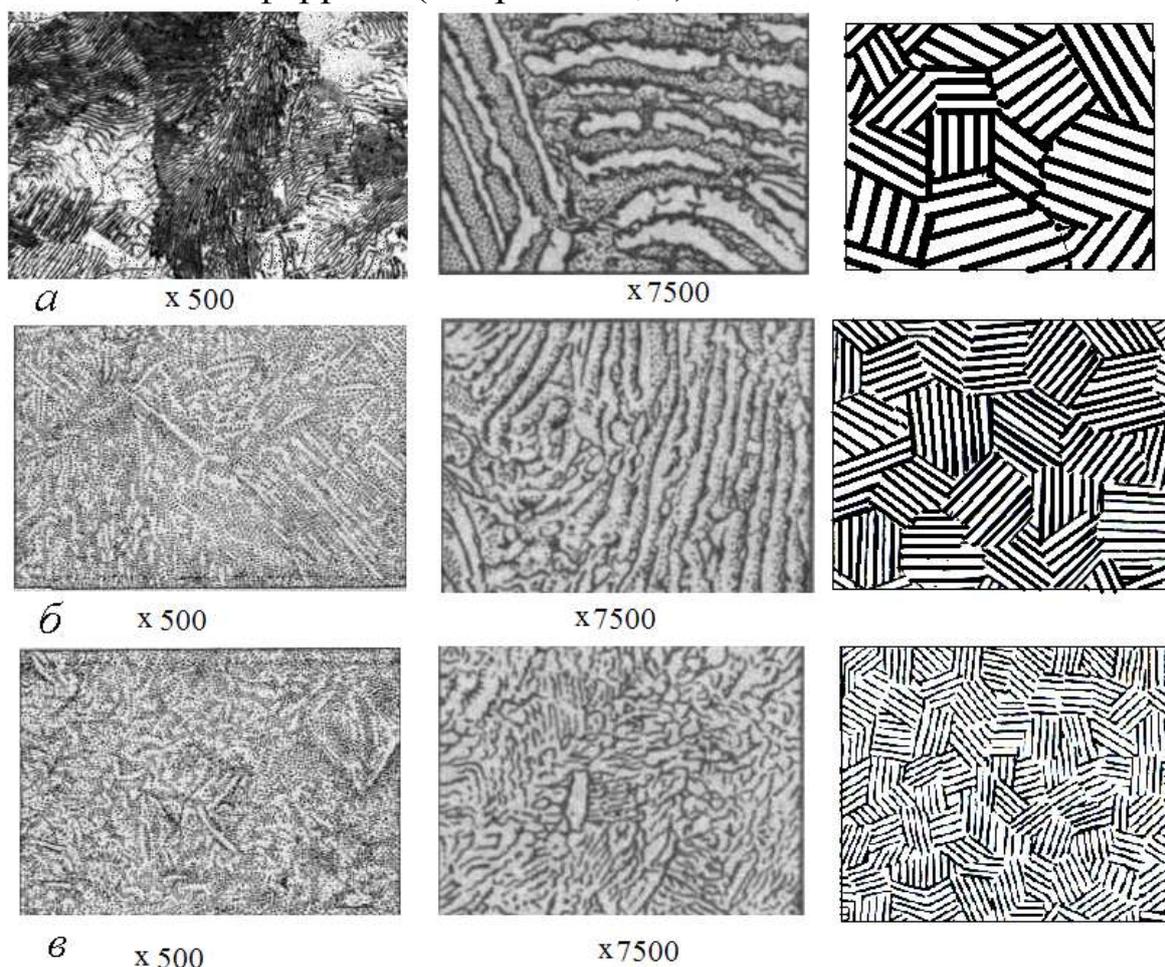


Рис. 6.5. Продукты распада аустенита в области перлитного превращения: *а*–перлит; *б* – сорбит; *в* – троостит; слева – микрофотографии; в середине – электронно-микроскопические снимки; справа – схема микроструктур

Частицы цементита являются эффективными препятствиями для движущихся дислокаций, поэтому повышение дисперсности феррито-цементитной смеси приводит к росту прочности стали. Однако при этом происходит снижение пластичности.

3.2.3. Мартенситное превращение. Мартенситное превращение происходит при непрерывном охлаждении с большой скоростью (закалке сталей) до низких температур, когда аустенит не успевает превратиться ни в одну из перлитных структур из-за подавления диффузии углерода.

Минимальная скорость охлаждения $V_{кр}$, при которой из аустенита образуется только мартенсит, а феррито-цементитная смесь не образуется, называется *критической скоростью*. Она представляет

собой касательную к линии начала распада аустенита на диаграмме изотермического превращения (см. рис. 6.2).

Мартенсит в углеродистой стали является пересыщенным твёрдым раствором внедрения углерода в α -железе. Он образуется в температурном интервале начала M_H и конца мартенситного превращения M_K . Значения температуры точек M_H и M_K зависят только от содержания углерода в стали. С повышением содержания углерода обе точки мартенситного превращения понижаются. Точка M_K при содержании углерода более 0,6 % находится в области отрицательных температур (см. рис. 6.2, б). Такие стали следует охлаждать до температуры значительно ниже комнатной (обработка холодом).

При резком переохлаждении аустенита наличие полиморфизма вызывает перестройку решетки γ -железа в α -железо. При этом весь углерод, содержащийся в аустените, остается в α -железе. Избыточное количество углерода искажает решетку α -железа и она становится тетрагональной (рис. 6.6).

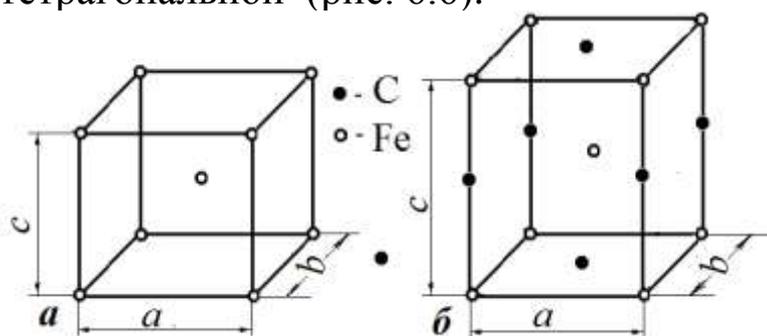


Рис. 6.6. Кристаллическая решетка: a – ОЦК решётка α – железа; b – тетрагональная решётка мартенсита с вероятными местами расположения атомов углерода

Решётка является тетрагональной, когда её высота c больше размеров её основания a или b . Причём степень тетрагональности тем выше, чем больше в мартенсите углерода. Образовавшиеся кристаллы мартенсита имеют форму пластин сужающихся к концу. При наблюдении в электронном микроскопе такая структура выглядит как игольчатая (рис. 6.7, б). Возникая мгновенно, первые пластины мартенсита растут либо до границы зерна аустенита, либо до какого-нибудь дефекта структуры. Следующие пластины расположены к первым под углами 60° или 120° , их размеры ограничены участками между первыми пластинами. Превращение аустенита в мартенсит в сталях при охлаждении до комнатной температуры не происходит до конца (рис. 6.7, з) и в закалённой на мартенсит стали всегда имеется метастабильный остаточный аустенит $A_{ост}$. Причём количество остаточного аустенита возрастает с увеличением в стали содержания

углерода. Частицы остаточного аустенита располагаются в микроструктуре между иглами мартенсита в виде светлых прослоек (рис. 6.7, а, б).

Мартенсит по сравнению с другими структурными составляющими стали, и особенно с аустенитом, имеет наибольший удельный объём. Изменение объёма металла при образовании мартенсита приводит к повышению плотности дислокаций (до $\sim 10^{11}$ см⁻²), возникновению при закалке больших внутренних напряжений, вызывающих деформацию изделий или даже появление трещин.

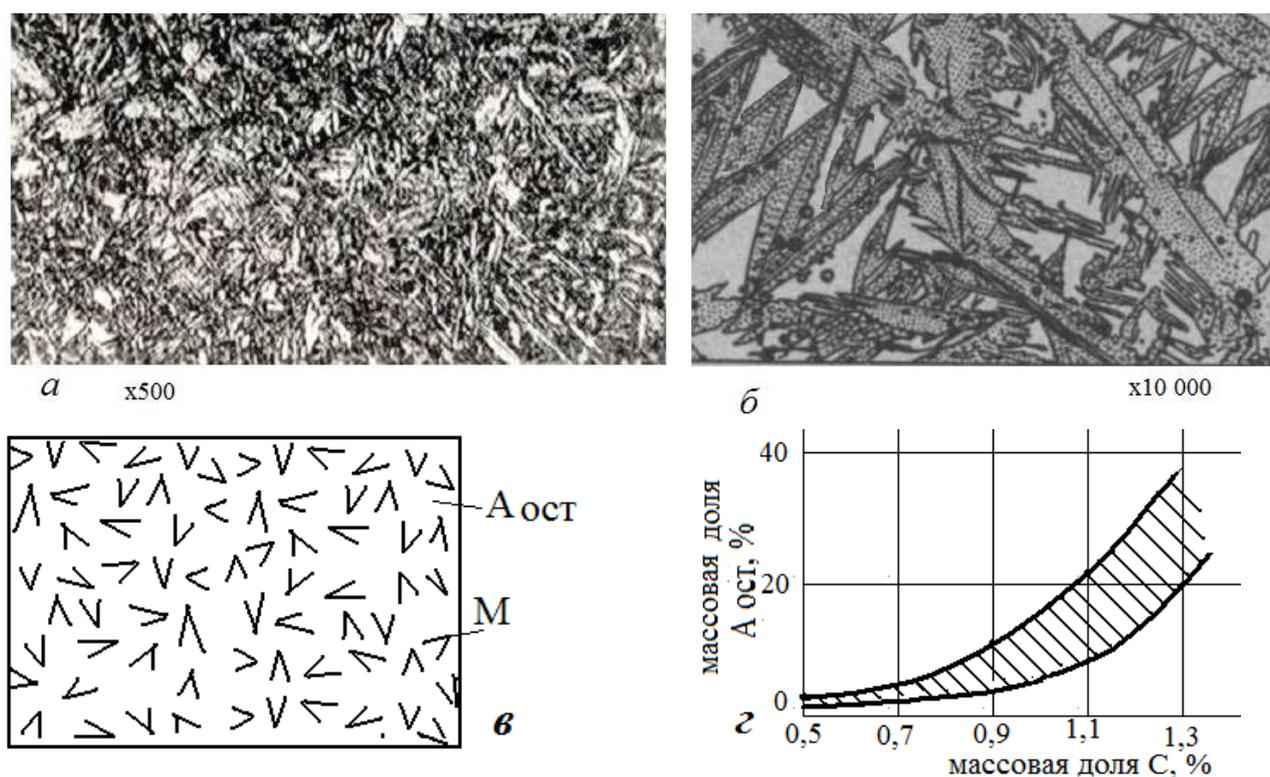


Рис. 6.7. Мартенсит игольчатый (М) и остаточный аустенит (А_{ост}): а–фотография микроструктуры; б–электронно-микроскопический снимок; в – схема микроструктуры; з – возможная доля остаточного аустенита от содержания углерода (заштрихованная область)

Значительное количество углерода в решётке мартенсита, тетрагональность решётки, большая плотность дислокаций в мартенситной структуре обуславливают высокую твёрдость закалённой стали. Вместе с тем мартенсит обладает низкой пластичностью и склонностью к хрупкому разрушению. Для снятия хрупкости¹¹ закалённые стали подвергают нагреву (отпуску), при котором

¹¹**Хрупкость** – свойство материала мгновенно разрушаться под действием внешних сил без заметной пластичной деформации.

реализуется четвёртое превращение в сталях (см. лабораторный практикум № 3).

4. Практическая часть

4.1. Оборудование и материалы

1. Автоматизированный металлографический комплекс на базе оптического микроскопа «Olimpus GX-41».

2. Коллекция шлифов доэвтектоидной стали 45 после различных режимов термообработки.

3. Учебный фильм «Теория термической обработки стали».

4.2. Последовательность выполнения работы

1. С помощью металлографического микроскопа изучить структуру сталей после различных видов термообработки.

2. Посмотреть научно-популярный фильм «Теория термической обработки стали». Авторы сценария Андреев Ю. Г., Щербаков В. А. Научный консультант Рахштадт А. Г.

3. Зарисовать микроструктуру изученных сталей.

4. Выводы по работе.

5. Составить отчёт (форма отчёта приведена в прил. 2).

Требования к оформлению и содержанию отчёта

Отчет должен включать:

- а) титульный лист;
- б) формулировку цели и задачи работы;
- в) зарисовки всех изученных структур с пояснениями структурных составляющих;
- г) выводы, согласованные с задачами работы.

Критерии результативности работы

Работа считается выполненной, если студент:

- ответил на все контрольные вопросы и вопросы, приведённые в тестах;

- выполнил практическую часть работы;
- научился, используя диаграмму изотермического превращения аустенита, определять структурное и фазовое состояния сталей при различных скоростях охлаждения;
- составил отчёт в соответствии с приведёнными требованиями;
- грамотно и по существу сформулировал выводы по работе;
- защитил работу путём устного ответа на вопросы.

Контрольные вопросы

1. Какие критические точки используются для установления температуры нагрева под различные виды термообработки и как они связаны с диаграммой состояния Fe-Fe₃C?

2. Какие структурные превращения характерны для сталей при термообработке?

3. Какие механизмы заложены в превращения перлита в аустенит при нагреве сталей?

5. В каких местах перлитной структуры и при какой температуре образуются зародыши аустенита при нагреве сталей?

6. Какие два процесса одновременно участвуют при превращении перлита в аустенит?

7. Что называется «начальным зерном» аустенита и при какой температуре оно образуется?

8. Какие превращения наблюдаются в структуре доэвтектоидных, эвтектоидной и заэвтектоидных сталей при нагреве до и после критических температур?

9. С какой целью нагревают стали для превращения перлита в аустенит выше критических точек на (30...50) °С, почему нельзя выше?

10. От каких факторов зависит размер начального зерна аустенита?

11. Что из себя представляет диаграмма изотермического превращения аустенита и из каких линий она состоит?

12. Какие температурные области структурных превращений аустенита можно показать по этой диаграмме и как они называются?

13. Что называется «инкубационным периодом»?

14. Что обозначают лучи на диаграмме изотермического превращения?

15. В каких местах аустенитной структуры начинают образовываться зародыши перлитных колоний при охлаждении?

16. Почему в одном зерне аустенита образуются несколько перлитных зёрен?

17. С чем связано повышение дисперсности феррито-цементитной смеси с увеличением степени переохлаждения?

18. Что является показателем дисперсности феррито-цементитной смеси?

19. Почему повышение дисперсности феррито-цементитной смеси приводит к увеличению прочности стали?

20. Какая структура называется сорбитом, трооститом, мартенситом?

21. Какая скорость охлаждения сталей при термической обработке называется критической?

22. Какую кристаллическую решетку имеет мартенсит в стали после закалки? В чём проявляется тетрагональность и чем она вызвана?

23. Какую структуру имеет сталь после охлаждения со скоростью выше критической?

24. Чем вызваны внутренние напряжения в сталях с мартенситной структурой?

25. От каких факторов зависит положение начала и конца мартенситного превращения?

26. Чем обуславливается высокая твёрдость мартенсита? Как влияет содержание углерода на твёрдость мартенсита?

Тесты для самоконтроля приведены в прил. 3.

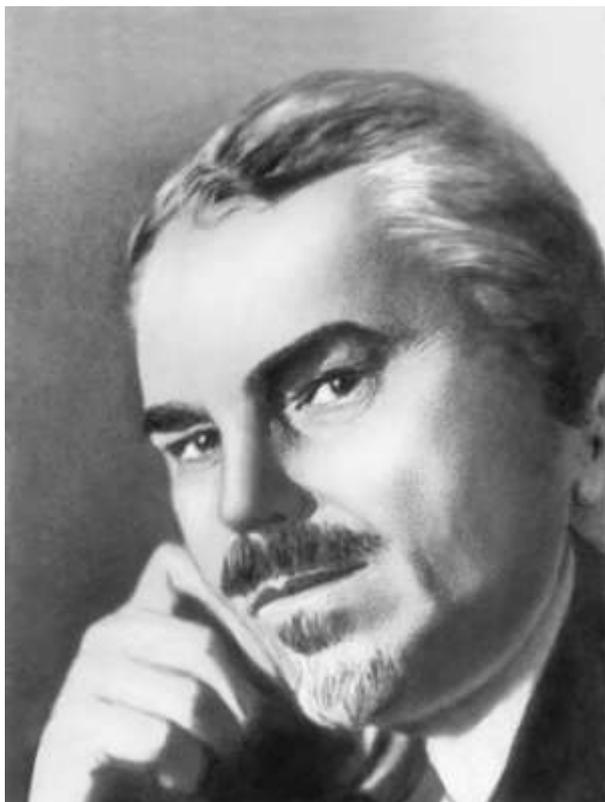
Список литературы

1. Материаловедение: Учебник для вузов /Б. Н. Арзамасов, В. И. Макарова, Г. Г. Мухин и др.; Под общ. ред. Б. Н. Арзамасова, Г. Г. Мухина, Н. М. Рыжова. Изд. 6-е, стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – 648 с.

2. Лахтин Ю. М. Металловедение и термическая обработка: Учебник для вузов. Изд. 5 - е, перераб. и доп. – М.: ООО ТД «Аз – book», 2009. – 447 с.

3. Солнцев Ю. П., Пряхин Е. И. Материаловедение: Учебник для вузов. Изд. 4-е, перераб. и доп. – СПб.: Химиздат, 2009. – 784 с.

Краткие биографические сведения о Минкевиче Н. А.



(5(17). 2.1883...13.10.1942, Москва)

Минкевич Николай Анатольевич – советский металлург, заслуженный деятель науки и техники РСФСР (1934). В 1907 окончил Петербургский политехнический институт. В 1908...14 работал на Обуховском заводе (Санкт-Петербург). С 1920 профессор Московской горной академии (с 1930 –Московского института стали), где по его инициативе была создана кафедра Металловедения и термической обработки стали.

Занимался разработкой нового вида термической обработки, названной им «одинарная обработка». Одинарная обработка, состоящая из одной операции (нагрева до температуры закалки с последующим

охлаждением с некоторой средней скоростью) должна была заменить термическую обработку из двух операций: закалки и отпуска. Этот метод Николай Анатольевич применил при термической обработке снарядов. За создание новых марок малолегированных быстрорежущих сталей и внедрение их в производство удостоен **Государственной премии СССР** (1941).

Труды:

- Сталь, стальные и чугунные полуфабрикаты, М.—Л., 1930;
- Свойства, тепловая обработка и назначение стали и чугуна, ч. 1—2, 2 изд., М.—Л. — Свердловск, 1934;
- Курс термической обработки стали и чугуна, М.—Л., 1935;
- Новые малолегированные быстрорежущие стали, М.—Л., 1940.

Форма отчёта
ФГБОУ ВПО «УГАТУ»

Кафедра материаловедения и физики металлов

ОТЧЕТ

по практике № 6

Структурные превращения в сталях при термической обработке

Студент (ка) _____

Группа _____

Дата _____

Преподаватель _____

1. Цель и задачи работы:

2. Основные теоретические сведения о структурных превращениях в углеродистых сталях

Задание на самостоятельную работу

Разобраться в понятиях «критические точки» и дать их описание.

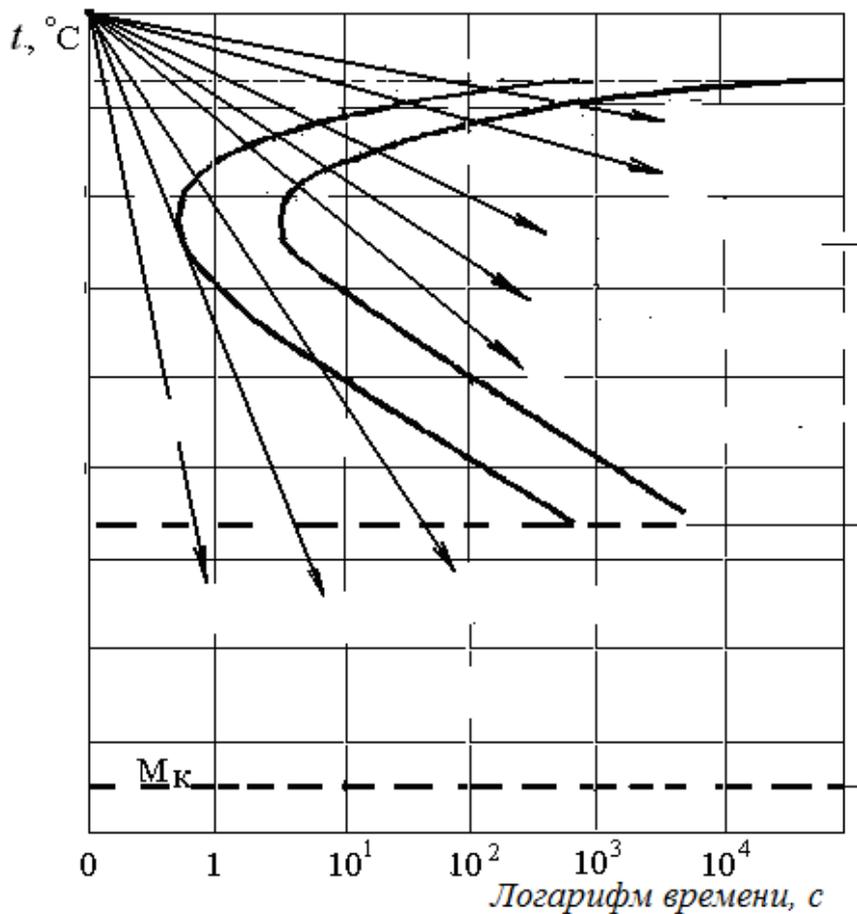
Изучить следующие вопросы:

2.1. Превращения в сталях при нагреве. Образование аустенита из перлита (П→А)

- механизмы преобразования перлитных зёрен в аустенит (описать).

2.2. Превращения в сталях при охлаждении. Распад аустенита

(на рисунок нанести обозначения и расшифровать)



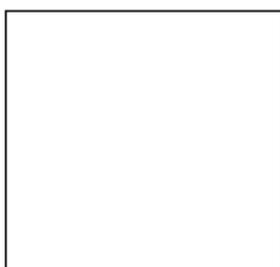
Суть перлитного, промежуточного и мартенситного превращений (описать, нанести на рисунок скорости охлаждения и обозначить фазовые области).

3. Практическая часть

Схемы изученных структур



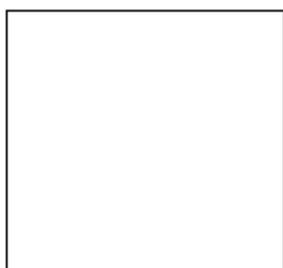
*Структура стали
после охлаждения
с печью (отжига)*



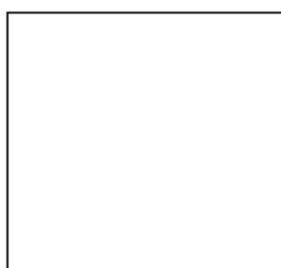
*Структура стали
после охлаждения
на воздухе
(нормализации)*



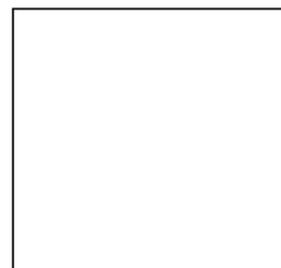
*Структура стали
после охлаждения
в масле (одинарная
обработка)*



*Структура доэвтекто-
идной стали после
неполной закалки*



*Структура стали
после охлаждения
в воде (закалки)*



*Структура стали
после охлаждения
в воде (закалки)
с перегревом*

Выводы по работе

Тесты для самоконтроля
(могут быть несколько правильных ответов)

Вопросы	Ответы
1	2
6.1. Критическими точками называют	1) температуры фазовых превращений в сталях; 2) температуры, лежащие на линии ликвидуса; 3) температуры, лежащие на линии солидуса; 4) температуры эвтектических превращений; 5) температуры эвтектоидных превращений.
6.2. Какая фаза должна присутствовать в эвтектоидной стали при температуре нагрева под закалку?	1) мартенсит; 2) феррит; 3) аустенит; 4) цементит; 5) перлит.
6.3. Какая структура обеспечивает максимальную твёрдость доэвтектоидной стали после закалки?	1) перлит+феррит; 2) троостит; 3) мартенсит +феррит; 4) мартенсит; 5) сорбит отпуска.
6.4. Какую структуру должна иметь деталь ответственного назначения из среднеуглеродистой стали, работающая при динамических нагрузках?	1) мартенсит; 2) феррит+перлит; 3) мартенсит+ цементит вторичный; 4) мартенсит отпуска; 5) сорбит отпуска.
6.5. Какая структура получается после полной закалки доэвтектоидных сталей?	1) мартенсит+ цементит вторичный; 2) мартенсит+аустенит остаточный; 3) феррит+перлит; 4) мартенсит+ феррит; 5) аустенит.
6.6. Для заэвтектоидных сталей используют закалку из двухфазного состояния (неполную). Какую структуру должна иметь сталь У10 после такой закалки?	1) перлит+цементит вторичный; 2) мартенсит; 3) аустенит + цементит вторичный; 4) мартенсит+ цементит вторичный+аустенит остаточный; 5) мартенсит+феррит.
6.7. Структура, которая формируется из аустенита при малых степенях его переохлаждения	1) мартенсит; 2) перлит; 3) троостит; 4) феррит; 5) бейнит.

Продолжение прил. 3	
1	2
6.8. После закалки стали 45 получена структура: остаточный аустенит + мартенсит+феррит. Причиной брака является	<ol style="list-style-type: none"> 1) нагрев детали выше оптимальных температур (выше A_{c3}); 2) нагрев детали ниже оптимальных температур (выше A_{c1} и ниже A_{c3}); 3) время выдержки детали в печи было меньше необходимого; 4) время выдержки детали в печи было больше необходимого.
6.9. Какое из перечисленных утверждений неверно? Высокая твёрдость стали с мартенситной структурой обусловлено	<ol style="list-style-type: none"> 1) высокой плотностью мартенсита; 2) дисперсностью структуры; 3) пересыщением решётки мартенсита углеродом; 4) большим количеством дислокаций; 5) наличием сильных внутренних напряжений.
6.10. Какая структура образуется в углеродистой стали при непрерывном охлаждении стали со скоростью больше $V_{кр}$	<ol style="list-style-type: none"> 1) мартенсит+остаточный аустенит; 2) бейнит; 3) сорбит; 4) тростит; 5) мартенсит+троостит.
6.11. Чем объясняется высокая твёрдость мартенсита закалки?	<ol style="list-style-type: none"> 1) искажением кристаллической решётки, вызываемыми избыточным количеством углерода; 2) игольчатой формой кристаллов; 3) большими внутренними напряжениями термического происхождения; 4) низкой температурой образования мартенсита.
6.12. Структура стали 35 после полной закалки	<ol style="list-style-type: none"> 1) мартенсит; 2) мартенсит+ аустенит остаточный; 3) мартенсит+ аустенит остаточный+ цементит вторичный; 4) мартенсит+ феррит.
6.13. Структура стали У13 после правильной закалки	<ol style="list-style-type: none"> 1) мартенсит; 2) мартенсит+ аустенит остаточный; 3) мартенсит+ аустенит остаточный+ цементит вторичный; 4) мартенсит+ феррит.

Продолжение прил. 3	
1	2
6.14. Структура, которая формируется из аустенита при малых степенях его переохлаждения	1) мартенсит; 2) перлит; 3) троостит; 4) феррит.
6.15. Как влияет повышение содержания углерода на температуру начала и конца мартенситного превращения?	1) не влияет; 2) повышает; 3) понижает; 4) повышает в эвтектоидных сталях.
6.16. Структура стали 45 после правильной закалки	1) мартенсит; 2) мартенсит+аустенит остаточный ; 3) мартенсит + Аост+Ц; 4) мартенсит+П.
6.17. Из каких фаз состоит сорбит?	1) феррит; 2) феррит+перлит; 3) феррит+цементит; 4) мартенсит отпуска; 5) аустенит+ цементит.
6.18. Структура, которая образуется из аустенита при медленном охлаждении (с печью)	1) сорбит; 2) троостит; 3) перлит; 4) бейнит.
6.19. Для получения зернистого перлита в структуре заэвтектоидных сталей используют	1) нормализацию; 2) полный отжиг; 3) рекристаллизационный отжиг; 4) неполный отжиг; 5) маятниковый отжиг.
6.20. Чем объясняется пониженная твёрдость закаленной заэвтектоидной стали, подвергнутой полной закалке?	1) укрупнением структуры мартенсита; 2) увеличением количества остаточного аустенита; 3) разложением аустенита на феррит и цементит; 4) уменьшением внутренних напряжений.
6.21. Какая плотность дислокаций характерна для мартенсита?	1) $\sim 10^8 \text{ см}^{-2}$; 2) $\sim 10^9 \text{ см}^{-2}$; 3) $\sim 10^{11} \text{ см}^{-2}$; 4) $\sim 10^{14} \text{ см}^{-2}$; 5) $\sim 10^7 \text{ см}^{-2}$.
6.22. От чего зависит степень тетрагональности мартенсита?	1) от содержания углерода; 2) от скорости охлаждения; 3) от температуры мартенситного превращения; 4) от величины зерна аустенита; 5) от термических напряжений.
6.23. Аустенизация пройдёт быстрее в сталях с содержанием углерода	1) 0,1; 2) 0,4 ; 3) 0,8; 4) 0,02; 5) 2,1.

Продолжение прил. 3	
1	2
6.24. Какую решётку имеет мартенсит?	1) объёмно центрированный куб; 2) гранецентрированный куб; 3) тетрагональную объёмно - центрированную; 4) ромбическую; 5) гексагональную.
6.25. Критическая скорость охлаждения при закалке это	1) минимальная скорость охлаждения, необходимая для получения мартенситной структуры; 2) минимальная скорость охлаждения, необходимая для фиксации аустенитной структуры; 3) минимальная скорость охлаждения, необходимая для получения сорбитной структуры; 4) максимальная скорость охлаждения, при которой аустенит не распадается на структуры перлитного типа.
6.26. Превращение, происходящее в доэвтектоидной стали в интервале температур A_{c1} - A_{c3}	1) перлитно- аустенитное; 2) феррито- аустенитное ; 3) перлитное; 4) цементито- аустенитное; 5) перлитно- цементитное.
6.27. Что за структура изображена на рисунке? 	1) перлитно- ферритная; 2) феррито- аустенитная ; 3) перлитная; 4) цементито-аустенитная; 5) мартенситная.
6.28. При охлаждении эвтектоидной стали со скоростью выше критической аустенит превращается в	1) бейнит; 2) перлит; 3) сорбит; 4) мартенсит.
6.29. Сорбит отличается от перлита	1) формой частиц цемента; 2) меньшей твердостью; 3) фазовым составом; 4) более высокой дисперсностью структуры.

Окончание прил. 3	
1	2
6.30. По бездиффузионному механизму протекает превращение	1) эвтектическое; 2) перлитное; 3) магнитное; 4) мартенситное.
6.31. При увеличении скорости охлаждения аустенита в температурном интервале перлитного превращения последовательно образуются	1) перлит, троостит, мартенсит; 2) троостит, сорбит, перлит; 3) перлит, бейнит, мартенсит; 4) перлит, сорбит, троостит.



(1902...1996)

Георгий Вячеславович Курдюмов.

Академик АН СССР. Окончил Ленинградский политехнический институт (1926). В 1925...1932 годах работал в Ленинградском физико-техническом институте, с 1932 г. – в Днепропетровском физико-техническом институте (ДФТИ). Директор ДФТИ в период с 1937 по 1944 год (с августа 1941 года – в эвакуации в Магнитогорске). После реорганизации ДФТИ – директор Института металловедения и физики металлов (1944...1978). Директор – основатель Института физики твёрдого тела АН СССР (с 1962 года).

Совместно с сотрудниками изучил механизм и кинетику превращения аустенита в мартенсит, имеющие фундаментальное значение для теории фазовых превращений и термической обработки сталей и сплавов.

Труды:

- Явления закалки и отпуска стали. – М.: Metallurgizdat, 1960. – 64 с.
- Отпускная хрупкость конструкционных сталей. – М.: Metallurgizdat, 1945. – 134 с.

Награды:

- Герой Социалистического Труда (1969);
- 5 орденов Ленина (1954, 1962, 1969, 1975, 1982);
- Орден Октябрьской Революции (1972);
- 2 ордена Трудового Красного Знамени (1945, 1958);
- Сталинская премия первой степени (1949).

