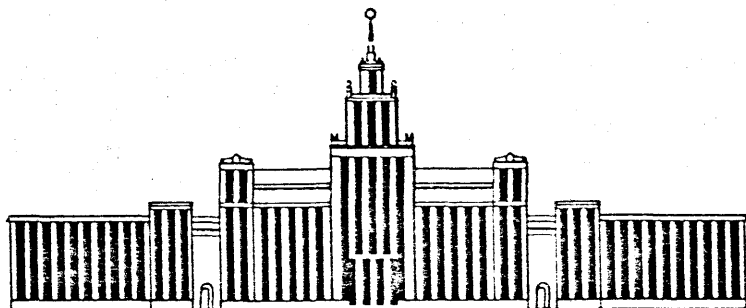


---

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

---



---

ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

---

621.78(07)

К 22

Н.Т. Карева, И.В. Лапина, С.И. Ильин

## ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ

Учебное пособие

---

Челябинск  
2006

---

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное агентство по образованию  
Южно-Уральский государственный университет  
Кафедра физического металловедения и физики твердого тела

621.78(07)

K22

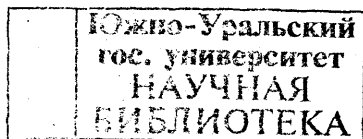
**Н.Т. Карева, И.В. Лапина, С.И. Ильин**

## **ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ**

Учебное пособие

Издание 2-е, исправленное и дополненное

*Рекомендовано учебно-методическим  
объединением по образованию в области  
металлургии в качестве учебного посо-  
бия для студентов высших учебных  
заведений, обучающихся по направлению  
«Металлургия»*



Челябинск  
Издательство ЮУрГУ  
2006

УДК [621.78:669.14](075.8)

Карева Н.Т., Лапина И.В., Ильин С.И. Термическая обработка сталей и сплавов: Учебное пособие. – 2-е изд., испр. и доп. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2006. – 98 с.

Данное пособие представляет собой лабораторный практикум по курсу «Термическая обработка сталей и сплавов». Разработаны методические указания ко всем лабораторным работам, вопросы для самоконтроля, а также контрольные задания и список тем рефератов. В приложениях приведена справочная информация, необходимая для выполнения работ: марочный состав, диаграммы изотермического распада переохлажденного аустенита, полосы прокаливаемости наиболее распространенных сталей, а также шкалы для оценки микроструктур конструкционных и инструментальных сталей.

Работа предназначена для студентов-металловедов специальности 150105 и других металлургических специальностей.

Ил. 7, табл. 19, список лит. – 23 назв.

Одобрено учебно-методической комиссией физико-металлургического факультета.

Рецензенты: Счастливцев В.М., Курчатов Б.В.

## **Лабораторная работа №1**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ТОЧЕК СТАЛИ МЕТОДОМ ПРОБНЫХ ЗАКАЛОК**

#### **1.1. Цель работы**

Ознакомиться с методом пробных закалок для нахождения критических точек стали. Изучить влияние углерода и легирующих элементов на положение критических точек  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$ .

#### **1.2. Материал исследования**

Отожженные образцы углеродистых и легированных сталей 20; 20X; 20XH; 20XH3A; 20XГНР; 20Г; 40; 40Г2; 40ХНА.

#### **1.3. Порядок выполнения работы**

1. Выписать химический состав и критические точки сталей.
2. Замерить твердость образцов на приборе Роквелла по шкале HRC. На каждом образце делать по три измерения, данные которых усреднить. Приготовить микрошлифы, протравить 4%-ным раствором  $HNO_3$  в этиловом спирте. Микроструктуру зарисовать.
3. По одному образцу каждой марки стали закалить в воде от температур с интервалом 20...30 °C (например 710; 740; 760; 790; 820; 850; 880 °C). Время выдержки при температуре аустенитизации 20 минут.
4. После закалки образцы заточить на наждаке и измерить их твердость на приборе Роквелла по шкале «С» (алмазным конусом, при нагрузке 150 кг), а в отдельных случаях – по шкале «В» (стальным шариком при нагрузке 100 кг). Чтобы сравнить числа твердости, их перевести в единицы твердости по Бринеллю (HB).
5. Приготовить микрошлифы, протравить и зарисовать микроструктуры.
6. Полученные данные привести в табл. 1.
7. Построить графики зависимости твердости от температуры закалки.
8. По изменению твердости и микроструктуры в зависимости от температуры нагрева определить критические точки сталей. Сравнить полученные данные со справочными.

#### **1.4. Содержание отчета**

Отчет по работе должен содержать:

- 1) наименование и цель работы;
- 2) материал исследования;
- 3) порядок выполнения работы;

4) таблицу с опытными данными и схемами микроструктур;

Таблица 1

Влияние температуры нагрева под закалку на твердость и микроструктуру исследованных сталей.

Марка стали	Температура нагрева под закалку, °C	Твердость			Микроструктура	
		HRB	HRC	HB	структурные составляющие	Схематический рисунок
	Исходное состояние					
	710					
	740					
	760					
	790					
	820					
	850					
	880					

5) графики зависимости  $HB = f(t_{\text{зак}}^0)$ ;

6) выводы по работе:

а) о влиянии содержания углерода в доэвтектоидной стали на положение критических точек;

б) о влиянии содержания легирующих элементов в стали на положение критических точек.

7) реферат на тему «Методы определения критических точек».

### 1.5. Контрольные вопросы

1. Что такое критические точки стали?

2. Критические точки и диаграмма Fe-Fe<sub>3</sub>C.

3. Какие превращения происходят при следующих критических точках: A<sub>c1</sub>; A<sub>c3</sub>; A<sub>r1</sub>; A<sub>r3</sub>; A<sub>cm</sub>; A<sub>r</sub><sub>cm</sub>.

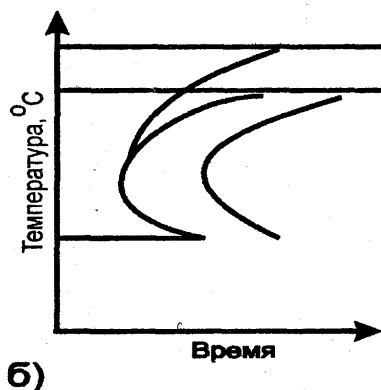
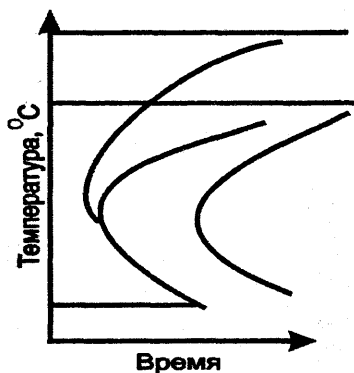
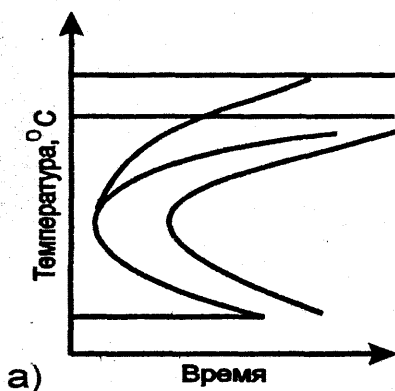
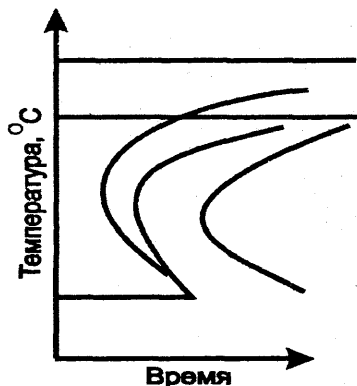
4. Какая структурная составляющая стали не претерпевает полного превращения при нагреве в межкритический интервал:

а) A<sub>c1</sub> – A<sub>cm</sub>

б) A<sub>c1</sub> – A<sub>c3</sub>

5. Какое влияние оказывают Mn и Ni на положение критических точек A<sub>c1</sub> и A<sub>c3</sub> стали.

6. Установите для каких сталей до- или заэвтектоидных приведены диаграммы изотермического распада переохлажденного аустенита, если известно, что они имеют разное содержание углерода и относятся к одной группе.



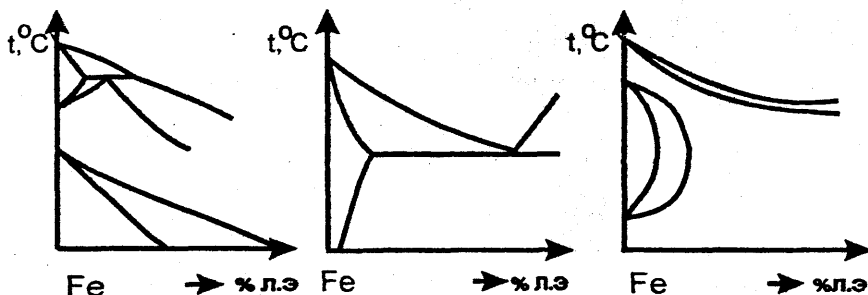
7. Какое влияние оказывают Al и Si на положение критических точек  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$  стали.

8. Какая из нижеприведенных сталей будет иметь более высокие значения критических точек  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$ : 50 или 50Г2?

9. Стали 20 и 50 были нагреты до одной и той же температуры, выдержаны одинаковое время и охлаждены в воде. После закалки сталь 20 имела структуру мартенсит и феррит, а сталь 50 мартенситную структуру. Выше каких критических температур были нагреты стали?

10. Сталь 40Х с исходной феррито-перлитной структурой нагревали до аустенитного состояния с разными скоростями:  $V=0,1$  К/с;  $V=10$  К/с;  $V=1000$  К/с. Как скажется скорость нагрева на положение критических точек  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$ ?

11. Какие из приведенных диаграмм состояний соответствуют сплавам Fe с элементами: Cr, Mo, V, W, C, Ni, Al?



12. На завод поступили две плавки стали 12ХН3А, отличающиеся химическим составом:

№ плавки	Содержание элементов, вес. %						
	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
1	0,09	0,20	0,30	0,02	0,03	0,60	2,75
2	0,16	0,23	0,52	0,02	0,01	0,62	3,15

Будут ли критические точки  $A_{c1}$  и  $A_{c3}$  обеих плавков одинаковыми?

13. Укажите изменения в положении критических точек с увеличением содержания углерода:

- в доэвтектоидной стали;
- в заэвтектоидной стали.

14. Почему при скоростном нагреве под закалку температура аустенитизации стали 45 составляет  $980^{\circ}\text{C}$ , а при печном нагреве  $840^{\circ}\text{C}$ ?

15. В каких из указанных сталей 10; 60; 60С2; 40ХФА; 35Г2 после пробных закалок на наследственное зерно от температуры  $930^{\circ}\text{C}$  и времени выдержки 30 минут можно получить баллы зерна 3 (125 мкм); 5–6 (88–62 мкм); 9 (15 мкм). Укажите причины.

## Лабораторная работа №2

### КИНЕТИКА РОСТА ЗЕРНА АУСТЕНИТА ПРИ НАГРЕВЕ

#### 2.1. Цель работы

Выяснить влияние температуры аустенитизации и продолжительности выдержки при температуре аустенитизации на величину зерна аустенита методом нормализации.

## 2.2. Материал исследования

Образцы стали 4

## 2.3. Порядок выполнения работы

1. Выписать химический состав и критические точки стали (см. табл. 19).
2. Нагреть образцы до температур выше  $A_{c3}$ : 820; 850; 900; 950; 1000 и 1050°C. Дать 20-минутную выдержку при каждой температуре. Затем образцы охладить на воздухе.
3. При температуре 1000 °C дать дополнительные выдержки, варьируя время от 5 до 60 минут: 5; 10; 15; 25; 30; 60 минут.
4. По диаграмме изотермического распада переохлажденного аустенита (см. приложение) рассчитать нижнюю критическую скорость при закалке ( $V_{нкз}$ ), убедившись, что указанные режимы термической обработки с использованием охлаждения на воздухе являются нормализацией.
5. Образцы заточить на наждаке, сняв слой 1,5 мм. Приготовить микрошлифы.
6. Выявить микроструктуру путем травления в 4%-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте.
7. Определить балл зерна аустенита методом сравнения со шкалой ГОСТ 5639-82. По ГОСТ 5639-82 и номограмме (рис. 1) найти средний диаметр зерна ( $d$  мкм).
8. В случае разнотерности<sup>1</sup> отдельно определить балл и средний диаметр для мелких и крупных зерен, а также площади, занимаемые мелкими и крупными<sup>2</sup> зернами. Осматривать порядка десяти полей зрения на каждом шлифе.
9. Полученные данные представить в виде таблицы и графиков.

## 2.4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- 1) наименование и цель работы;
- 2) материал исследования;
- 3) порядок выполнения работы;
- 4) химический состав исследуемой стали, ее критические точки и диаграмму изотермического распада переохлажденного аустенита;
- 5) расчет  $V_{нкз}$  и ее сравнение с охлаждающей способностью среды;
- 6) опытные данные в виде табл. 2;

<sup>1</sup> Разнотерностой считают структуру, в которой имеются зерна, отличающиеся от основного (обладающего) балла более чем на один номер и занимающие на шлифе площадь более 10 %.

<sup>2</sup> Мелким считать зерно 6 балла и выше; крупным – зерно 5 балла и ниже.



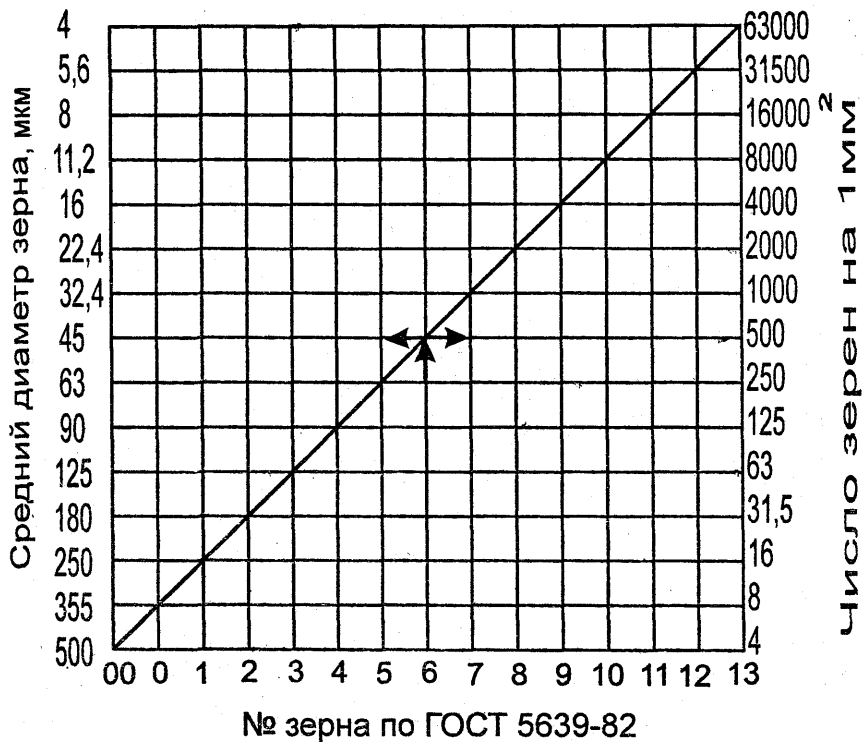


Рис.1. Номограмма для определения размера зерна

Таблица 2

## Влияние режима нормализации на размер зерна

Температура нагрева, °C	Время выдержки, мин	Охлаждающая среда	Мелкие зерна			Крупные зерна		
			Балл зерна	$d_{\text{ср}}$ , мкм	Занимаемая площадь, %	Балл зерна	$d_{\text{ср}}$ , мкм	Занимаемая площадь, %
820	20							
850	20							
900	20							
950	20							
1 000	5							
1 000	10							
1 000	20							
1 000	25							
1 000	30							
1 000	60							

7) графики в координатах:

- а) размер зерна – время выдержки ( $t^{\circ}\text{C}=\text{const}$ );
- б) соотношение площади, занятой мелкими и крупными зернами – время выдержки ( $t^{\circ}\text{C}=\text{const}$ );
- в) размер зерна – температура нагрева ( $\tau_{\text{выд}}=20$  мин);
- г) соотношение площади, занятой мелкими и крупными зернами, – температура нагрева ( $\tau_{\text{выд}}=20$  мин).

8) выводы по работе: о влиянии температуры нагрева и времени выдержки при температуре нагрева на склонность аустенитного зерна к росту;

9) реферат на тему «Методы выявления и определения величины зерна аустенита в стали».

## 2.5. Контрольные вопросы

1. Что понимается под начальным, наследственным и действительным размером зерна аустенита?

2. От каких основных факторов зависит начальное зерно аустенита?

3. В каком случае начальное зерно аустенита в стали 30 будет мельче: при нагреве до температуры 1000 °C током высокой частоты со скоростью 1000 К/с или при нагреве в печи со скоростью 0,01 К/с?

4. При какой исходной структуре с одинаковым размером зерна стали 30ХГ может быть получено более мелкое начальное зерно аустенита?

а) перлит+феррит ; б) сорбит; в) троостит?

5. Какое влияние оказывает размер действительного зерна аустенита на ударную вязкость и температурный порог хладноломкости стали?

6. Какая сталь называется:

а) наследственно-мелкозернистой;

б) наследственно- крупнозернистой?

7. Какое влияние оказывают карбидообразующие элементы на склонность зерна аустенита к росту?

8. Какая плавка стали 40 будет более склонна к росту зерна аустенита в зависимости от условий выплавки: мартеновская, электросталь, вакуумно-дуговой переплав?

9. Какая углеродистая сталь (20; 20пс; 20кп) более склонна к перегреву: а) кипящая; б) полуспокойная; в) спокойная?

10. Какие из приведенных примесных фаз оказывают более энергичное задерживающее действие на рост зерна аустенита: а) нитриды; б) сульфиды; в) оксиды; г) фосфиды?

11. Какое влияние оказывают Mn, В, Р, находящиеся в твердом растворе на склонность стали к перегреву?

12. Какое влияние оказывает Si на склонность аустенитного зерна к росту, если он присутствует в стали как примесь и как легирующий элемент?

13. Сталь У12 может иметь исходную структуру: а) крупнозернистый перлит; б) мелкозернистый перлит. В каком случае раньше начнется рост зерна аустенита при нагреве?

14. Какое влияние оказывает увеличение содержания углерода в заэвтектоидных сталях на склонность аустенитного зерна к росту?

15. Какая из нижеприведенных сталей больше склонна к росту зерна аустенита при нагреве до одной и той же температуры в однофазной аустенитной области? Стали марок: а) 40; 40Х; б) У8; У12.

16. Сталь одного и того же состава в зависимости от вида предшествующей термической обработки имеет различную структуру: перлит+феррит (в форме зерен); сорбит+феррит (в виде сетки по границам зерен); зернистый сорбит. Сталь с какой исходной структурой будет более склонна к росту зерна аустенита при нагреве?

### Лабораторная работа №3

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА ПОД ЗАКАЛКУ НА СТРУКТУРУ И ТВЕРДОСТЬ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

### 3.1. Цель работы

Научиться правильно выбирать температуру нагрева под закалку для углеродистых доэвтектоидных и заэвтектоидных сталей.

### 3.2. Материал исследования

Образцы отожженных углеродистых сталей 20; 30; 45; 60; У12.

### 3.3. Порядок выполнения работы

1. Выписать химический состав, критические точки, привести диаграммы изотермического распада переохлажденного аустенита исследуемых сталей.

2. Изучить структуру исследуемых сталей в исходном состоянии. Травление шлифов проводить в 4% растворе азотной кислоты в этиловом спирте. Замерить твердость на приборе Роквелла (стальным шариком при нагрузке 100 кг).

3. Нагреть доэвтектоидные стали до температур: а)  $t_n < A_{c1}$ ; б)  $A_{c3} > t_n > A_{c1}$ ; в)  $A_{c3} + (30...50)^\circ\text{C}$ ; г)  $A_{c3} + 100^\circ\text{C}$ , а заэвтектоидные стали – до: а)  $t_n < A_{c1}$ ; б)  $A_{cm} > t_n > A_{c1}$ ; в)  $t_n > A_{cm}$  (см. табл. 3).

Таблица 3

Примерные режимы нагрева под закалку исследуемых сталей

Марка стали	Температура нагрева для доэвтектоидных сталей			
	$< A_{c1}$	$A_{c3} > t_n > A_{c1}$	$A_{c3} + (30...50)^\circ\text{C}$	$A_{c3} + 100^\circ\text{C}$
20	700	780	880...900	950
30	700	770	850...870	920
45	700	750	800...820	870
60	700	740	780...800	850
У12	Температура нагрева для заэвтектоидных сталей			
	$A_{cm} > t_n > A_{c1}$		$t_n > A_{cm}$	
	750		850	
	800		950	

4. Время выдержки образцов при температуре нагрева складывается из времени прогрева до заданной температуры и времени выдержки для полного протекания фазовых превращений. Время выдержки определяется по данным табл. 4, в которой приводятся нормы нагрева стали в лабораторных электропечах.

5. По данным диаграмм изотермического распада переохлажденного аустенита рассчитать верхнюю критическую скорость закалки ( $V_{вкз}$ ) и подобрать закалочную среду.

6. Провести закалку образцов по режимам табл. 5.

7. После закалки образцы заточить на наждаке, замерить твердость, приготовить микрошлифы и изучить микроструктуры.

8. Полученные данные представить в виде табл. 5 и графиков зависимости твердости от температуры аустенитизации.

Продолжительность нагрева под закалку в зависимости от формы заготовки и температуры нагрева

Температура нагрева, °С	Форма изделия		
	круг	квадрат	пластина
	Продолжительность нагрева, мин		
	на 1 мм диаметра	на 1 мм толщины	
600	2,0	3,0	4,0
700	1,5	2,2	3,0
800	1,0	1,5	2,0
900	0,8	1,2	1,6
1 000	0,4	0,6	0,8

9. Выбрать оптимальную температуру нагрева под закалку и обосновать.

10. По справочным данным найти: для каких деталей применяют исследуемые стали, требования, предъявляемые по условиям работы и режимы окончательных термических обработок.

### 3.4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- 1) наименование и цель работы;
- 2) материал исследования;
- 3) порядок выполнения работы;
- 4) химический состав исследуемых сталей, их критические точки, диаграммы изотермического распада переохлажденного аустенита;
- 5) расчеты  $V_{вкз}$  сталей;
- 6) таблицу с температурами нагрева под закалку этих сталей;
- 7) таблицу с экспериментальными данными, графики зависимости твердости от температуры аустенитизации;
- 8) выводы по влиянию температуры закалки на структуру и твердость стали до- и заэвтектоидного состава;
- 9) сведения согласно пункта 10 порядка работы.

### 3.5. Контрольные вопросы

1. Какую операцию термической обработки называют закалкой?
2. Что такое мартенсит?
3. Сколько фаз образуется в процессе мартенситного превращения?
4. В каком интервале температур протекает мартенситное превращение?
5. Как влияет размер зерна аустенита на величину мартенситных кристаллов?

**Влияние температуры нагрева на твердость и микроструктуру  
исследуемых сталей**

Марка стали	Критические точки стали			Температу- ра нагрева, °C	Твердость			Микроструктура
	Ac <sub>1</sub>	Ac <sub>3</sub>	Ac <sub>cm</sub>		HRB	HRC	HB	
20				Исходное состояние				
				700				
				750				
				800				
				850				
				950				
30				Исходное состояние				
				700				
				750				
				800				
				850				
				950				
45				Исходное состояние				
				700				
				750				
				800				
				850				
				950				
60				Исходное состояние				
				700				
				750				
				800				
				850				
				950				
У12				Исходное состояние				
				700				
				750				
				800				
				850				
				950				

6. Как влияет содержание углерода и легирующих элементов на положение мартенситного интервала?

7. От чего зависит температура нагрева под закалку?

8. Как изменится твердость углеродистой стали после закалки из однофазной области с повышением температуры нагрева?

9. Как влияют недогрев и перегрев на структуру и твердость закаленной стали 30?

10. Чем определяется количество остаточного аустенита при закалке заэвтектоидных сталей?

11. Как влияют перегрев и недогрев на структуру и свойства закаленной стали У12?

12. Что такое полная и неполная закалка?

13. Как соотносятся количество остаточного аустенита и твердость сталей У10; У11; У12; У13, закаленных от температуры  $A_{c1} + 30^\circ\text{C}$ ?

14. В какой стали У12 или Х12М после закалки от  $t_n = A_{c1} + (30 \dots 50)^\circ\text{C}$  будет больше остаточного аустенита и почему?

15. Какую исходную перед закалкой структуру должна иметь заэвтектоидная сталь (цементитная сетка+перлит или зернистый перлит) и почему?

16. Почему нельзя применять температуры нагрева под закалку более высокие, по сравнению с рекомендуемыми?

17. Как влияет содержание углерода на температуру нагрева под закалку для а) доэвтектоидных; в) заэвтектоидных сталей?

18. Как влияет повышение температуры нагрева под закалку на уровень внутренних напряжений?

19. Какое влияние на твердость закаленной заэвтектоидной стали оказывают избыточные карбиды?

20. Чем отличаются структуры сталей 45 и У8, закаленных от  $760^\circ\text{C}$ ?

### Лабораторная работа №4

## ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И ТВЕРДОСТЬ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

### 4.1. Цель работы

Выяснить влияние скорости охлаждения на структуру и твердость углеродистой доэвтектоидной стали.

### 4.2. Материал исследования

Образцы углеродистых сталей 20, 30, 45, 60 круглого сечения диаметром 20 мм и высотой 10 мм.

### 4.3. Порядок выполнения работы

1. Выписать химический состав, критические точки сталей, привести диаграммы изотермического распада переохлажденного аустенита.
2. Выбрать температуру нагрева и время выдержки для аустенитизации образцов.
3. Провести аустенитизацию образцов с последующим охлаждением:
  - а) с печью;
  - б) на воздухе;
  - в) в масле;
  - г) в воде;
  - д) в соленой воде (10%-ный раствор NaCl в воде).
4. Заточить образцы на наждаке и измерить их твердость. После охлаждения на воздухе и с печью твердость измеряют на приборе Роквелла по шкале «В» (стальным шариком при нагрузке 100 кг), а после охлаждения в масле, воде и соленой воде – по шкале «С» (алмазным конусом, при нагрузке 150 кг). Чтобы сравнить числа твердости, их переводят в единицы твердости Бринелля (НВ).
5. Приготовить микрошлифы, протравить и зарисовать микроструктуры.
6. Полученные данные привести в табл. 6.
7. По приведенным диаграммам изотермического распада переохлажденного аустенита определить  $V_{\text{вк}}$  и  $V_{\text{нк}}$  для исследуемых сталей.
8. Сделать вывод.

### 4.4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- 1) наименование и цель работы;
- 2) материал исследования;
- 3) порядок выполнения работы;
- 4) химический состав исследуемых сталей, их критические точки и диаграммы изотермического распада переохлажденного аустенита;
- 5) схематические рисунки микроструктур сталей, охлажденных с различными скоростями;
- 6) характеристики охлаждающих сред (табл. 7);
- 7) таблицу с полученными результатами;
- 8) расчеты  $V_{\text{вк}}$  и  $V_{\text{нк}}$  для сталей и их сравнения с охлаждающей способностью различных сред;
- 9) выводы по работе:
  - а) о влиянии скорости охлаждения на структуру и свойства углеродистой стали;
  - б) о влиянии содержания углерода в стали на структуру и свойства при одинаковом способе охлаждения.



Таблица 6

Влияние скорости охлаждения на структуру и твердость исследуемых сталей

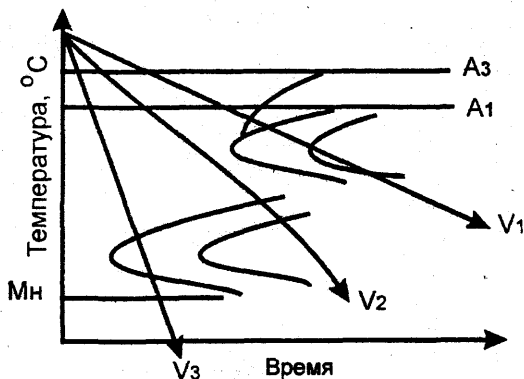
Марка стали	Температура аустенитизации, °C	Время выдержки, мин	Охлаждающая среда	Твердость			Микроструктура	Наименование операции термической обработки
				HRC	HRB	HB		
20	880...900	20	печь					
			воздух					
			масло					
			вода					
30	850...870		соленая вода					
			печь					
			воздух					
			масло					
			вода					
			соленая вода					
			печь					
			воздух					
45	800...820		масло					
			вода					
			соленая вода					
			печь					
60	780...800		воздух					
			масло					
			вода					
			соленая вода					

Охлаждающая способность различных сред

Закаливающая среда	Скорость охлаждения (К/с) в интервале температур	
	550–650 °С	200–300 °С
Вода при 18 °С	600	270
Вода при 26 °С	500	270
Вода при 50 °С	100	270
Вода при 74 °С	30	200
10% - ный раствор NaOH в воде	1 200	300
10%-ный раствор NaCl в воде	1 100	300
Эмульсия масла в воде	70	200
Минеральное машинное масло	100	15–18

#### 4.5. Контрольные вопросы

1. Что такое диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита? В каких координатах она строится?
2. Что такое верхняя критическая скорость заковки  $V_{\text{вкз}}$ ? Как она определяется?
3. Покажите на диаграмме изотермического распада переохлажденного аустенита стали 40ХФА режимы охлаждения, позволяющие получить следующие варианты структур: 1) Ф+П; 2) Ф+П+Б; 3) Ф+Б; 4) М+А<sub>ост</sub>.
4. Какую структуру можно получить при охлаждении со скоростями  $V_1$ ;  $V_2$ ;  $V_3$ ?



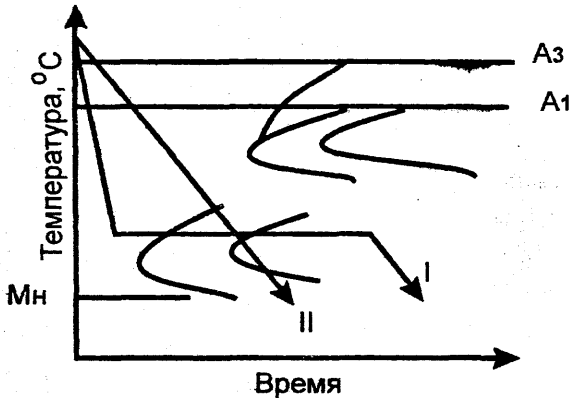
5. Пользуясь изотермическими диаграммами распада переохлажденного аустенита (см. приложение), определите какие структуры следует ожидать после охлаждения на воздухе в сталях 20 и 18Х2Н4А.

6. Что общего и в чем разница структур перлит, сорбит и троостит?

7. Как влияет увеличение скорости охлаждения стали 30 на ее твердость?

8. Что такое перлитное превращение, каковы его температурные границы?

9. Какая разница в структурах и свойствах стали будет наблюдаться после охлаждения по режимам I и II?



## Лабораторная работа №5

### ОТПУСК СТАЛИ

#### 5.1. Цель работы

Изучить характер влияния легирующих элементов и режима отпуска на устойчивость мартенсита в конструкционных низколегированных сталях.

#### 5.2. Материал исследования

Образцы сталей 30, 30Х, 30ХГС.

#### 5.3. Порядок выполнения работы

1. Выписать химический состав, критические точки, привести диаграммы изотермического распада переохлажденного аустенита исследуемых сталей.

2. Выбрать температуру нагрева под закалку и время выдержки при температуре нагрева (табл. 4).

3. Пользуясь диаграммами изотермического распада переохлажденного аустенита, определить  $V_{\text{мз}}$  указанных сталей и выбрать охлаждающую среду для закалки образцов.

4. Провести закалку образцов по выбранным режимам.

5. Заточить образцы на наждаке и измерить твердость всех образцов на приборе Роквелла по шкале «С».

6. Закаленные образцы подвергнуть отпуску при температурах 200, 400 и 600°C. Время выдержки при каждой температуре 30 минут.

7. Отпущенные образцы заточить на наждаке и снова измерить твердость по шкале HRC.

8. Полученные данные занести в табл. 8.

Таблица 8

Влияние режима отпуска на твердость и микроструктуру закаленной стали

Марка стали	Закалка				Отпуск в течение 30 минут			
	$t_n$ , °C	$\tau_{\text{выд}}$ , мин	охл. среда	HRC	$t_n$ , °C	HRC	микро- структура	вид отпуска
30								
30X								
30XГС								

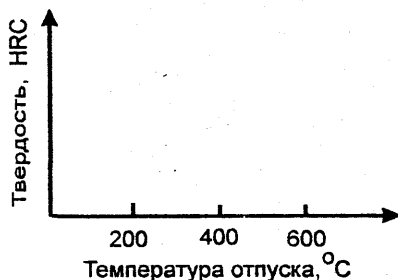
9. По полученным данным построить график изменения твердости в зависимости от температуры отпуска, причем исходные (полученные после закалки данные) отметить на вертикальной оси.

#### 5.4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- 1) наименование и цель работы;
- 2) материал исследования;

- 3) порядок выполнения работы;
- 4) химический состав исследуемых сталей, их критические точки и диаграммы изотермического распада переохлажденного аустенита;
- 5) расчеты  $V_{\text{вкз}}$  сталей;
- 6) таблицу с полученными данными;
- 7) представить опытные данные в виде следующего графика:



*Влияние температуры отпуска на твердость закаленной стали*

- 8) выводы по работе:
  - а) о влиянии легирующих элементов на  $V_{\text{вкз}}$ ;
  - б) о влиянии температуры отпуска на твердость закаленной стали;
  - в) о влиянии легирующих элементов на твердость закаленной стали (закаляемость);
  - г) о влиянии легирующих элементов на твердость исследованных сталей при одинаковом режиме отпуска.

### 5.5. Контрольные вопросы

1. Какая операция термообработки называется отпуском? Его назначение.
2. Как изменяется твердость закаленной стали при повышении температуры отпуска?
3. Как влияет легирование стали на процессы, протекающие в стали при отпуске?
4. Какова структура низкоотпущенной стали?
5. В каких случаях используют низкий отпуск?
6. Какие процессы протекают при отпуске закаленной стали?
7. Какой вид отпуска целесообразен для повышения предела упругости и релаксационной стойкости стали?
8. Что такое улучшение стали?
9. Какая структура формируется в стали, если отпуск проводится при температурах, близких к  $A_{c1}$ ?
10. В чем заключается карбидное превращение при отпуске?
11. Укажите особенности процесса отпуска в высокоуглеродистых сталях.

12. С чем связано влияние легирования на процессы распада при отпуске сталей?
13. Расскажите, как влияет легирование на каждой стадии отпуска.
14. Какое практическое значение имеет способность легирования сдвигать развитие процессов отпуска в сторону более высоких температур?
15. До какой температуры сохраняется в структуре низколегированной конструкционной стали отпущенный мартенсит?
16. Что такое отпускная хрупкость?
17. Каковы температурные интервалы проявления а) необратимой; б) обратной отпускной хрупкости?
18. Какое влияние оказывает легирование стали Mn, Cr, Ni, Si на чувствительность к обратной отпускной хрупкости?
19. Как влияет способ выплавки стали типа 30ХГС (конверторный, вакуумный электропЕРЕПЛАВ) на склонность к обратной отпускной хрупкости?
20. Сталь 30ХН после отпуска при 650 °С охлаждена: а) в воде; б) в печи с малой скоростью. Каким будет разрушение: интеркристаллитным или транскристаллитным?
21. Что понимается под необратимой отпускной хрупкостью?
22. Что такое троостит отпуска? Какими свойствами он обладает?
23. Какие виды брака могут наблюдаться при низком отпуске закаленной стали? Их причины и способы устранения.
24. Меры борьбы с обратной отпускной хрупкостью.
25. Как следует охлаждать изделия с температур высокого отпуска, если они изготовлены из сталей: а) 40; б) 40ХН; в) 40ХНМА.

## **Лабораторная работа №6**

### **ЗАКАЛИВАЕМОСТЬ СТАЛИ**

#### **6.1. Цель работы**

Изучить влияние углерода и легирующих элементов на закаливаемость стали.

#### **6.2. Материал исследования**

Образцы сталей марок 20; 30; 45; 65; 80; 45Х; 45Г2; У12; ШХ15.

#### **6.3. Порядок выполнения работы**

1. Выписать химический состав и критические точки исследуемых сталей.

2. Провести закалку образцов. Температуру нагрева принять равной  $(Ac_3+50)^\circ C$  для доэвтектоидных и  $(Ac_1+30)^\circ C$  для заэвтектоидных сталей. Время пребывания в печи определить по табл. 4. Углеродистые стали при закалке охладить в воде (малоуглеродистые – в 10%-ном растворе поваренной соли), легированные стали – в масле.

3. Закаленные образцы зачистить абразивным диском для снятия обезуглероженного слоя и измерить их твердость на приборе Роквелла по шкале «С». На каждом образце делать по 3 измерения, данные которых усреднить.

4. Объяснить полученные результаты и сделать выводы.

#### 6.4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- 1) наименование и цель работы;
- 2) материал исследования;
- 3) порядок выполнения работы;
- 4) таблицы с химическим составом исследуемых сталей, их критическими точками, подсчитанными  $V_{\text{вкз}}$  (табл. 9) и опытными данными (табл. 10);
- 5) график зависимости твердости закаленной стали от содержания углерода;
- 6) выводы по работе о влиянии углерода и легирующих элементов на закаливаемость исследованных сталей.

### Таблица 9

Химический состав, критические точки и  $V_{ВКЗ}$  исследованных сталей[illegible]

Таблица 10

## Твердость закаленных и изученных сталей

№ п/п	Марка стали	Режим закалки			Твер- дость, HRC
		$t_n, ^\circ\text{C}$	$\tau_{\text{выд.}} \text{ мин}$	ох- лажд. среда	

## 6.5. Методические указания

При анализе экспериментальных данных необходимо учитывать, что закаливаемость стали в основном определяется содержанием углерода в мартенсите и очень мало зависит от концентрации легирующих элементов. Закаливаемость стали резко возрастает при увеличении содержания углерода до 0,6% и незначительно повышается при дальнейшем увеличении его содержания до 0,8%.

Заэвтектоидные стали, имеющие одинаковую концентрацию углерода в аустените при нагреве под закалку, обладают и одинаковой закаливаемостью. Повышение температуры нагрева заэвтектоидных сталей под закалку, увеличивая концентрацию углерода в аустените, приводит к возрастанию твердости мартенсита и увеличению количества остаточного аустенита. Последнее обстоятельство вызывает снижение твердости стали в целом и рассматривается как ослабление закаливаемости, несмотря на некоторое повышение твердости мартенсита.

Согласно Г.В. Курдюмову [1] основной причиной повышения твердости при закалке стали является высокий предел упругости кристаллов мартенсита, достигающий при больших концентрациях углерода 2000 МПа и обусловленный внедрением атомов углерода в решетку  $\alpha$ -железа. Вместе с тем прочность межатомной связи в решетке мартенсита под влиянием углерода уменьшается. Другая причина высокой твердости мартенсита – его особая микро- и субмикроструктура, обусловленная механизмом мартенситного превращения. Предполагается также [2], что высокая твердость мартенсита отчасти обусловлена вносимой углеродом ковалентной составляющей межатомной связи, возникновение направленной ко-



валентной связи всегда повышает сопротивление пластической деформации и уменьшает способность к ней.

Влияние легирующих элементов на закаливаемость стали носит, в основном, косвенный характер.

Так как большинство элементов уменьшает верхнюю критическую скорость заковки ( $V_{вкз}$ ), то в легированной стали легче получить мартенситную структуру и максимальную твердость, чем в углеродистой.

В конструкционных сталях, содержащих менее 0,4%С, повышение твердости при увеличении содержания углерода происходит настолько интенсивно, что даже незначительные уменьшения его концентрации в аустените легированной стали, обусловленные неполным растворением специальных карбидов, приводят к заметному понижению твердости мартенсита и снижению закаливаемости.

Рассмотренный механизм влияния легирующих элементов на закаливаемость, связанный с наличием в стали трудно растворимых карбидов может получить значительное развитие в высокоуглеродистых сталях, легированных Mo, W, Nb, V и, особенно, Ti.

Высокоуглеродистые легированные инструментальные стали имеют высокую твердость и в том случае, когда они закаляются с температуры ниже точки полного растворения карбидов. Твердость мартенсита при неполном растворении карбидов снижается незначительно, так как влияние на нее углерода ослабевает при его содержании в твердом растворе более 0,6% . Кроме того, снижение твердости мартенсита компенсируется уменьшением количества остаточного аустенита и присутствием твердых карбидов.

Прямое влияние легирующих элементов на закаливаемость стали невелико. Некоторого повышения твердости мартенсита легирующими элементами можно ожидать только вследствие их влияния на упрочнение  $\alpha$ -раствора при закалке. В работах М.М. Штейнберга было показано, что наиболее сильно упрочняют твердый  $\alpha$ -раствор Ti, Nb, W, Mo, V, Mn. Слабо действуют Si, Ni, Cr. Упрочнение  $\alpha$ -раствора при закалке обусловлено изменениями в микро- и субструктуре твердого раствора.

Непосредственное влияние элементов на закаливаемость может проявиться только при низком содержании углерода в стали.

## 6.6. Контрольные вопросы

1. Что такое закаливаемость стали?
2. Как измеряется закаливаемость?
3. Какова природа высокой твердости мартенсита?
4. Какое влияние оказывает увеличение содержания углерода на твердость закаленных заэвтектоидных сталей?
5. В чем заключается косвенное и прямое воздействие легирующих элементов на закаливаемость?

6. Как изменяется с ростом количества углерода в заэвтектоидной стали твердость: а) мартенсита; б) стали, если закалка осуществляется с температур выше  $A_{cm}$ ?

7. Как изменяется твердость мартенсита заэвтектоидной стали с ростом содержания углерода в ней, если температура закалики выбирается несколько выше  $A_{c1}$ ?

8. Покажите графическую зависимость твердости закаленной заэвтектоидной стали от содержания углерода в ней, если  $t_{зак} = A_{c1} + (30 \dots 50) ^\circ C$ .

9. Какое влияние оказывают легирующие элементы на закаливаемость сталей?

10. Расположите в ряд по убывающей закаливаемости стали: 08; 30ХГС; 10ХСНД; У8Г2А; 50С2; У7.

11. Как зависит закаливаемость доэвтектоидных сталей от содержания углерода?

12. Как изменится закаливаемость стали Р6М5К5 при повышении температуры закалики с 950 до 1240  $^\circ C$ ?

13. Почему сталь 35ХГС, закаленная по оптимальному режиму, имеет более низкую твердость, чем сталь 45, закаленная также по оптимальному режиму?

### Лабораторная работа №7

## ПРОКАЛИВАЕМОСТЬ СТАЛИ

Прокаливаемость - это способность стали закаливаться с образование мартенсита на определенную глубину. Прокаливаемость измеряется в миллиметрах.

Одним из наиболее распространенных методов определения прокаливаемости является метод торцевой закалики по Джонию. Он используется в случае конструкционных углеродистых и легированных сталей, инструментальных<sup>1</sup>, а также подшипниковых сталей. Этот способ не применим для высоколегированных сплавов, закаливающих на воздухе, у которых устойчивость аустенита против распада велика. Для определения прокаливаемости таких материалов применяют массивные образцы, утепляемые экраном, или прибегают к методу объемной закалики. Исключение составляют также и стали с очень низкой прокаливаемостью.

### 7.1. Цель работы

Ознакомиться с методикой определения прокаливаемости методом торцевой закалики в соответствии с ГОСТ 5657-69 и изучить влияние легирующих элементов на прокаливаемость.

---

<sup>1</sup> Глубину прокаливаемости инструментальных углеродистых и малолегированных сталей можно определять и по излому образцов, закаленных от 700, 800, 840  $^\circ C$  после охлаждения в воде (ГОСТ 1435-90).

## 7.2. Материал исследования

Стали марок: 45; 45Х; 45Г2; 45ХР и другие. Варианты заданий приведены в табл. 11.

Таблица 11

Варианты заданий

№ варианта	Марки сталей		
1	20Х	20ХГРА	20ХН3А
2	30ХА	30ХМА	30ХГСА
3	35	35Г2	35ХМА
4	40	40ХА	40ХНА
5	40	40Г2	40ХФА
6	45	45Р	45Х
7	15Х	12ХН3А	18ХГТ
8	50	50Г	50ХГФА
9	55	55С2	50Х
10	65	65Г	60С2
11	40	38ХА	38ХСА
12	35ХМА	35ХРА	30ХГТ
13	45Х	40ХГТР	20ХГНР
14	30Х	25Х2ГНТА	25ХГМ
15	15Х	18ХГТ	12Х2Н4А
16	15	45	У8
17	35	У8	ШХ15
18	20	У8	У12

## 7.3. Порядок выполнения работы

1. Выписать данные о химическом составе и критических точках исследуемых сталей.

2. Нагреть образцы до температуры ( $A_{c3}+50...70$ ) °С. Время выдержки прогрева 30...50 мин. Для предохранения поверхностных слоев от обезуглероживания нагрев образцов проводить в графитовых стаканчиках или чугунной стружке.

3. Образцы с аустенитной структурой перенести на установку торцевой закалки. Струю воды направить точно на торец образца. Охлаждение производить в течение 10 минут.

4. Вдоль образующей охлажденных образцов сошлифовать две диаметрально противоположные параллельные плоскости и сделать по одной из них разметку, начиная от закаливаемого торца: 10 делений через 1,5 мм и следующие 10 делений через 3 мм.

5. В соответствии с разметкой измерить твердость исследуемых образцов на приборе Роквелла по шкале «С» (HRC). Результаты измерений твердости выразить графически в координатах «расстояние от закаливаемого торца – твердость».

6. Сравнить полученные экспериментальные данные со справочными.

7. Задавая определенными значениями твердости согласно пунктов а...д (раздел 7.5.1.) сравнить исследуемые стали по глубине прокаливаемости (глубина прокаливаемости определяется как расстояние от закаливаемого торца до точки с заданной твердостью).

8. Пользуясь диаграммами изотермического распада переохлажденного аустенита определить верхние критические скорости закалки ( $V_{вкз}$ ) исследуемых сталей.

9. По номограмме М.Е. Блантера и рассчитанной  $V_{вкз}$  определить идеальный критический диаметр, критический диаметр при охлаждении в воде и в масле.

10. Пользуясь полосами прокаливаемости, справочными данными и номограммой М.Е. Блантера, определить критические диаметры для 100%-ной мартенситной и для полумартенситной структур. Полученные данные занести в табл.

12. Сравнить стали по прокаливаемости.

11. Объяснить полученные результаты и сделать выводы.

#### 7.4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- 1) наименование и цель работы;
- 2) порядок выполнения работы; схему установки для определения прокаливаемости методом торцевой закалки;
- 3) таблицы с химическим составом, критическими точками изучаемых сталей и данными опыта;
- 4) графики изменения твердости по длине закаленных образцов или полосы прокаливаемости данных сталей;
- 5) диаграммы изотермического распада переохлажденного аустенита изучаемых сталей;
- 6) выводы по работе о влиянии на прокаливаемость:
  - а) химического состава изучаемых сталей
  - б) охлаждающей способности среды.

## Результаты оценки прокаливаемости сталей

Ма- рка ста- ли	V <sub>вкз</sub> К/с	Критический диаметр, D <sub>кр</sub> (по V <sub>вкз</sub> ), мм			HRC  полу- мар- тен- сит- ной струк- туры	Глубина закален- ной зоны, мм		Критический диаметр, D <sub>кр</sub> (100% мартен- сита), мм			Критический диаметр, D <sub>кр</sub> (50% мартенсита +50% троостита), мм		
		иде ал.	для во- ды	для мас- ла		h <sub>min</sub>	h <sub>max</sub>	иде ал.	для во- ды	для мас- ла	иде- ал.	для во- ды	для мас ла
								h <sub>min</sub> / h <sub>max</sub>			h <sub>min</sub> / h <sub>max</sub>		

## 7.5. Методические указания

7.5.1. Методические указания к определению прокаливаемости согласно  
ГОСТ 5657-69

Величина прокаливаемости в конструкторской или технологической докумен-  
тации может быть задана одним из следующих способов:

а) по максимальной или минимальной твердости на определенном расстоянии  
от охлаждаемого торца. Это требование записывается так  $\Pi \frac{HRC}{L}$ . На рис. 1 оно

обозначено точками 1 и 1'. Из приведенного примера следует, что необходимо  
обеспечить твердость HRC 60 (максимальная) или HRC 46 (минимальная) на рас-  
стоянии 15 мм от охлаждаемого торца, что записывается в следующей форме:

$$\Pi \frac{60}{15} \text{ или } \Pi \frac{46}{15};$$

б) по минимальному или максимальному значению твердости на заданном  
расстоянии от охлаждаемого торца. Это требование записывается так:

$$\Pi \frac{46:60}{15}. \text{ На рис. 2 оно обозначено точками 1 и 1'. Это означает, что необходимо}$$

обеспечить твердость в пределах от HRC 46 до HRC 60 на расстоянии 15 мм от  
охлаждаемого торца;

в) по минимальному или максимальному расстоянию от охлаждаемого торца  
образца до сечения с определенной твердостью. Это требование записыва-

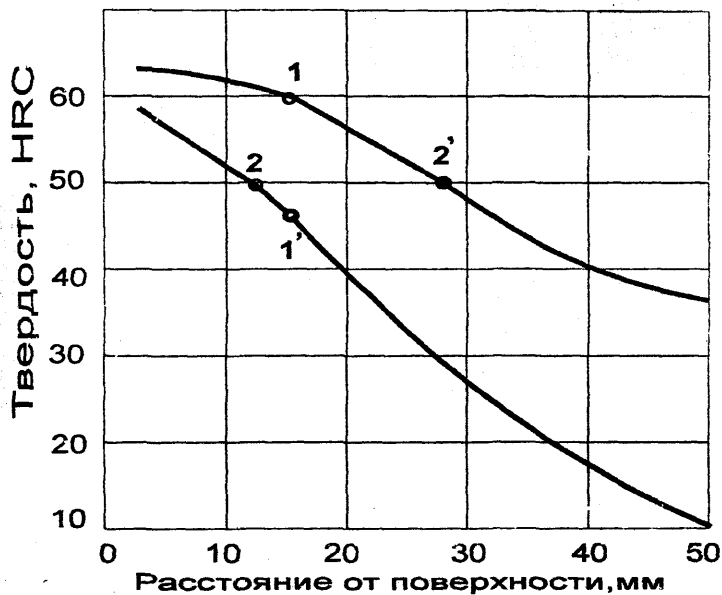


Рис. 2. Способы задания величины прокаливаемости

ется следующим образом  $\Pi \frac{50}{12,5; 27,5}$  (точки 2 и 2' на рис. 2);

г) по величине минимального значения твердости на разных расстояниях от охлаждаемого торца (точки 2 и 1' на рис. 2). Записывается это требование так:

$\Pi \frac{50}{12,5}, \Pi \frac{46}{15}$  Это означает, что на расстоянии от 12,5 до 15,0 мм от охлаждаемого водой торца одного и того же образца твердость должна изменяться в пределах от HRC 50 до HRC 46;

д) по величине максимального значения твердости на разных расстояниях от охлаждаемого водой торца. На рис. 2 это требование обозначено точками 1 и 2'.

Записывается это требование так:  $\Pi \frac{60}{15}, \Pi \frac{50}{27,5}$ . Это означает, что на одном и

том же образце на расстоянии от 15 до 27,5 мм от охлаждаемого торца твердость должна находиться в указанных пределах. Опыты показали, что основным критерием выбора стали по величине прокаливаемости является минимальное ее значение. В этом случае при закалке обеспечивается получение заданной твердости в наибольшем сечении детали.

### 7.5.2. Методические указания к определению прокаливаемости стальных изделий по данным торцевой пробы с помощью номограммы М.Е. Блантера

1. Часто бывает важно знать, какая структура и, следовательно, твердость будет получена в сердцевине закаливаемого изделия или каково наибольшее сечение детали, закаливающейся в данных условиях с образование мартенсита. Для решения таких задач М.Е. Блантером была предложена номограмма для определения прокаливаемости стали по данным торцевой пробы или по заданному значению верхней критической скорости заковки (рис. 3 и 4). При построении номограммы считалось, что теплоемкость и теплопроводность аустенита постоянна, поэтому определение прокаливаемости высоколегированных сталей по номограмме сопряжено с некоторой ошибкой.

2. Практически важным случаем является сквозная закалка изделия. Критическим диаметром называют диаметр наиболее толстого прутка, закаливающегося в данных условиях насквозь. Очевидно, что с увеличением охлаждающей способности жидкости и повышением устойчивости переохлажденного аустенита критический диаметр будет возрастать. Идеальным критическим диаметром называют диаметр наиболее массивного прутка, закаливающегося насквозь в гипотетической охлаждающей среде с бесконечно большим коэффициентом теплоотдачи от охлаждаемого тела.

3. С помощью номограммы М.Е. Блантера можно найти критический и идеальный критический диаметр по результатам торцевой заковки, используя шкалу I. В ряде случаев при закалке допускается получение того или иного количества немартенситных продуктов превращения в сердцевине изделия. Шкала II позволяет решать задачи, связанные с получением полумартенситной структуры, т.е. структуры, состоящей из 50% мартенсита и 50% немартенситных продуктов превращения. Решение такого рода задач облегчается тем, что твердость зоны с полумартенситной структурой зависит главным образом от содержания углерода (рис. 5).

Оценка прокаливаемости стали по номограмме М.Е. Блантера не связана с обязательным получением мартенситной или полумартенситной структуры. Использование шкалы II (на рис. 4) позволяет определить сечение тела определенной формы, закаливающегося с получением практически любой заданной твердости в сердцевине.

Ниже рассмотрены некоторые случаи применения номограммы М.Е.Блантера для решения практических задач.

Пример 1. Определить диаметр прутка из заданной стали, который при закалке в воде с температурой 20 °С может получить твердость в сердцевине 45 HRC.

Для решения задачи необходимо по данным торцевой пробы найти расстояние от закаливаемого торца до точки с заданной твердостью. Пусть это расстояние будет равно 7 мм. Найдя соответствующую точку на шкале II (рис. 4) и поступая, как указано на рис. 3 (пример 1), получаем, что искомый диаметр равен 30 мм.

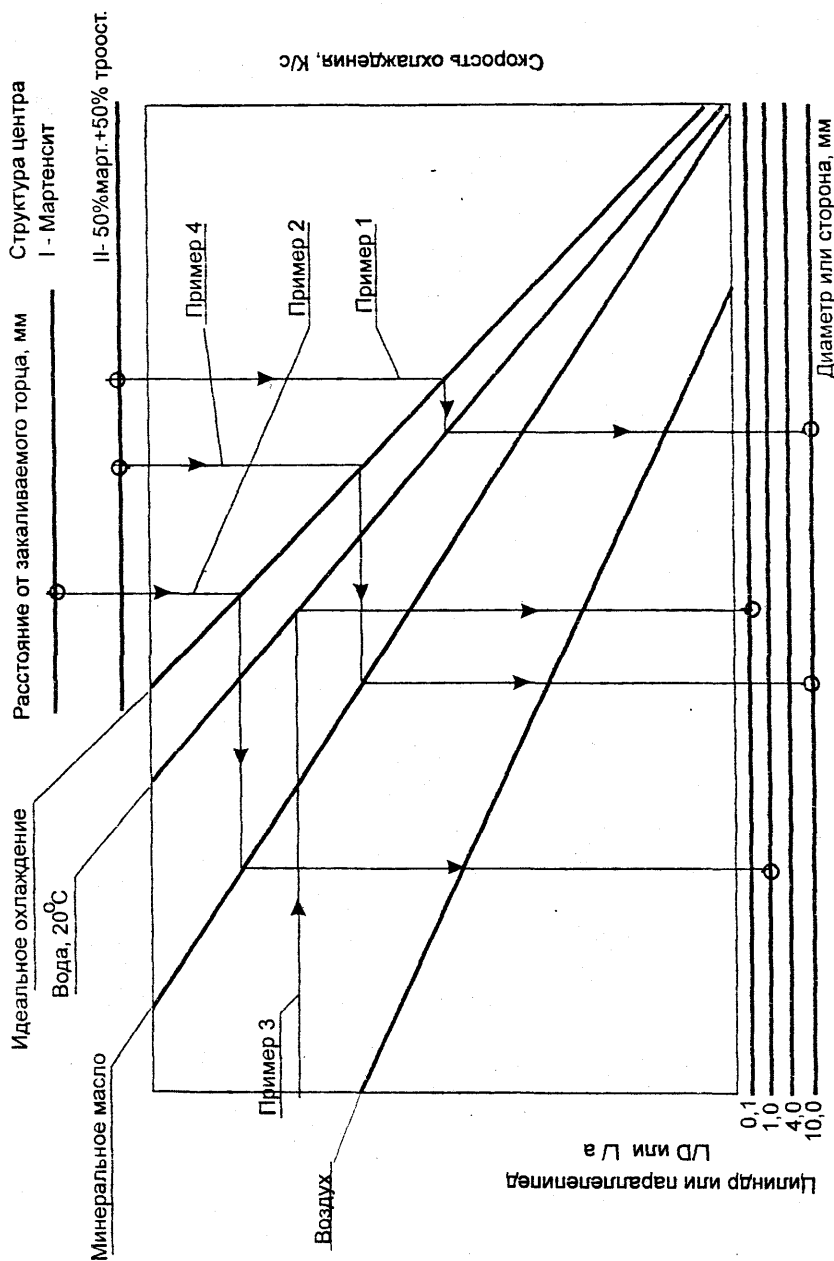


Рис. 3. Схема номограммы М.Е.Блантера и примеры пользования ею



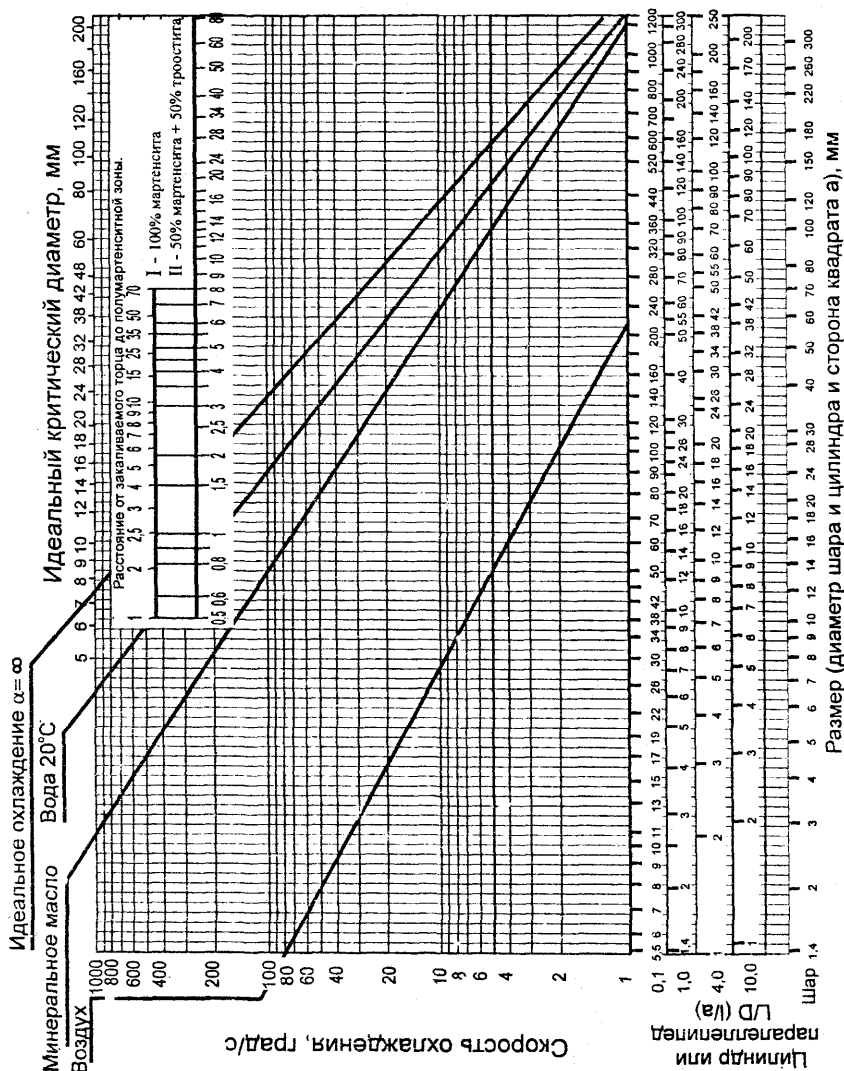


Рис. 4 Номограмма М.Е. Блантера для определения прокаливаемости по результатам торцевой закалки

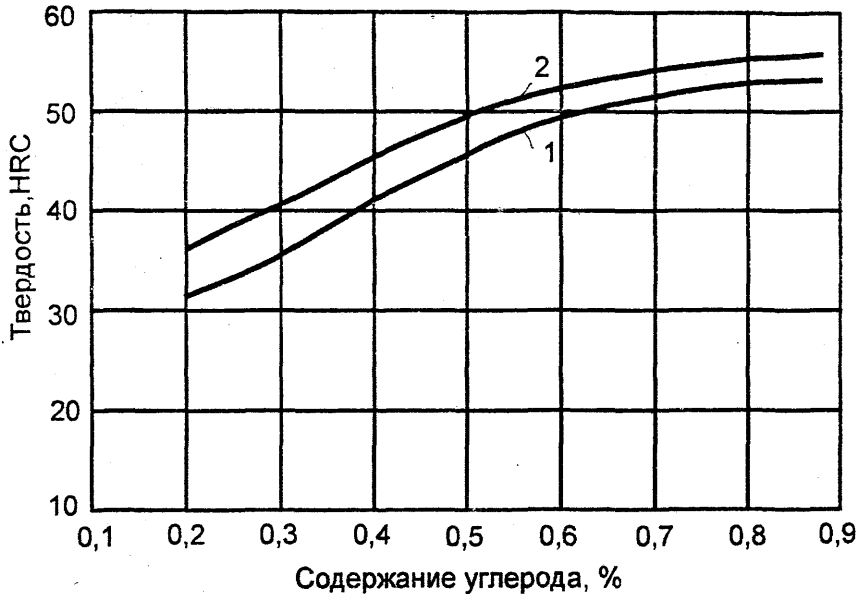


Рис. 5. Влияние углерода на твердость полумартенситной структуры конструкционных сталей: 1— углеродистая сталь; 2 — среднелегированная сталь

Пример 2. Определить размер куба, закаливающегося насквозь при охлаждении в масле.

Пусть по результатам торцевой пробы для данной стали известно, что мартенситная структура простирается на расстояние 5 мм от охлаждаемого торца. Найдя соответствующую точку на шкале I (рис. 4) и пользуясь схемой на рис. 3 (пример 2) находим:  $a=7,5$  мм.

Пример 3. Определить размер детали с отношением  $L/d=0,1$ , если верхняя критическая скорость заковки стали равна 140 К/с.

Находим заданное значение  $V_{вкз}$  на шкале «скорость охлаждения» (рис.4) и, в соответствии со схемой на рис. 3 (пример 3), получаем  $d=75$  мм.

Пример 4. Определить диаметр прутка из стали с 0,4%С, закаливающегося в масле с получением полумартенситной структуры в сердцевине.

На рис. 5 находим, что твердость зоны с полумартенситной структурой в стали с 0,4%С составляет 41 HRC. Пусть оказалось, что по данным торцевой пробы расстояние от водоохлаждаемой поверхности до точки с твердостью 41 HRC равно 5 мм. Тогда согласно рис. 3 и 4 находим  $d=13,5$  мм.

### 7.5.3. Методические указания к определению прокаливаемости стали по термокинетическим диаграммам распада переохлажденного аустенита

Установлено, что между термокинетической диаграммой превращений аустенита и кривой прокаливаемости стали, полученной при торцевой закалке, существует связь, обусловленная тем, что обе они получаются при непрерывном охлаждении стали.

С помощью термокинетической диаграммы можно определить продолжительность охлаждения, необходимую для получения той или иной структуры. Принято различать критическую продолжительность охлаждения, обеспечивающую: полную закалку на мартенсит  $K_m$ , закалку на полумартенситную структуру  $K_{50}$ , появление первых порций феррита  $K_f$ , полное превращение в перлитной области  $K_p$ .

В качестве критической продолжительности охлаждения при закалке принимают продолжительность охлаждения стали в интервале от 800 до 500 °C, так как эта величина практически определяет результат закалки. В табл. 13 приведены справочные данные по устойчивости переохлажденного аустенита некоторых конструкционных легированных сталей.

### 7.6. Контрольные вопросы

1. Что такое прокаливаемость?
2. Чем определяется прокаливаемость?
3. Укажите характер распределения твердости, ударной вязкости по сечению термически обработанных (закалка+высокий отпуск) изделий большого диаметра в случае прокаливаемости: а) сквозной; б) несквозной.
4. Какие существуют методы определения прокаливаемости?
5. В чем состоит сущность метода торцевой закалки для определения прокаливаемости сталей?
6. Укажите преимущества и недостатки этого способа, границы его использования.
7. Что такое полоса прокаливаемости?
8. Какое влияние оказывает охлаждающая среда на прокаливаемость?
9. Какие существуют способы воздействия на верхнюю критическую скорость закалки ( $V_{кз}$ ) ?
10. Какова связь прокаливаемости и:
  - а) содержания углерода в стали;
  - б) легирующих элементов в стали;
  - в) неметаллических включений;
  - г) температуры и длительности процесса аустенитизации;
  - д) НТМО (низкотемпературной термомеханической обработки)?

Значения  $K_M$ ;  $K_{50}$ ;  $K_\Phi$ ;  $K_n$  по данным работы [3]

Марка стали	$K_M$ , с	$K_{50}$ , с	$K_\Phi$ , с	$K_n$ , с
45	1,5	4	2,2	14
35X	8	40	50	230
35X2	11	42	50	500
40X	8	40	43	270
25XM	1,7	50	23	1 150
30XM	2,2	15	30	900
40XM	3,8	36	29	600
50XM	24	200	650	2 200
15XH	1	8,5	30	2 100
15X2H2	12	32	200	16 000
15XГ	1,4	14	13	770
35СГ	2,2	18	5	58
40СГ	1,4	10	14	30
70СГ	9,5	28	10	36
40ГФ	5	35	55	550
25XГФ	1,5	13	10	210
45XГФ	50	550	400	500
50XГФ	24	320	210	590
40XMФ	13	57	380	9 500
34XH2M	30	600	580	50 000
30X3B5Ф	21	34	4 300	23 000
30X3B8Ф	21	34	1 100	200 000
40X5CMФ	3 400	13 000	3 400	42 000
45XГМФ	40	230	800	90 000
50XГМФ	180	2 100	14 000	65 000

11. Сравните интенсивность влияния различных факторов на прокаливаемость.

12. Расположите в ряд по возрастающей прокаливаемости следующие стали: 08; ХВГ; У8; 20Р; 7ХФ; 18Х2Н4ВА; 60С2.

13. Как изменяется прокаливаемость заэвтектоидной стали при закалке с постоянной температуры 760...780 °С при увеличении содержания углерода?

14. Какая прокаливаемость будет у детали, если верхняя критическая скорость закалки будет больше фактической скорости охлаждения сердцевины, но меньше скорости охлаждения поверхности?

## Лабораторная работа № 8

### ОТЖИГ СТАЛИ

Данная работа посвящена отжигам II рода, осуществление которых возможно благодаря фазовым превращениям. Среди задач, решаемых с помощью отжигов II рода, следует отметить прежде всего следующие: смягчение структуры перед обработкой стали резанием и давлением, измельчение зерна литой или перегретой стали; уменьшение внутренних напряжений, подготовка структуры стали к окончательной термообработке.

В зависимости от типа сталей (по химическому составу, назначению, например) и требований, предъявляемых к ним, режим отжига может варьироваться. Различают полный и неполный отжиг, изотермический, отжиг на зернистый перлит, нормализацию и другие.

### ЧАСТЬ I. ОТЖИГ СТАЛИ НА ЗЕРНИСТЫЙ ПЕРЛИТ

Сфероидизирующий отжиг является основным видом предварительной термической обработки чаще для высокоуглеродистых инструментальных сталей. Материалы со структурой зернистого перлита имеют низкую твердость (не более 207...217 НВ для углеродистых сталей; 217...241 НВ для легированных сталей) и высокую обрабатываемость резанием. Созданные отжигом оптимальная форма, степень дисперсности и характер распределения карбидных частиц благоприятны для последующего структурообразования в процессе окончательной термообработки (закалки) инструментальных сталей.

Некоторые схемы отжига на зернистый перлит приведены на рис. 6.

#### 8.1.1. Цель работы

Изучить влияние сфероидизирующего отжига на микроструктуру и прочность высокоуглеродистых сталей.

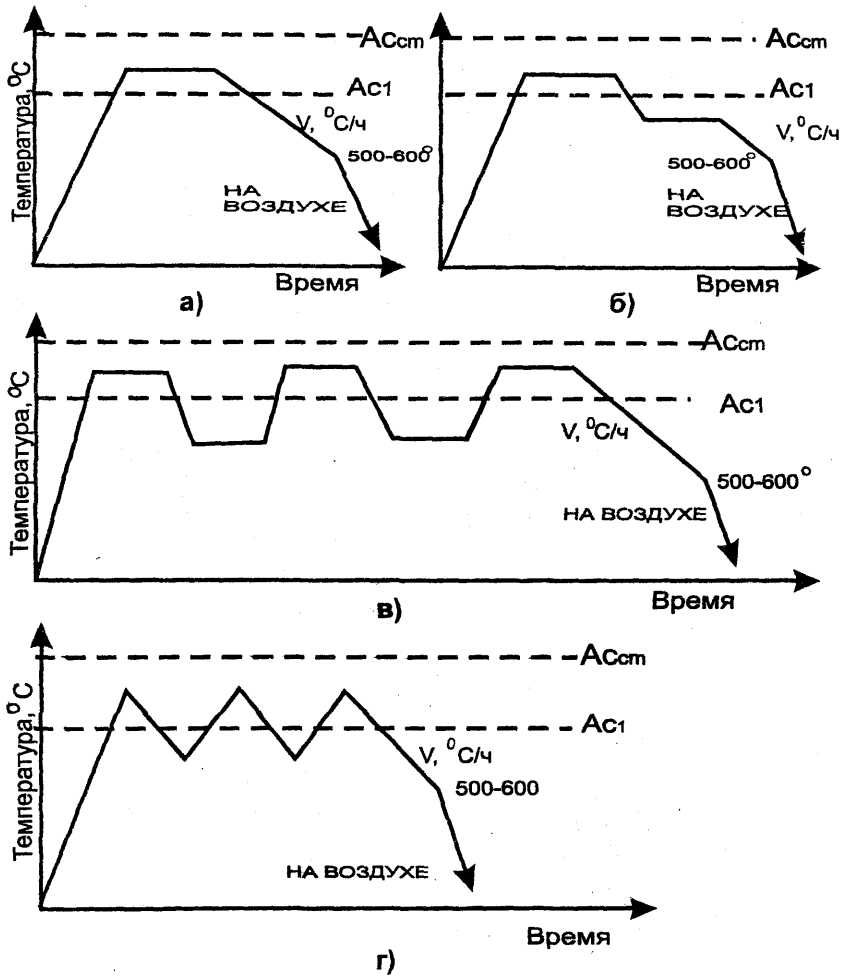


Рис. 6. Схемы сфероидизирующих отжигов инструментальных сталей:

- а) отжиг с непрерывным охлаждением;
- б) изотермический отжиг;
- в) циклический ступенчатый отжиг;
- г) циклический бесступенчатый отжиг.

### 8.1.2. Материал исследования

Стали марок У8; У10; У12; ШХ15.

Толщина образцов 10...12 мм.

### 8.1.3. Порядок выполнения работы

1. Выписать справочные данные о химическом составе и критических точках исследуемых сталей (табл. 14).
2. Зарисовать их диаграммы изотермического распада, подсчитать  $V_{ВКЗ}$  и  $V_{НКЗ}$ .
3. Замерить исходную твердость на приборе Роквелла по шкале HRB.
4. Сделать микрошлифы, протравить их в 4%-ном растворе  $HNO_3$  в этиловом спирте, посмотреть и зарисовать микроструктуру.
5. Провести отжиг образцов по режимам, указанным на рис. 7 и табл. 15.
6. Отожженные образцы зачистить для снятия обезуглероженного слоя, замерить их твердость на приборе Роквелла по шкале HRB, сделать микрошлифы, посмотреть и зарисовать микроструктуры, оценить их согласно шкале микроструктур отожженных инструментальных сталей (ГОСТ 1435-90).
7. Опытные данные занести в табл. 16.

Таблица 14

Химический состав, критические точки,  $V_{ВКЗ}$  и  $V_{НКЗ}$  исследуемых сталей

Мар-ка ста-ли	Химический состав стали, вес. %						Критические точки, °C			$V_{ВКЗ}$ , К/с	$V_{НКЗ}$ , К/с
	C	Mn	Si	Cr	S	P	Ac <sub>1</sub>	Ac <sub>3</sub>	Ac <sub>cm</sub>		

### 8.2.4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- 1) наименование и цель работы;
- 2) материал исследования;
- 3) порядок выполнения работы;
- 4) таблицы с химическим составом исследованных сталей, их критическими точками, подсчитанными  $V_{ВКЗ}$ ,  $V_{НКЗ}$  и опытными данными по твердости и микроструктуре;

5) выводы о влиянии исследованных режимов сфероидизирующего отжига на структуру и твердость изученных высокоуглеродистых сталей.

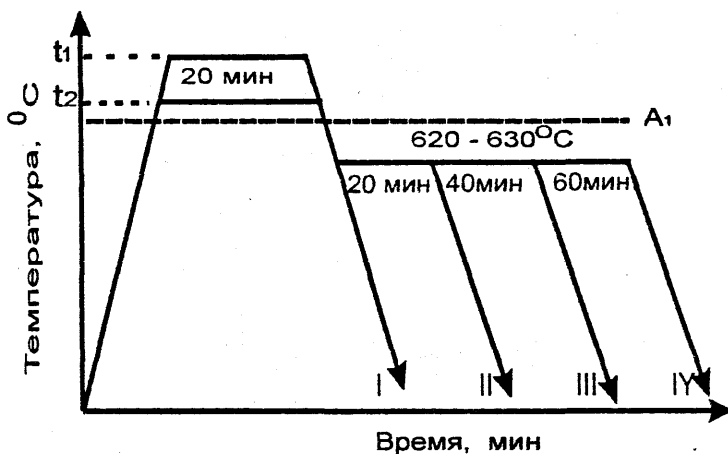


Рис. 7. Режимы отжига

Таблица 15

Температуры  $A_1$  и отжига ( $^{\circ}\text{C}$ ) сталей высокой твердости для получения структуры зернистого перлита

Марка стали	Критические точки, $^{\circ}\text{C}$		Температура нагрева, $^{\circ}\text{C}$	Изотермическая выдержка при $t^{\circ}\text{C}$
	$A_1$	$A_{cm}$		
У9...У10	725...730	800	740...750	600...650
У11...У13	725...730	820	750...780	620...660
11ХФ; В2Ф	735...745		750...790	670...700
Х; 9ХВГ; ХВГ; 9ХС; ХВСГ	740...770	880...940	770...780	670...720
12Х1	—	790...820	670...820	670...720
7ХГ2ВМ; 7ХГНМ	720...730		780...800	660...670



Зависимость твердости (HRB) и микроструктуры исследованной стали от режима отжига

Режим отжига			Температура отжига	
			$t_1=$	$t_2=$
Исходное (до отжига) состояние		твердость HRB		
		микроструктура		
Непрерывное охлаждение (режим I)		твердость HRB		
		микроструктура		
Дополнительная изотермическая выдержка при 620...630 °C	20 мин (режим II)	твердость HRB		
		микроструктура		
	40 мин (режим III)	твердость HRB		
		микроструктура		
	60 мин (режим IV)	твердость HRB		
		микроструктура		

## ЧАСТЬ II. ОТЖИГ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

### 8.2.1. Цель работы

Ознакомление с выбором температурно - временного режима термической обработки, позволяющей измельчить зерно, подготовить структуру к окончательной термообработке и для обработки резанием.

### 8.2.2. Материал исследования

Стали марок 45; 40ХНМ, предварительно перегретые при температуре 1050 °С в течение 30 минут.

### 8.2.3. Порядок выполнения работы

1. Выписать справочные данные о химическом составе и критических точках стали.

2. По диаграммам изотермического распада переохлажденного аустенита (см. приложение) рассчитать  $V_{ВКЗ}$  и  $V_{НКЗ}$ .

3. Замерить твердость образцов в исходном состоянии (HRB). Приготовить микрошлифы. Протравить их в 4%-ном растворе  $HNO_3$  в этиловом спирте. Определить балл зерна и охарактеризовать микроструктуру.

4. Образцы перегретой стали подвергнуть нагреву до температур:

а)  $Ac_3 > t_n > Ac_1$ ; б)  $Ac_3 + (30...50) ^\circ C$ ; в)  $Ac_3 + 100 ^\circ C$ . Время выдержки при температуре нагрева выбрать в соответствии с табл. 4. После нагрева образцы охладить на воздухе.

5. Отожженные образцы заточить на наждаке и замерить их твердость.

6. Приготовить микрошлифы, протравить их. Определить балл зерна и охарактеризовать микроструктуру.

7. Выбрать режимы термической обработки: а) для исправления структуры перегретой стали; б) для улучшения обрабатываемости резанием.

8. Сделать вывод, рассмотрев процессы, происходящие при нагреве и охлаждении и причины изменения структуры и свойств в результате термообработки.

### 8.2.4. Содержание отчета

Отчет по работе должен содержать:

- 1) наименование и цель лабораторной работы;
- 2) химический состав исследуемых сталей, их критические точки и диаграммы изотермического распада переохлажденного аустенита;
- 3) схематические рисунки микроструктур сталей, охлажденных от различных температур;

- 4) расчеты  $V_{ВКЗ}$ ,  $V_{НКЗ}$  и их сравнение с охлаждающей способностью среды;
- 5) таблицы с полученными результатами;
- 6) выбранные режимы термической обработки и их обоснование;
- 7) выводы по работе: о влиянии температуры и времени выдержки при температуре нагрева на размер зерна;
- 8) сравнительные характеристики для стали 45 и 40ХНМ.

Таблица 17

Влияние режима нормализации на микроструктуру и твердость стали 45

Вид термо-обработки	Температура нагрева, °С	Время выдержки, мин	Охлаждение	HRB	Микроструктура	
					Балл зерна	Характеристика
	Исходное состояние	—	—			
	750	20	на воздухе			
	840	20	на воздухе			
	950	20	на воздухе			
		40	на воздухе			
		60	на воздухе			

Таблица 18

Влияние режима нормализации на микроструктуру и твердость стали 40ХНМ

Вид термо-обработки	Температура нагрева, °С	Время выдержки, мин	Охлаждение	HRB	Микроструктура	
					Балл зерна	Характеристика
	Исходное состояние	—	—			
	750	20	на воздухе			
	840	20	на воздухе			
	950	20	на воздухе			
		40	на воздухе			
		60	на воздухе			

### 8.5. Контрольные вопросы

1. С какой целью отжигается прокат конструкционных сталей?
2. Покажите, пользуясь диаграммой распада переохлажденного аустенита, схемы полного и изотермического отжига, нормализации стали 40ХНМ.
3. Каким образом можно сократить продолжительность сфероидизирующего отжига заэвтектоидной стали?
4. Какова цель нормализации заэвтектоидных инструментальных сталей?
5. Что такое маятниковый отжиг?
6. Какой должна быть оптимальной структура отожженной инструментальной стали с точки зрения последующей термообработки (закалка+отпуск)?
7. Какие виды брака по микроструктуре могут встречаться в отожженной стали ХВГ?
8. Какое место занимают отжиги II рода (в том числе, нормализация) в технологической цепи изготовления изделия?
9. Как влияет дисперсность карбидов, полученных при отжиге, на поведение стали при последующей закалке?
10. Как выбираются температура и скорость охлаждения при отжиге стали У12ГА?
11. Как исправить брак (неоднородный крупнозернистый перлит), полученный при отжиге стали ШХ15?
12. Каким образом можно устранить карбидную сетку в стали ШХ6?
13. Как влияет легирование на температуру отжига заэвтектоидных сталей?
14. Почему стали, имеющие состав, близкий к эвтектоидному, отжигаются на зернистый перлит при более низких температурах по сравнению с высокоуглеродистыми сталями (табл. 15)?
15. Расскажите о превращениях, протекающих в стали У10 в процессе отжига по режиму, указанному в табл. 15.
16. Что изменится, если температуру отжига стали У10: а) повысить; б) понизить относительно указанной температуры в табл. 15?
17. Почему стали типа Х12М отжигаются на зернистый перлит при более высоких температурах, чем стали типа У10?
18. Как изменяется твердость отожженной стали 9ХС с увеличением балла микроструктуры по ГОСТу 1435-90?
19. В чем заключается отличие между отжигом I и II рода?
20. Какие виды отжига и с какой целью применяются для доэвтектоидных сталей?
21. Сталь 60 плохо обрабатывается резанием. Назначьте термообработку для улучшения технологических свойств.
22. Доэвтектоидная нелегированная или низколегированная сталь имеет крупное зерно. Как исправить структуру?

**КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ****Задание №1**

1. После закалки сталь 40ХНМ имела структуру феррит, мартенсит и остаточный аустенит. По какому режиму проводилась термическая обработка стали? Режим обработки схематически покажите на изотермической диаграмме распада переохлажденного аустенита.

2. Укажите изменения в диаграмме изотермического распада переохлажденного аустенита стали 50ХФ (приложение) в области диффузионного превращения в связи с ростом температуры аустенитизации от 880 до 1050 °С и объясните их причины.

3. Необходимо провести сфероидизирующий отжиг горячекатаных сталей: 7ХГ2ВМ; У12; ХВГ; 9ХС; У13; ХВ4; ХГ2М. Разбейте стали на садки, указав условие выполнения задания.

**Задание №2**

1. Сталь 20ХМ имеет следующие критические скорости охлаждения:

$V_B = 100 \text{ К/с}$ ;  $V_\Phi = 30 \text{ К/с}$ ;  $V_{\Phi\text{КС}} = 5 \text{ К/с}$ . Какую структуру можно получить в стали 20ХМ при охлаждении из аустенитной области в горячем масле ( $V_{\text{охл}} = 25 \text{ К/с}$ ) ?

2. Объясните, какие изменения в микроструктуре и свойствах следует ожидать при смене схемы отжига стали У12 от а) до б) (см. рис. 6).

3. Для изготовления рессор и пружин используется сталь 60С2А. Какой термообработке должно быть подвергнуто изделие с целью обеспечения высокого предела упругости и выносливости.

**Задание №3**

1. Как будут отличаться по структуре и свойствам стали 10 и 10ХСНД после охлаждения на воздухе. На основании анализа диаграмм изотермического распада переохлажденного аустенита укажите причины.

2. Возможна ли сквозная прокаливаемость цилиндра диаметром 54 мм, изготовленного из стали 40ХГТР, при закалке в масле?

3. Какая из нижеприведенных сталей будет более устойчива к перегреву: У12; П18; ХВГ?

**Задание № 4**

1. Эвтектоидная сталь имеет исходную структуру: а) пластинчатый перлит; б) зернистый перлит. В каком случае при последующем нагреве выше температуры  $A_{с1}$  сталь будет иметь более крупное зерно и почему?

- Изобразите графически зависимость твердости закаленных сталей 40; 40Г; 4Х5МФС от температуры отпуска и объясните.
- Сравните прокаливаемость сталей 12ХН3А и 12Х2Н4А.

### Задание № 5

- Укажите, для каких сталей ХВГ; 45; 60С2 и почему может использоваться нормализация в качестве предварительной термообработки перед деформацией и обработкой резанием? Заготовки имеют малые сечения.
- Какая из двух плавок стали 45Г2 будет более склонна к перегреву?

№ плав-ки	Содержание элементов в вес. %						
	C	Mn	Si	S	P	Al	N
1	0,50	2,00	0,28	0,02	0,03	0,02	0,0011
2	0,48	1,50	0,30	0,02	0,01	0,03	0,0015

- Сравните стали 37ХН3МА; 37ХНЗ по склонности к обратной отпускной хрупкости. Дайте объяснение.

### Задание № 6

- Укажите максимальное сечение изделия из стали 30ХГТ, в котором можно получить сквозную прокаливаемость.
- При каком режиме отпуска сталь 30ХН3А более склонна к обратной отпускной хрупкости: а) 650 °С, 2 ч; б) 650 °С, 2ч+500 °С, 10 ч?
- У какой из приведенных сталей после закалки от оптимальных температур больше остаточного аустенита: У10; ХВГ; Х13М?

### Задание № 7

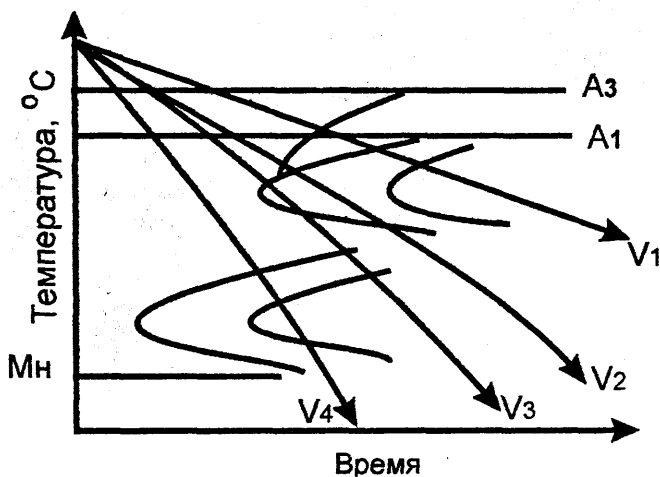
- При какой схеме отпуска: 650 °С, 2 ч или 650°С, 2 ч+500 °С, 10 ч следует ожидать отпускную хрупкость для стали 30ХН3МА?
- Какую сталь лучше выбрать для деталей, подвергающихся длительным высокотемпературным (930...950) °С нагревам (например при химико-термической обработке): 20; 20кп; 18ХГТ?
- Сталь 30; 30ХГС после закалки подвергают высокотемпературному отпуску. Какая сталь будет характеризоваться более высокими прочностными характеристиками?

## Задание № 8

1. В приложении приведена диаграмма изотермического распада переохлажденного аустенита стали 60С2. Как изменится минимальная устойчивость переохлажденного аустенита против распада, если температуру аустенитизации поднять от 780 до 1050 °С?
2. Изменится ли положение критических точек для стали 45, если переходить от печного нагрева детали к высокоскоростному индукционному?
3. Какая сталь имеет наибольшую закаливаемость: ШХ15; 30ХГС; 55С2ГФ?

## Задание № 9

1. Сталь Р18 после закалки от температур 980 и 1240 °С подвергается длительному отпуску при температуре 650 °С. Сравните твердость стали: а) после закалки; б) в отпущенном состоянии.
2. Какая структура формируется в стали, диаграмма изотермического распада которого приведена на рисунке при указанных режимах охлаждения.



3. Какую структуру можно получить в стали 40ХНМ при охлаждении из аустенитной области со скоростью  $V_{\text{охл}} = 0,1 \text{ К/с}$ ?

## Задание № 10

1. В каком случае сталь 30ХА с исходной структурой: а) сорбит отпуска; б) сорбит, полученный при нормализации от температур 850 °С, будет иметь более высокую ударную вязкость?

2. При увеличении температуры нагрева под закалку от 850 до 950 °С стали 47ГТ толщина закаленного слоя в сечении 50 мм оставалась практически неизменной и составляла 5 мм. На стали 45Г примерно с тем же химическим составом по основным элементам такое же повышение температуры закалки в указанном интервале увеличивает толщину закаленного слоя с 4,3 до 5,7 мм. Объясните причины этого явления.

3. Необходимо провести полный отжиг проката (прутков) в три приема (3 садки). Даны следующие стали: 35; 30ХГТ; 35Г2; 50ХГФА; 50; 20Х. Сгруппируйте стали в садки. Объясните, по какому принципу это можно сделать.

### Задание №11

1. Какую структуру должна иметь сталь ХВГ перед окончательной термообработкой: закалкой и отпуском?

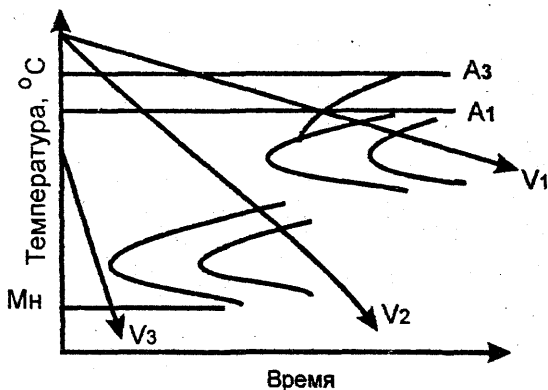
2. Провести сравнительную характеристику полос прокаливаемости конструкционных сталей, если перед испытаниями на прокаливаемость они подвергались нормализации: а) непосредственно после окончанияковки (температура окончанияковки 1150 °С); б) с повторного нагрева до температуры 1000 °С.

3. Для каких марок стали целесообразно применение изотермической закалки: 45; 45ХНМ? На диаграмме изотермического распада переохлажденного аустенита покажите режим проведения обработки.

### Задание № 12

1. Какие виды брака в доэвтектоидных сталях могут наблюдаться при полном отжиге?

2. Укажите какие структуры могут наблюдаться при указанных режимах обработки. К каким видам термической обработки можно отнести указанные режимы?





3. На завод поступили две плавки стали 60Г2 следующего химического состава:

№ плавки	Содержание элементов в вес. %						
	C	Mn	Si	S	P	Al	N
1	0,60	2,00	0,28	0,02	0,03	0,02	0,0011
2	0,62	1,50	0,30	0,02	0,01	0,03	0,0015

Какая из двух плавок будет иметь большую устойчивость переохлажденного аустенита и  $V_{BK3}$  ?

### Задание № 13

1. Какой вид смягчающей обработки необходимо назначить для горячего проката сталей 20Х2Н4А; 30ХН3А?
2. Какая из нижеприведенных сталей имеет наибольшую верхнюю критическую скорость закали (  $V_{BK3}$  ): 30; У8; 30ХГС; 20ХН3А?
3. К какому виду отпуска следует отнести отпуск при температуре 650 °С для закаленных сталей ХВГ; У13; Р12; 60С2?

### Задание № 14

1. Сталь 30ХГС выплавлена из высокочистых материалов и по обычной технологии. Покажите сравнительное изменение ударной вязкости от температуры отпуска.
2. Покажите схемы термообработки литой стали 35 и 18Х2Н4А (без первой ступени распада) для исправления структуры (крупное зерно и дендритная исходная структура).
3. При закалке стали У12 от температуры 840 °С в масле была получена низкая твердость. Чем это обусловлено и как следует поступить, чтобы получить твердость 60-63 HRC?

### Задание № 15

1. Сталь 30ХГС после закалки и низкого отпуска имеет пониженную твердость. Укажите возможные причины и способы устранения.
2. Стали 60 и 60ХНМ плохо обрабатываются резанием. Какой обработке следует подвергнуть заготовки из этих сталей с целью улучшения технологических свойств. Для какой стали обработка будет более продолжительна?

3. Какая сталь 35ХМ или 38ХМЮА будет иметь большую прокаливаемость при закалке от одной и той же температуры и почему?

Марка стали	Содержание элементов, вес. %						
	C	Mn	Cr	Mo	Al	S	P
38ХМ	0,35–0,42	0,35–0,65	0,90–1,30	0,20–0,30	—	≤0,0035	≤0,0035
38ХМЮА	0,35–0,42	0,40–0,70	1,35–1,65	0,15–0,25	0,70–1,10	≤0,0025	≤0,0025

### ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ

1. Виды брака, наблюдающиеся при отжиге инструментальных сталей на зернистый перлит, их причины и способы устранения.
2. Способы сокращения продолжительности сфероидизирующих отжигов.
3. Влияние легирующих элементов на параметры сфероидизирующего отжига.
4. Разновидности отжигов заэвтектоидных сталей, их цели, способы осуществления.
5. Разновидности отжигов доэвтектоидных сталей, их цели, способы осуществления.
6. Структурная наследственность и исправление перегретой структуры конструкционной стали.
7. Влияние легирующих элементов на прокаливаемость сталей.
8. Экспериментальные методы определения прокаливаемости конструкционных сталей.
9. Роль изотермических, термокинетических и ССТ диаграмм распада переохлажденного аустенита при определении прокаливаемости.
10. Способы определения прокаливаемости.
11. Примеси в сталях и структурная наследственность.
12. Вторичное твердение в сталях.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Курдюмов Г.В. Явления закалки и отпуска стали. – М.: Металлургиздат, 1960. – 60 с.
2. Меськин В.С. Основы легирования стали. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1964. – 684 с.
3. Качанов Н.Н. Прокаливаемость стали. – М.: Металлургия, 1978. – 192 с.
4. Винокур Б.Б., Пилющенко В.Л. Прокаливаемость конструкционных сталей. – Киев: Наукова думка, 1970. – 108 с.

5. Тылкин М.А. Справочник термиста ремонтной службы. – М.: Metallurgiya, 1981.–648 с.
6. Попова Л.Е., Попов А.А. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета раствора в сплавах титана: Справочник термиста. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Metallurgiya, 1991. –503 с.
7. Стали и сплавы. Марочник: Справочник / В.Г. Сорокин, М.А. Гервасьев, В.С. Палеев и др.; Под ред. В.Г. Сорокина, М.А. Гервасьева.– М.: Интернет инжиниринг, 2003.– 608 с.
8. Журавлева В.В., Журавлев Л.Г. Прокаливаемость и закаливаемость стали. Методы расчета прокаливаемости: Методические указания к лабораторной работе / Под ред. М.М. Штейнберга. – Челябинск: ЧПИ, 1980.–25 с.
9. Смирнов М.А., Счастливец В.М., Журавлев Л.Г. Основы термической обработки стали.– Екатеринбург: УрО РАН, 1999.– 495 с.
10. Легирование машиностроительной стали / Б.Б. Винокур, Б.Н. Бейнисович, А.Г. Геллер, М.А. Натансон. – М: Metallurgiya, 1977.–199 с.
11. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Metallurgiya, 1975. –584 с.
12. Технология термической обработки стали / Р. Бернст, З. Бемер, Г. Дитрих и др.: Пер. с нем. Б.Е. Левина; Под ред. М.Л. Бернштейна. – М.: Metallurgiya 1981. – 607 с.
13. Новиков И.И. Теория термической обработки металлов: Учебник для вузов. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Metallurgiya, 1986.–480 с.
14. Журавлев В.Н., Николаева О.И. Машиностроительные стали: Справочник.– 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1981. – 391 с.
15. Геллер Ю.А., Рахштадт Н.Г. Материаловедение. Методы анализа, лабораторные работы и задачи. – М.: Metallurgiya, 1984.– 374 с.
16. Физическое материаловедение. Т.2. Фазовые превращения в металлах и сплавах и сплавы с особыми свойствами / Пер. с англ. 3-е изд., перераб. и доп.; Под ред. Р.У. Кана. – М.: Metallurgiya, 1987.– 564 с.
17. Металловедение и термическая обработка. Т.2. Основы термической обработки: Справ. изд. – 3-е изд., перераб. и доп. / Под ред. М.Л. Бернштейна, А.Г. Рахштадта. – М.: Metallurgiya, 1983.–368 с.
18. Склюев П.В. Формулы для расчета температур превращений аустенита // МиТОМ. – 1967. – № 3. – С. 80.
19. Винокур Б.Б., Пилющенко В.Л., Касаткин О.Г. Структура конструкционной стали. – М.: Metallurgiya, 1983. – 184 с.
20. Hchr В.-Arhiv d Eisehhtutenwesen, 1955, 5, 26.
21. Ануриев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1. – М.: Машиностроение, 2001. – 920 с.
22. Смирнов М.А., Счастливец В.М., Журавлев Л.Г. Основы термической обработки стали: Учебное пособие / 0-75. – М.: Наука и технологии, 2002. – 519 с.

23. Счастливцев В.М., Кутьин А.Б., Смирнов М.А. Исправление структуры и изломов перегретой конструкционной стали. – Екатеринбург: УрО РАН, 2003. – 190 с.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица 19

## Химический состав и критические точки сталей

Марка стали	Химический состав, вес. %								Критические точки стали, °C	
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Другие элементы	S	P	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub> (или A <sub>cm</sub> )
15	0,12–0,19	0,35–0,65	0,17–0,37	–	–	–	≤0,040	≤0,040	725	870
20	0,17–0,24	0,35–0,65	0,17–0,37	≤0,25	≤0,25	–	≤0,040	≤0,040	735	850
30	0,27–0,35	0,50–0,80	0,17–0,37	≤0,25	≤0,30	–	≤0,035	≤0,035	730	820
35	0,32–0,40	0,50–0,80	0,17–0,37	≤0,25	≤0,25	–	≤0,040	≤0,040	720	800
40	0,37–0,45	0,50–0,80	0,17–0,37	≤0,25	≤0,25	–	≤0,040	≤0,040	720	770
45	0,42–0,50	0,50–0,80	0,17–0,37	≤0,25	≤0,25	–	≤0,040	≤0,040	735	785
50	0,47–0,55	0,50–0,80	0,17–0,37	≤0,25	≤0,25	–	≤0,040	≤0,035	725	760
55	0,52–0,60	0,50–0,80	0,17–0,37	≤0,25	≤0,25	–	≤0,040	≤0,035	725	755
65	0,62–0,70	0,50–0,80	0,17–0,37	≤0,25	≤0,25	–	≤0,040	≤0,035	720	743
У8	0,77–0,85	0,50–0,80	0,17–0,37	≤0,25	≤0,25	–	≤0,040	≤0,035	730	–
У12	1,15–1,24	0,15–0,30	0,15–0,30	≤0,15	≤0,25	–	≤0,030	≤0,035	730	750
ШХ15	0,95–1,05	0,20–0,40	0,17–0,37	1,30–1,65	≤0,30	–	≤0,020	≤0,027	740	870

15X	0,12–0,17	0,40–0,70	0,17–0,37	0,70–1,00	≤0,30	–	≤0,035	≤0,035	735	870
12XН3А	0,09–0,16	0,30–0,60	0,17–0,37	0,60–0,90	2,75–3,15	–	≤0,025	≤0,025	715	773
12X2Н4А	0,09–0,15	0,30–0,60	0,17–0,37	1,25–1,65	3,25–3,65	–	≤0,025	≤0,025	710	780
18ХГТ	0,17–0,23	0,80–1,10	0,17–0,37	1,00–1,30	–	Ti 0,03–0,09	≤0,035	≤0,035	740	925
15ХГМ	0,12–0,18	0,90–1,20	0,17–0,37	0,70–1,00	–	Mo 0,20–0,30	≤0,035	≤0,035	735	920
18X2H4A	0,14–0,20	0,25–0,55	0,17–0,37	1,35–1,64	4,00–4,40	–	≤0,025	≤0,025	700	810
20X	0,17–0,23	0,50–0,80	0,17–0,37	0,70–1,00	≤0,30	–	≤0,035	≤0,035	765	830
20XГРА	0,18–0,24	0,70–1,00	–	0,70–1,10	≤0,30	B 0,001–0,005	≤0,025	≤0,025	735	835
20XН3А	0,17–0,24	0,30–0,60	0,17–0,37	0,60–0,90	2,75–3,15	–	≤0,025	≤0,025	700	760
20XГНР	0,16–0,23	0,70–1,00	0,17–0,37	0,80–1,10	0,80–1,10	B 0,001–0,005	≤0,035	≤0,035	730	825
25ХГМ	0,23–0,29	0,90–1,20	0,17–0,37	0,90–1,20	–	Mo 0,20–0,30	≤0,035	≤0,035	735	800
25X2ГНТА	0,22–0,28	0,80–1,10	0,17–0,37	1,15–1,75	0,40–0,70	Ti 0,03–0,09	≤0,025	≤0,025	710	760
30XA	0,24–0,32	0,50–0,80	0,17–0,37	0,80–1,10	≤0,30	–	≤0,025	≤0,025	740	815

Марка стали	Химический состав, вес. %								Критические точки стали, °C	
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Другие элементы	S	P	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub> (или A <sub>cm</sub> )
30ХМА	0,26–0,33	0,40–0,80	0,17–0,37	0,80–1,10	≤0,30	Mo 0,15–0,25	≤0,025	≤0,025	757	807
30ХГСА	0,28–0,34	0,80–1,10	0,90–1,20	0,80–1,10	≤0,30	–	≤0,025	≤0,025	760	830
35Г2	0,26–0,35	1,40–1,80	0,17–0,37	≤0,30	≤0,25	–	≤0,035	≤0,035	718	804
35ХМА	0,26–0,34	0,40–0,70	0,17–0,37	0,80–1,10	≤0,30	Mo 0,15–0,25	≤0,025	≤0,025	755	800
35ХРА	0,31–0,39	0,50–0,80	0,17–0,37	1,00–1,30	–	B ≤0,005	≤0,025	≤0,025	740	800
30ХГТ	0,24–0,32	0,80–1,00	0,17–0,37	1,00–1,30	–	Ti 0,03–0,09	≤0,035	≤0,035	735	790
40ХА	0,36–0,44	0,50–0,90	0,17–0,37	0,80–1,10	≤0,30	–	≤0,025	≤0,025	743	775
40Р	0,37–0,45	0,50–0,80	0,17–0,37	≤0,30	≤0,30	B 0,002–0,005	≤0,035	≤0,035	720	770
40Г2	0,36–0,44	1,40–1,80	0,17–0,37	–	–	–	≤0,025	≤0,025	720	745
40ХНА	0,36–0,44	0,50–0,80	0,17–0,37	0,45–0,75	1,00–1,40	–	≤0,025	≤0,025	725	780

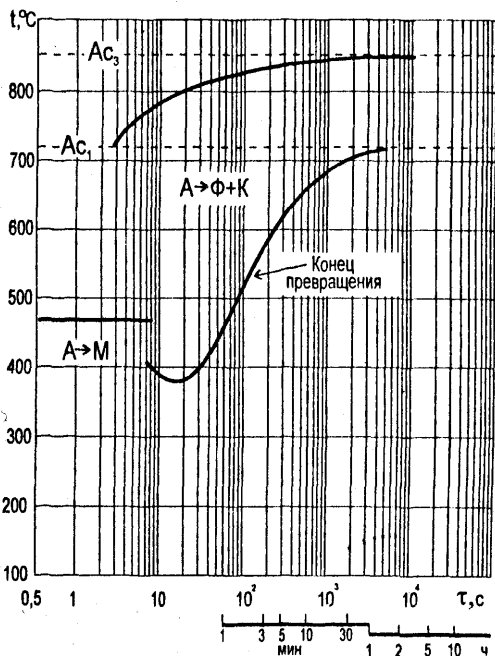
54

40ХФА	0,37–0,44	0,50–0,80	0,17–0,37	0,80–1,10	≤0,30	V 0,10–0,18	≤0,025	≤0,025	754	790
38ХСА	0,34–0,42	0,30–0,60	1,00–1,40	1,30–1,60	–	–	≤0,025	≤0,025	763	810
40ХГТР	0,38–0,45	0,70–1,00	0,17–0,37	0,80–1,10	–	Ti 0,03–0,09 B ≤ 0,005	≤0,035	≤0,035	730	790
45Х	0,41–0,49	0,50–0,80	0,17–0,37	0,80–1,10	≤0,30	–	≤0,035	≤0,035	735	770
50Г	0,47–0,56	0,70–1,00	0,17–0,37	≤0,25	–	–	≤0,040	≤0,040	720	760
50ХГФА	0,48–0,55	0,80–1,00	0,17–0,37	0,95–1,20	–	V 0,15–0,25	≤0,025	≤0,025	720	760
55С2	0,52–0,60	0,60–0,90	1,50–2,00	≤0,30	≤0,25	–	≤0,035	≤0,035	755	810
50Х	0,46–0,54	0,50–0,80	0,17–0,37	0,80–1,10	≤0,30	–	≤0,035	≤0,035	720	770
65Г	0,62–0,70	0,90–1,20	0,17–0,37	≤0,25	≤0,25	–	≤0,035	≤0,035	726	765
60С2	0,57–0,65	0,60–0,90	1,50–2,00	≤0,30	≤0,25	–	≤0,035	≤0,035	770	820

55

## Сталь 20кп [6]

C	Si	Mn	S	P	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>H</sub>	T <sub>H</sub>
0,18	Сл.	0,49	0,03	0,03	715	855	470	910



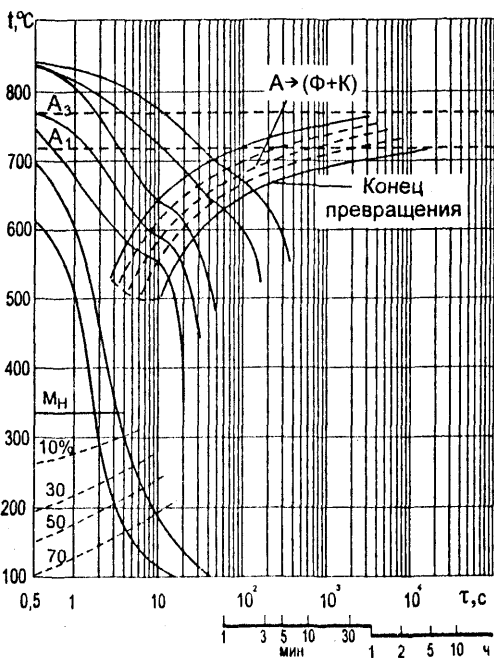
Диаграммы изотермического распада переохлажденного аустенита сталей

56

Приложение 2

## Сталь 40 [6]

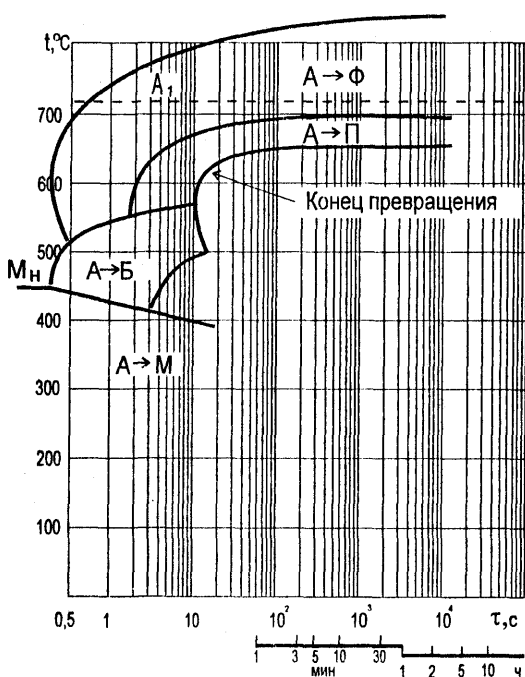
C	Si	Mn	Cr	Ni	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>H</sub>	T <sub>H</sub>
0,43	0,24	0,68	0,13	0,25	720	770	340	850



57

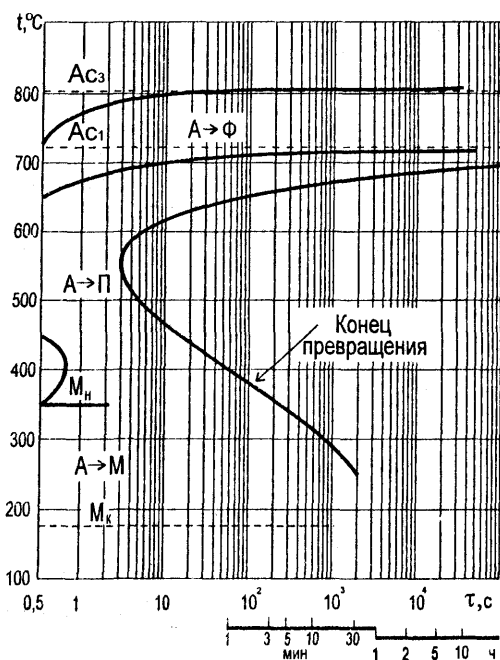
## Сталь 15 [6]

C	Si	Mn	Cr	Cu	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>н</sub>	T <sub>н</sub>
0,15	0,26	0,58	0,07	0,2	725	870	450	920



## Сталь 35 [6]

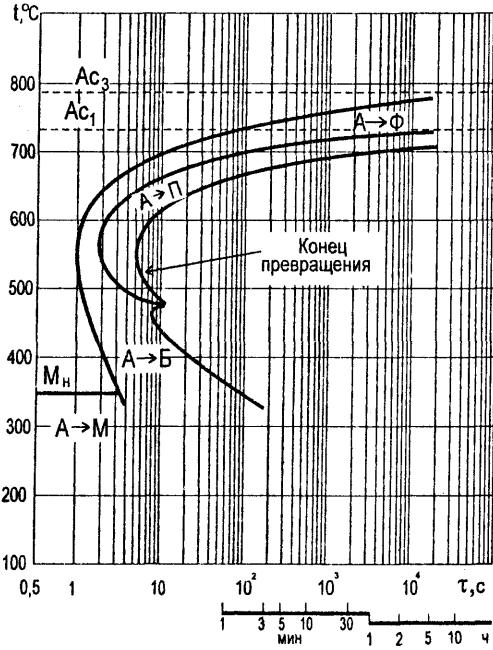
C	Si	Mn	Cr	Ni	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>н</sub>	T <sub>н</sub>
0,35	—	0,37	—	—	720	800	350	840





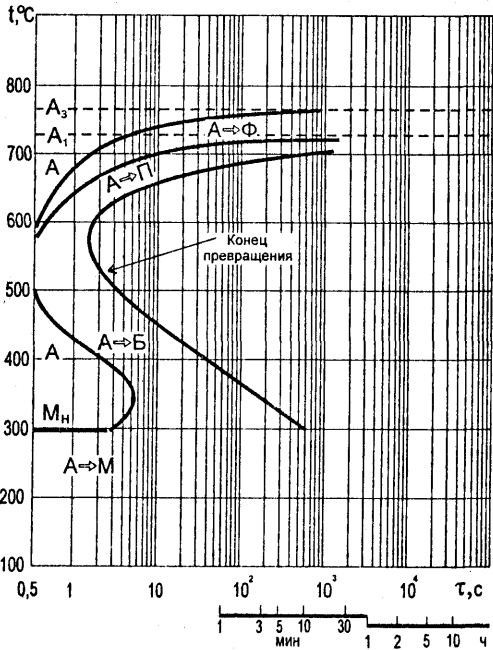
Сталь 45 [6]

C	Si	Mn	Cr	V	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
0,44	0,22	0,66	0,15	0,02	735	785	350	880



Сталь 50 [6]

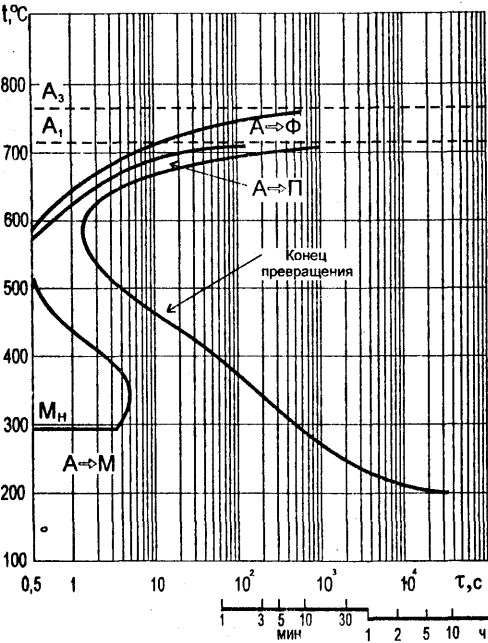
C	Si	Mn	S	P	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
0,54	0,30	0,46	0,02	0,02	730	765	290	910



58

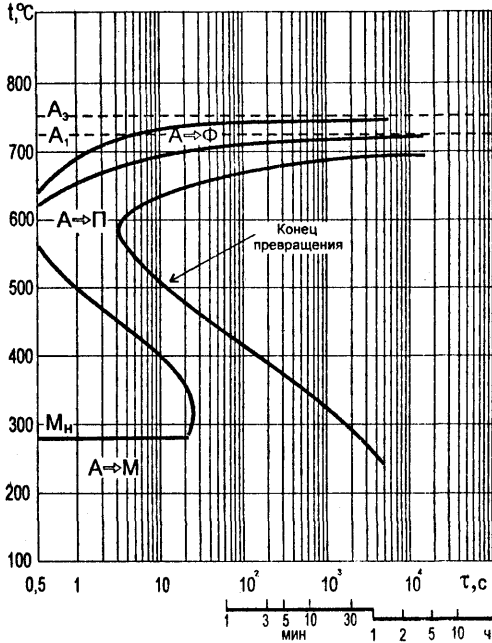
Сталь 55 [5]

C	Si	Mn	Cr	Ni	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
0,54	-	0,46	-	-	720	760	290	870



Сталь 65 [5]

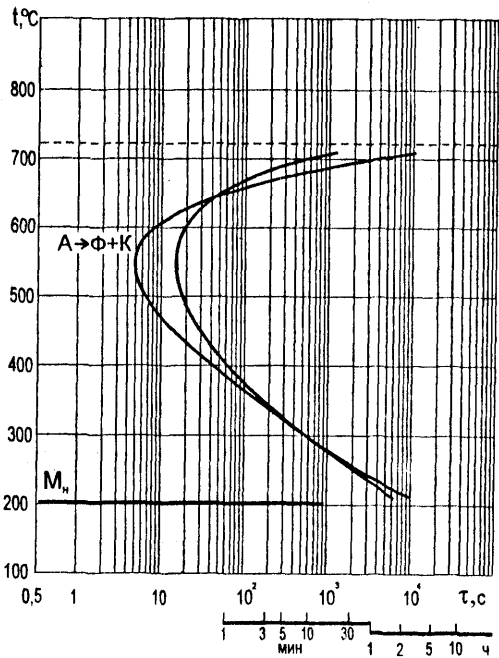
C	Si	Mn	Cr	Ti	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
0,64	0,22	0,68	-	-	720	740	280	800



59

Сталь У12 [5]

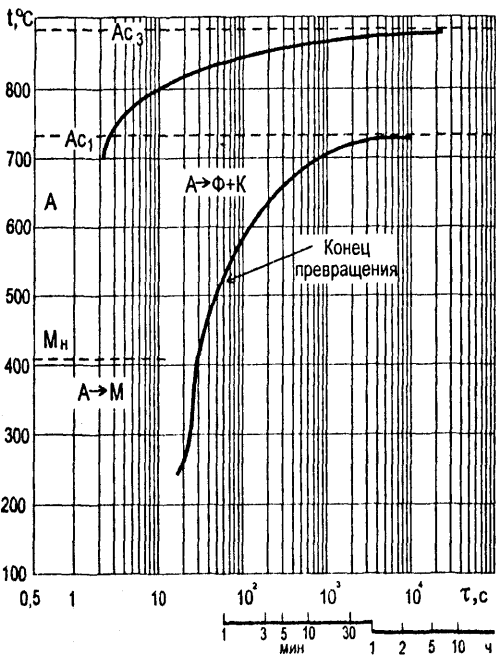
C	Si	Mn	Cr	Cu	A <sub>1</sub>	A <sub>cm</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
1,17	0,18	0,36	0,26	0,2	720	870	200	820



60

Сталь 15X [6]

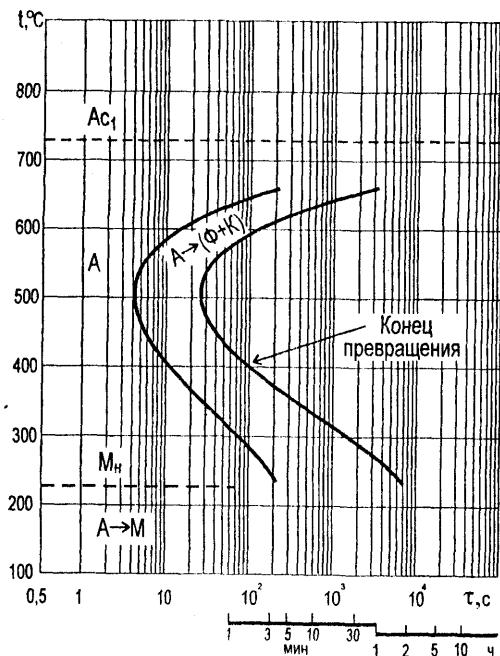
C	Si	Mn	Cr	Ni	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
0,13	0,13	0,03	0,74	0,18	735	880	410	915



61

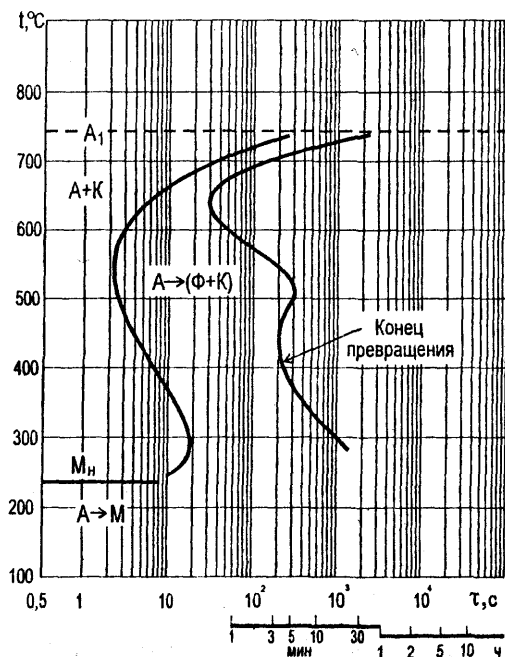
## Сталь У8 [5]

C	Si	Mn	Cr	Ni	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
0,82	0,21	0,50	0,10	0,20	730	—	230	850



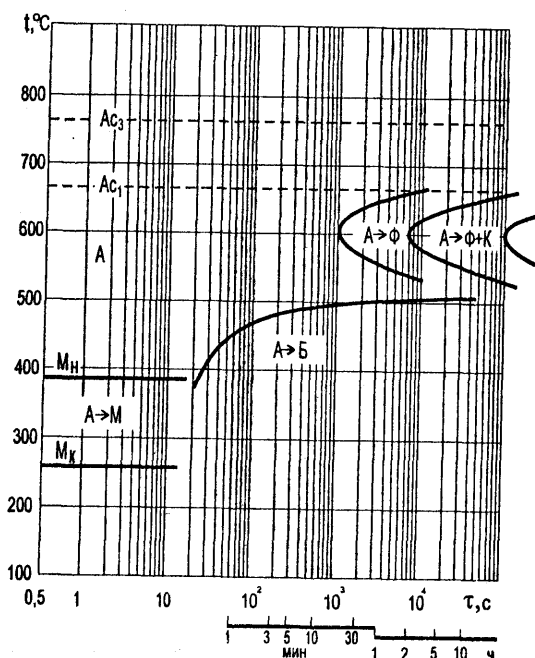
## Сталь ШХ15 [5]

C	Si	Mn	Cr	Ni	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
1,02	0,33	0,36	1,41	0,2	740	—	240	840



## Сталь 12Х2Н4А [5]

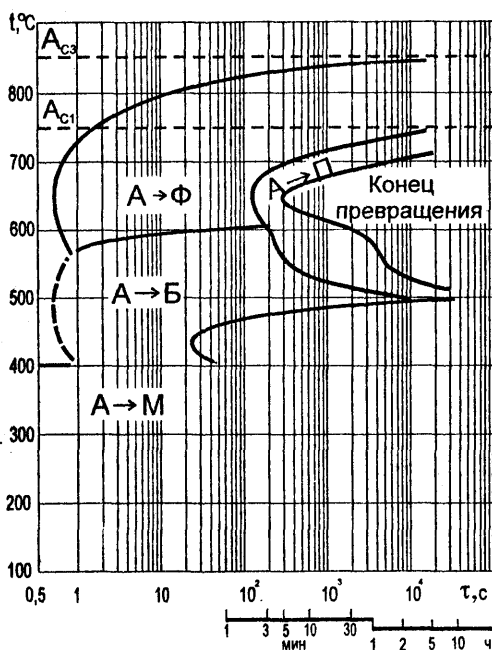
C	Si	Mn	Cr	Ni	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
0,15	0,20	0,45	1,54	4,03	660	760	390	900



62

## Сталь 15ХГМ [5]

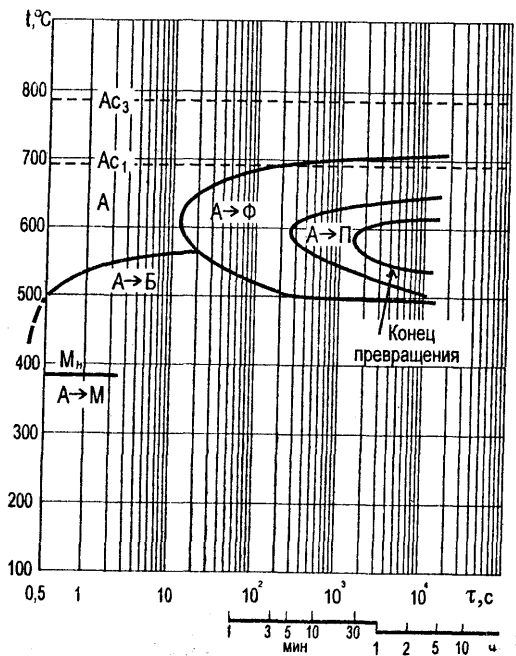
C	Si	Mn	Cr	Ni	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
0,16	0,22	1,12	0,99	0,12	750	845	400	870



63

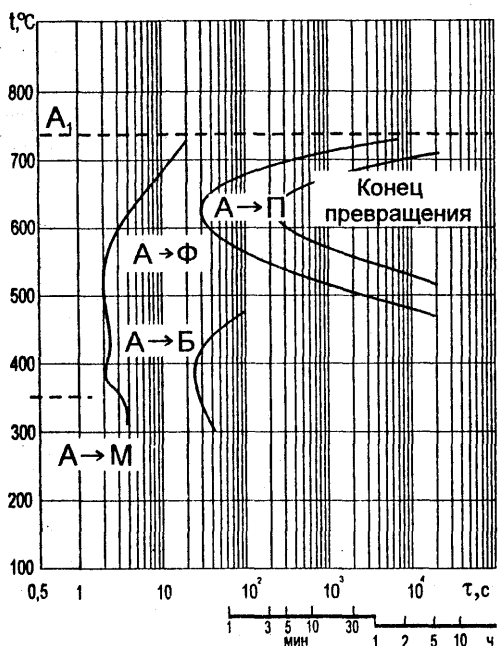
## Сталь 12ХН3А [5]

C	Si	Mn	Cr	Ni	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
0,14	0,28	0,36	0,68	3,18	690	780	380	840



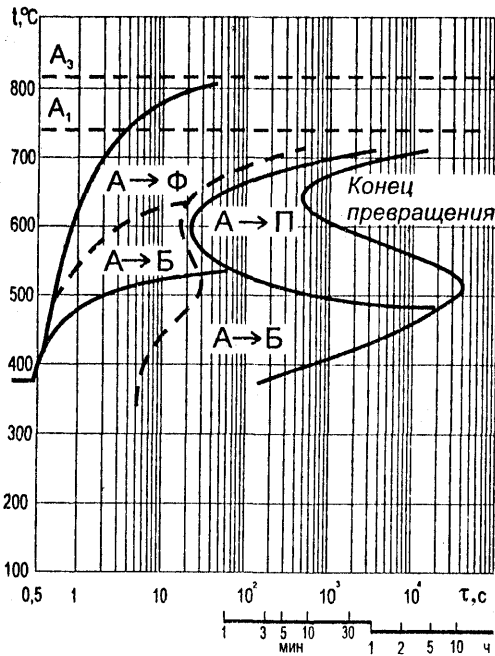
## Сталь 18Х Г Т [5]

C	Si	Mn	Cr	Cu	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
Состав в пределах марки					735	820	—	900



## Сталь 20Х [6]

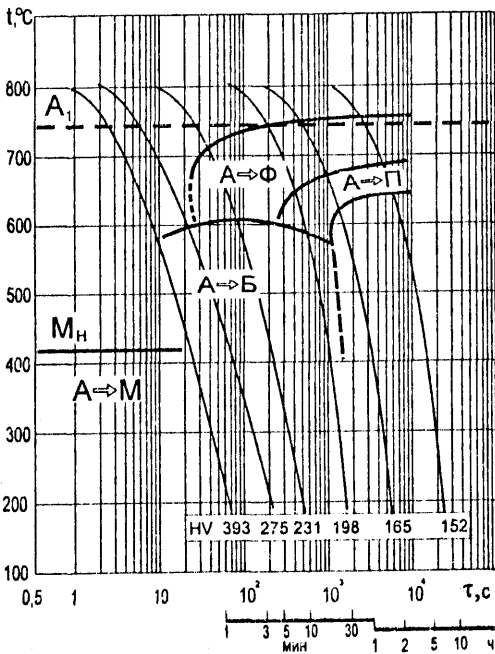
C	Si	Mn	Cr	Ni	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
0,20	0,30	0,72	0,79	0,27	740	815	390	850



64

## Сталь 20ХГНР [6]

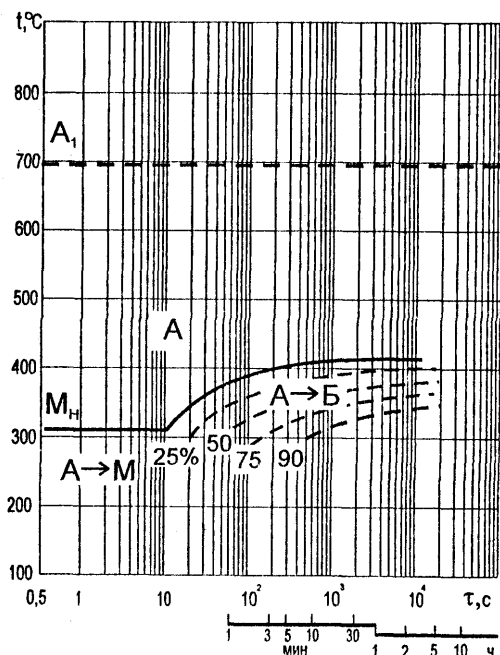
C	Si	Mn	Cr	B	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
0,19	0,67	1,24	0,70	0,003	740	900	420	920



65

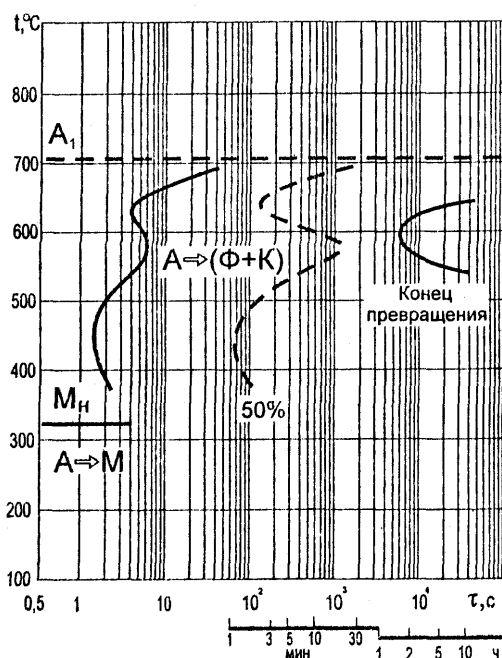
## Сталь 18Х2Н4А [5]

C	Si	Cr	Ni	W	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>H</sub>	T <sub>H</sub>
0,16	0,19	1,51	4,3	0,86	695	800	310	900



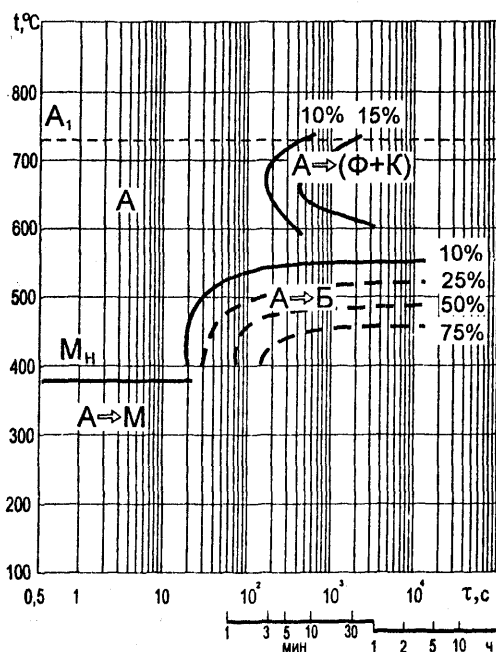
## Сталь 20ХН3А [5]

C	Si	Mn	Cr	Ni	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>H</sub>	T <sub>H</sub>
В пределах марки					710	790	340	800



## Сталь 25Х2ГНТА [6]

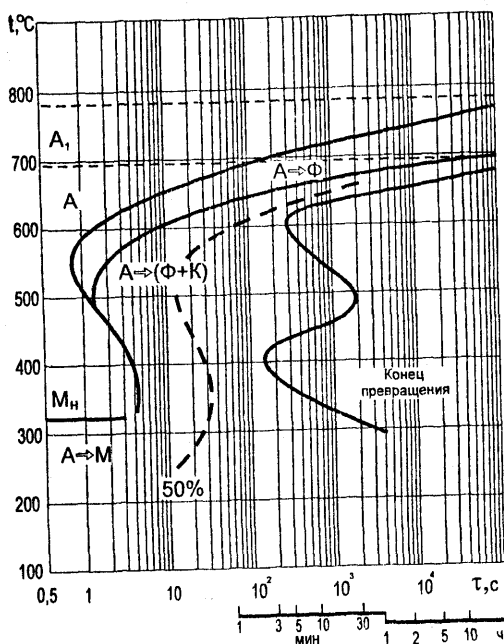
C	Mn	Cr	Ni	Mo	Nb	Ti	A <sub>1</sub>	T <sub>n</sub>
0,28	1,43	0,76	0,76	0,20	0,03	0,03	730	—



66

## Сталь 35Г2 [6]

C	Si	Mn	Cr	Ni	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
0,35	—	1,88	—	—	695	780	325	840

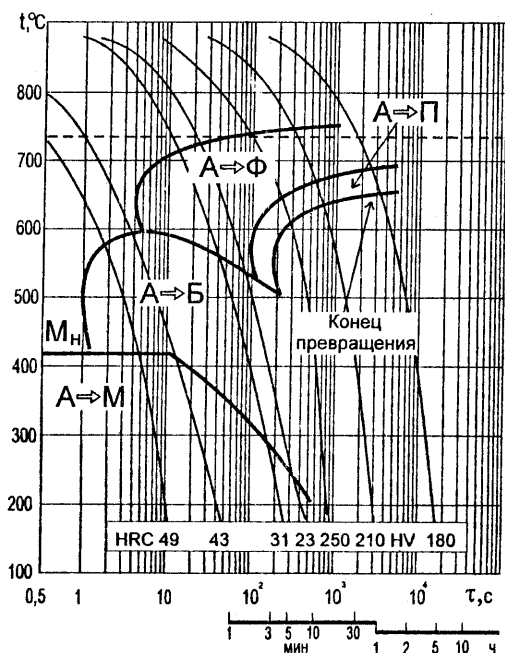


67



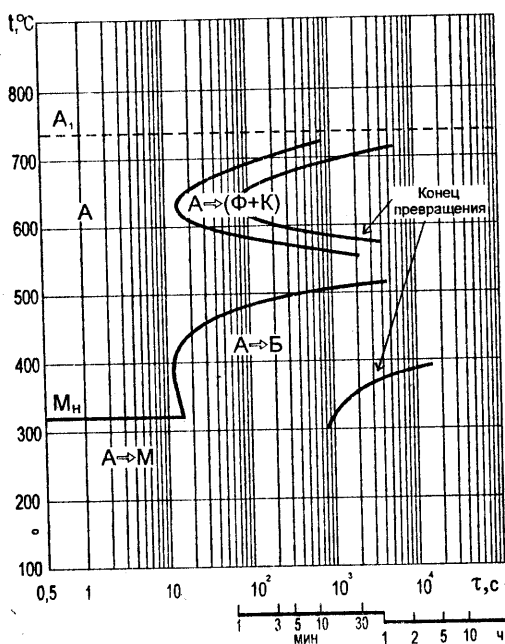
## Сталь 25ХГМ [6]

C	Si	Mn	Cr	V	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>н</sub>	T <sub>н</sub>
0,24	0,21	1,08	0,79	0,10	735	820	420	880



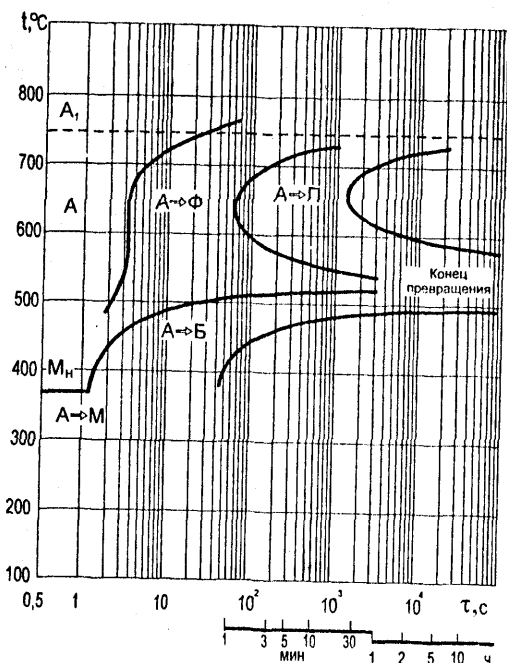
## Сталь 30ХГСА [5]

C	Si	Mn	Cr	Ni	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>н</sub>	T <sub>н</sub>
0,29	1,05	0,98	0,91	0,13	740	830	320	900



## Сталь 30ХМА [6]

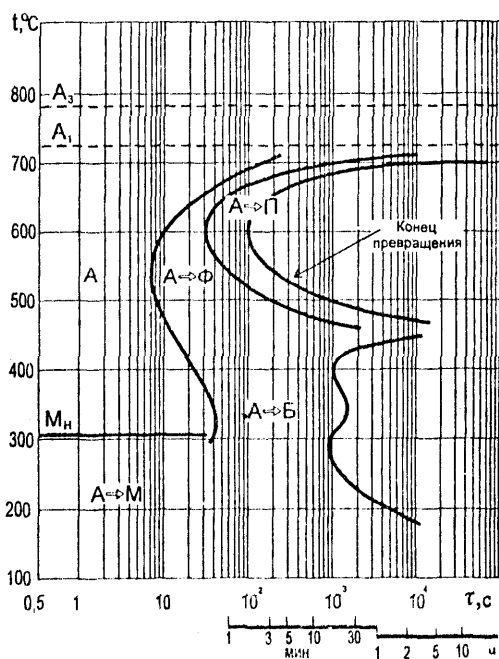
C	Si	Mn	Cr	Mo	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
0,25	0,21	0,68	1,10	0,22	750	830	365	880



89

## Сталь 30ХГТ [6]

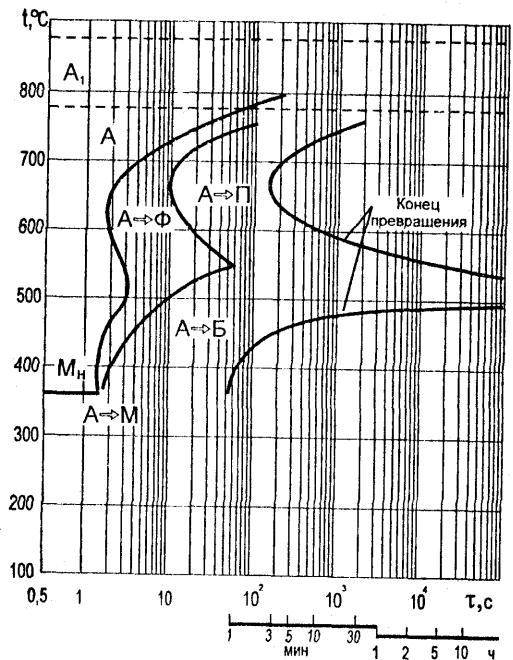
C	Si	Mn	Cr	Ti	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
Состав в пределах марки					730	780	310	900



69

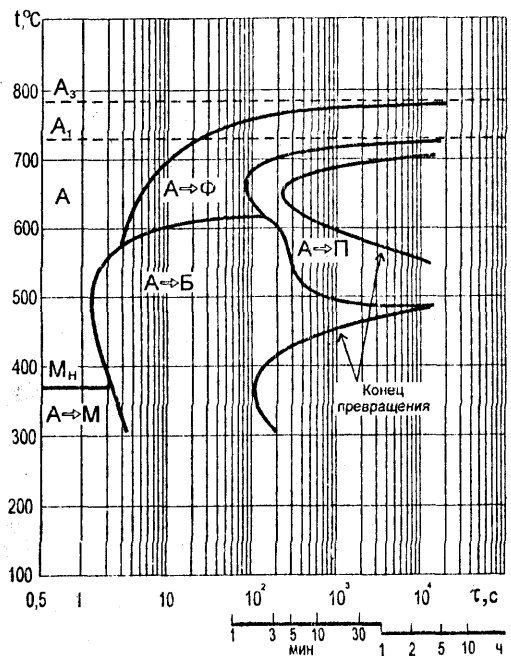
## Сталь 30ХА [6]

C	Si	Mn	Cr	Ni	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>H</sub>	T <sub>H</sub>
0,30	0,25	0,50	1,28	0,09	770	820	360	875



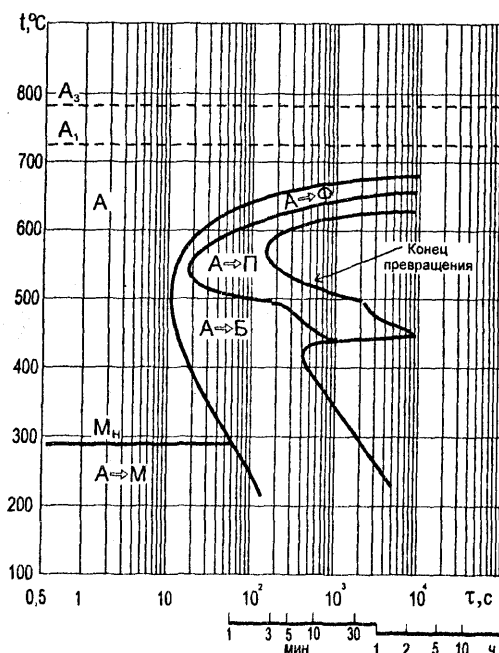
## Сталь 35ХМА [5]

C	Si	Mn	Cr	Mo	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>H</sub>	T <sub>H</sub>
0,38	0,23	0,64	0,99	0,16	730	780	370	860



## Сталь 40Г2 [5]

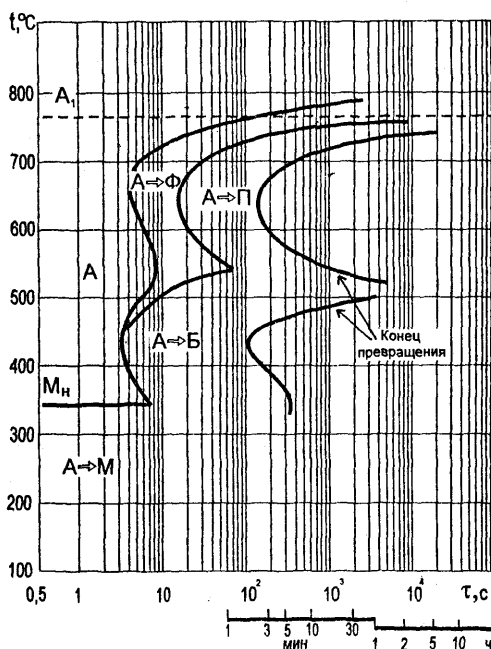
C	Si	Mn	Cr	Ti	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
0,48	0,28	1,98	—	—	720	765	290	850



70

## Сталь 40ХФА [5]

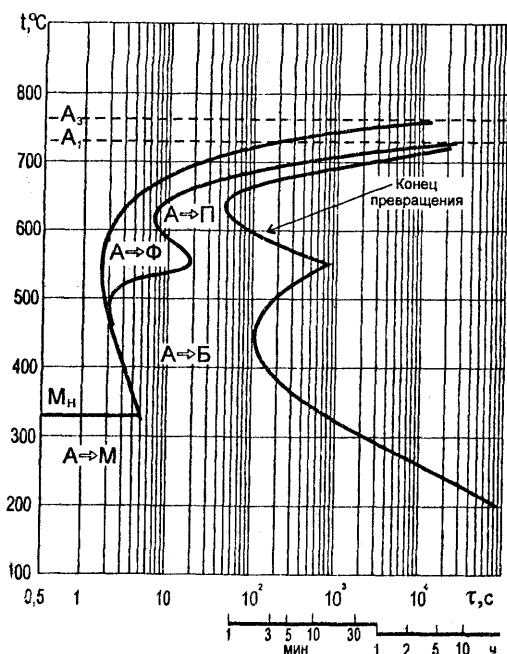
C	Si	Mn	Cr	V	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
0,38	0,21	0,41	1,29	0,12	765	840	340	880



71

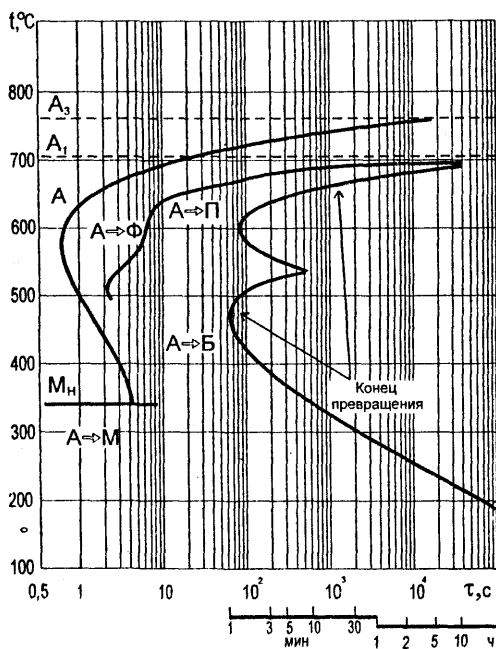
## Сталь 40ХА [5]

C	Si	Mn	Cr	Ni	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
0,42	0,16	0,68	0,93	0,07	730	760	330	840



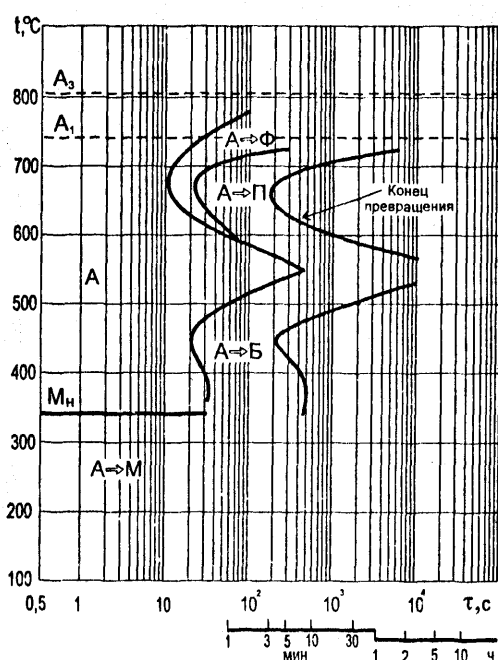
## Сталь 40ХНА [5]

C	Si	Mn	Cr	Ni	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
0,38	0,21	0,72	0,5	1,3	707	754	340	845



## Сталь 38ХСА [5]

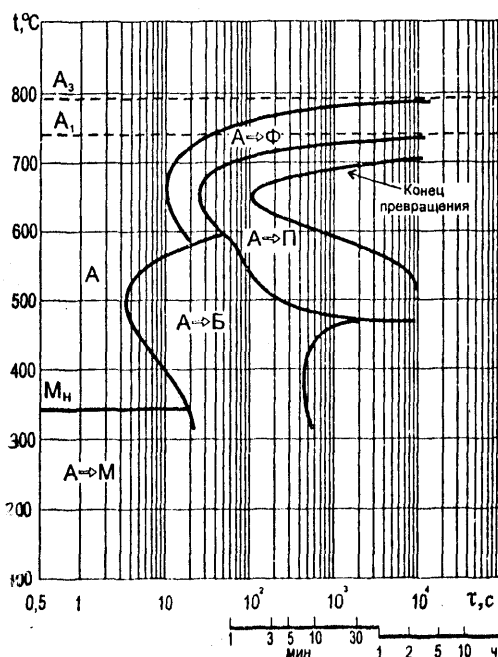
C	Si	Mn	Cr	Ni	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
0,36	1,19	0,45	1,65	—	740	810	330	880



72

## Сталь 45Х [6]

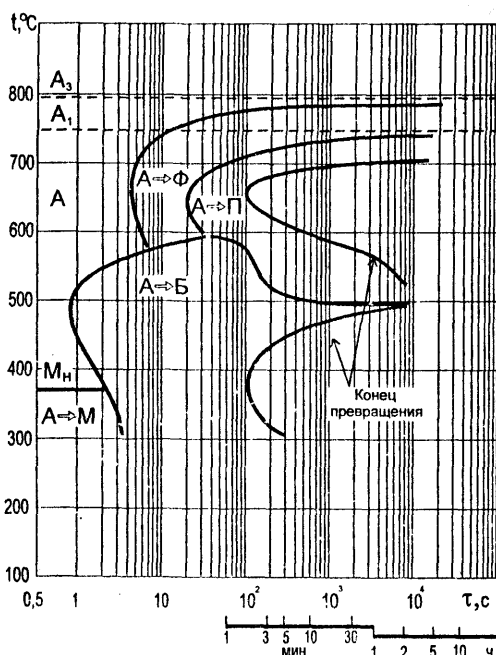
C	Si	Mn	Cr	Ni	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
0,44	0,22	0,80	1,04	0,26	745	790	355	840



73

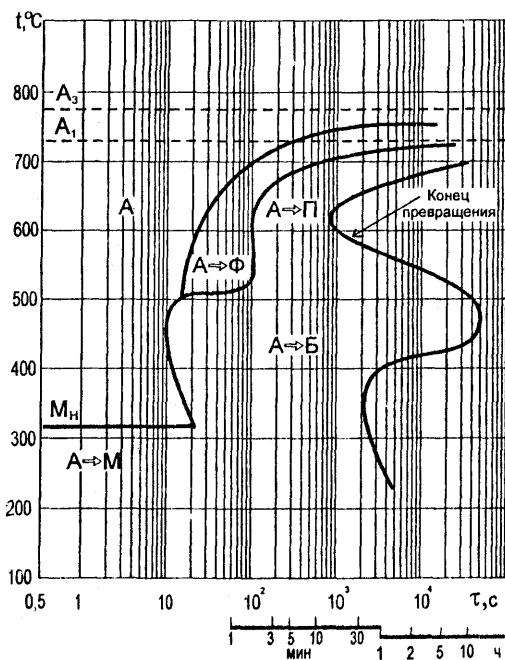
## Сталь 38ХА [6]

C	Si	Mn	Cr	Ni	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>н</sub>	T <sub>з</sub>
0,35	0,23	0,65	1,11	0,23	745	795	360	850



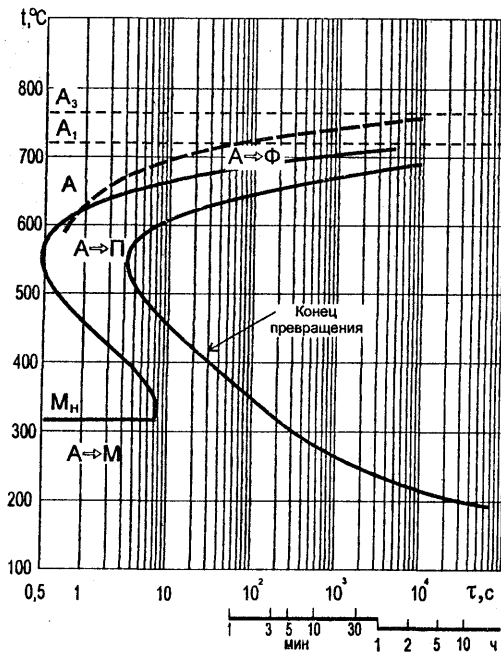
## Сталь 40ХГТР [6]

C	B	Mn	Cr	Ni	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>н</sub>	T <sub>з</sub>
0,43	0,001	1,02	0,48	0,31	730	—	320	845



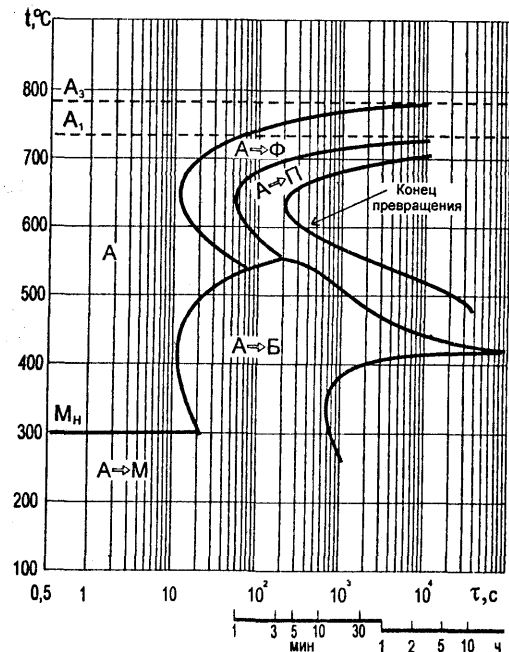
## Сталь 50Г [5]

C	Si	Mn	Cr	Ni	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
0,50	-	0,91	-	-	720	760	320	900



## Сталь 50ХФ [6]

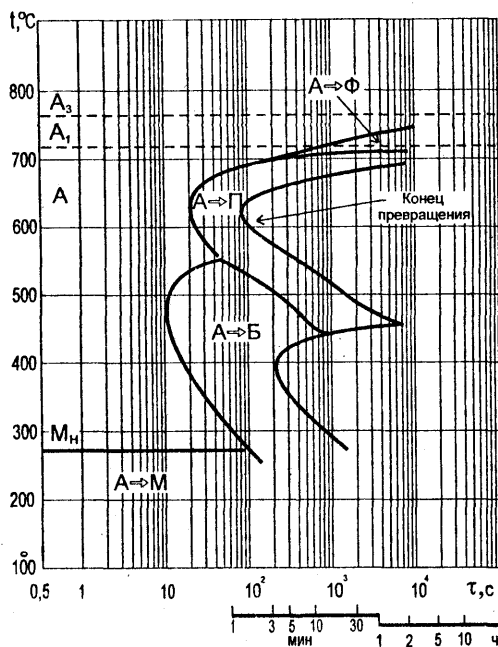
C	Si	Mn	Cr	V	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
0,47	0,35	0,82	1,20	0,11	740	780	300	880



74

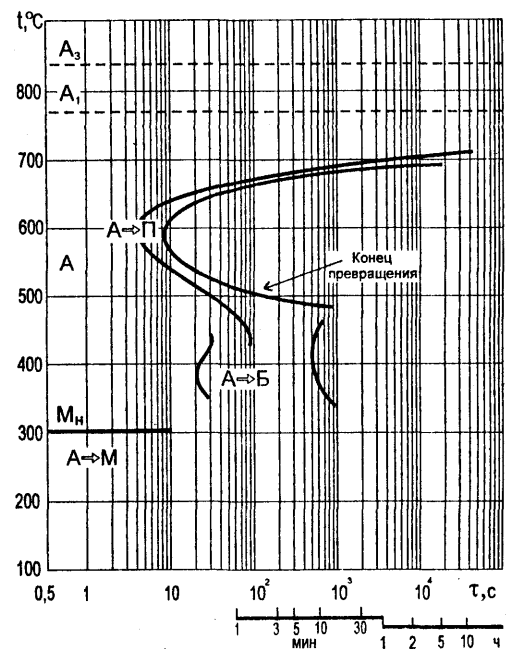
## Сталь 50ХГФА [6]

C	Si	Mn	Cr	V	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
0,55	0,22	0,98	1,02	0,11	720	760	270	860



## Сталь 55С2 [6]

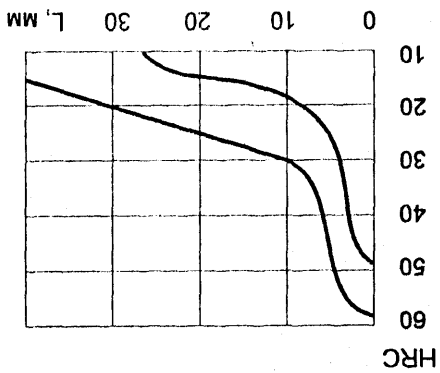
C	Si	Mn	Cr	Ni	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
0,55	1,85	0,64	0,17	-	775	840	305	860



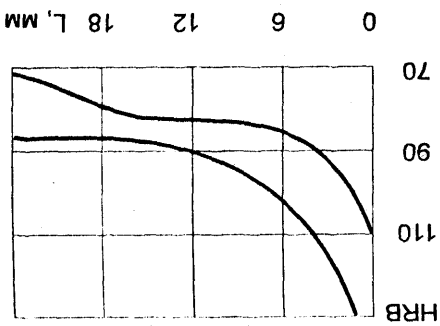
75



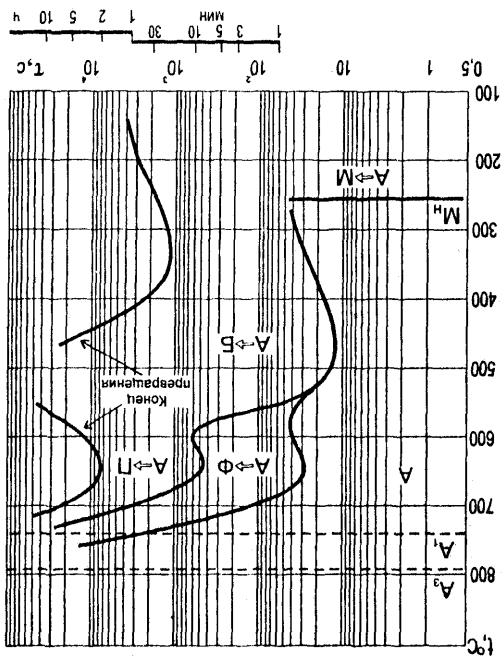
Полосы прокаливаемости



Сталь 35 [2]



Сталь 20 [8]

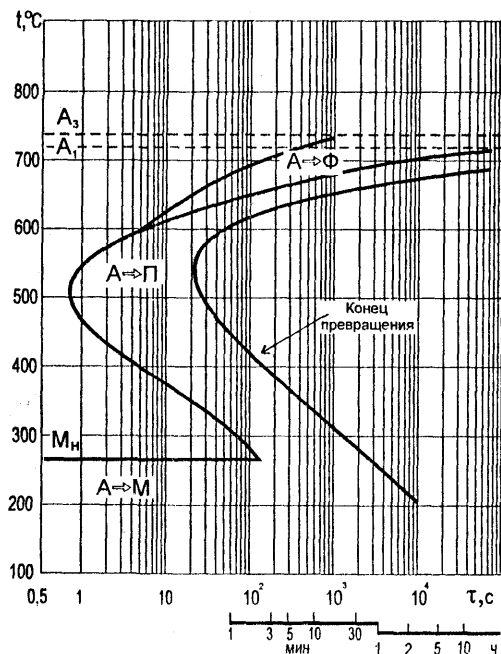


Сталь 60C2 [6]

C	Si	Mn	Cr	Mo	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>	A <sub>8</sub>	A <sub>9</sub>	A <sub>10</sub>	A <sub>11</sub>	A <sub>12</sub>	A <sub>13</sub>	A <sub>14</sub>	A <sub>15</sub>	A <sub>16</sub>	A <sub>17</sub>	A <sub>18</sub>	A <sub>19</sub>	A <sub>20</sub>	A <sub>21</sub>	A <sub>22</sub>	A <sub>23</sub>	A <sub>24</sub>	A <sub>25</sub>	A <sub>26</sub>	A <sub>27</sub>	A <sub>28</sub>	A <sub>29</sub>	A <sub>30</sub>	A <sub>31</sub>	A <sub>32</sub>	A <sub>33</sub>	A <sub>34</sub>	A <sub>35</sub>	A <sub>36</sub>	A <sub>37</sub>	A <sub>38</sub>	A <sub>39</sub>	A <sub>40</sub>	A <sub>41</sub>	A <sub>42</sub>	A <sub>43</sub>	A <sub>44</sub>	A <sub>45</sub>	A <sub>46</sub>	A <sub>47</sub>	A <sub>48</sub>	A <sub>49</sub>	A <sub>50</sub>	A <sub>51</sub>	A <sub>52</sub>	A <sub>53</sub>	A <sub>54</sub>	A <sub>55</sub>	A <sub>56</sub>	A <sub>57</sub>	A <sub>58</sub>	A <sub>59</sub>	A <sub>60</sub>	A <sub>61</sub>	A <sub>62</sub>	A <sub>63</sub>	A <sub>64</sub>	A <sub>65</sub>	A <sub>66</sub>	A <sub>67</sub>	A <sub>68</sub>	A <sub>69</sub>	A <sub>70</sub>	A <sub>71</sub>	A <sub>72</sub>	A <sub>73</sub>	A <sub>74</sub>	A <sub>75</sub>	A <sub>76</sub>	A <sub>77</sub>	A <sub>78</sub>	A <sub>79</sub>	A <sub>80</sub>	A <sub>81</sub>	A <sub>82</sub>	A <sub>83</sub>	A <sub>84</sub>	A <sub>85</sub>	A <sub>86</sub>	A <sub>87</sub>	A <sub>88</sub>	A <sub>89</sub>	A <sub>90</sub>	A <sub>91</sub>	A <sub>92</sub>	A <sub>93</sub>	A <sub>94</sub>	A <sub>95</sub>	A <sub>96</sub>	A <sub>97</sub>	A <sub>98</sub>	A <sub>99</sub>	A <sub>100</sub>
---	----	----	----	----	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	------------------

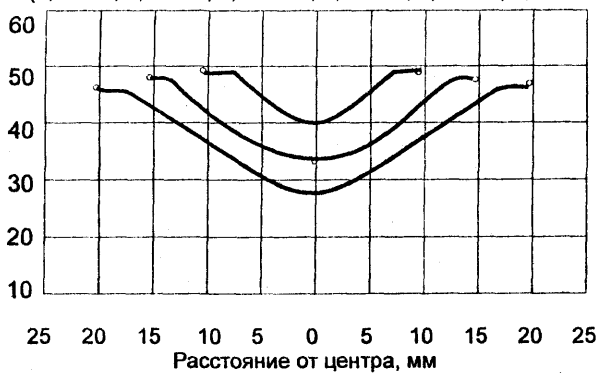
## Сталь 65Г [6]

C	Si	Mn	Cr	Ni	A <sub>1</sub>	A <sub>3</sub>	M <sub>n</sub>	T <sub>n</sub>
0,64	0,1	1,13	—	—	720	740	270	840



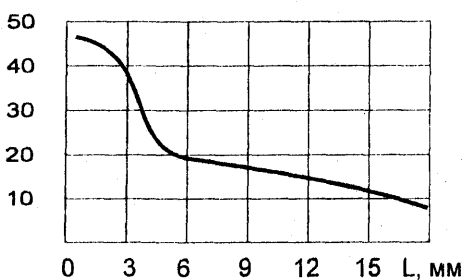
## Сталь 15 [3]

(0,15%C, 0,23%Si, 0,55%Mn, 0,47%Cr, 0,60%Ni, 0,39%Ca)

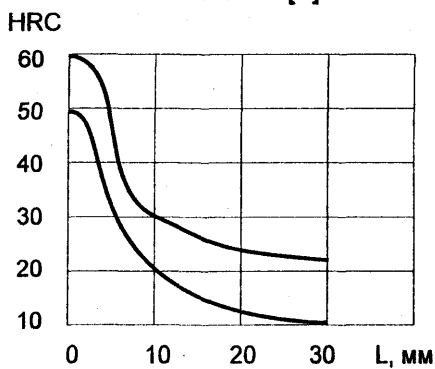


## Сталь 30 [8]

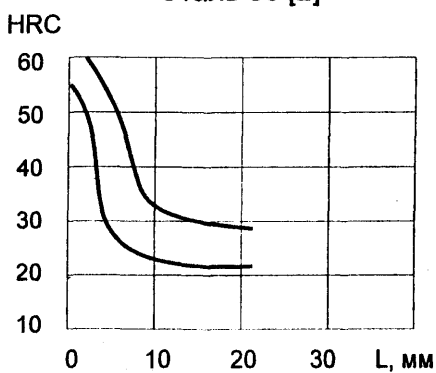
HRC



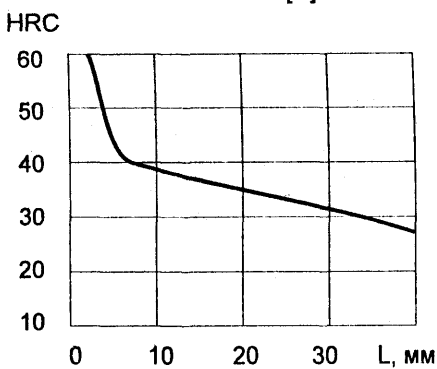
Сталь 45 [2]



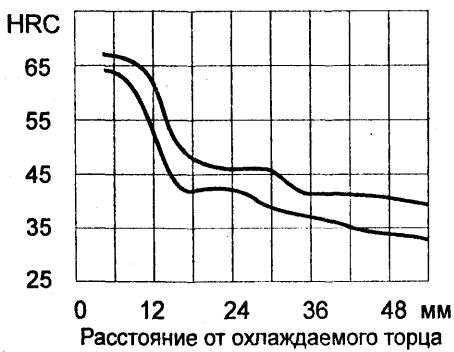
Сталь 55 [2]



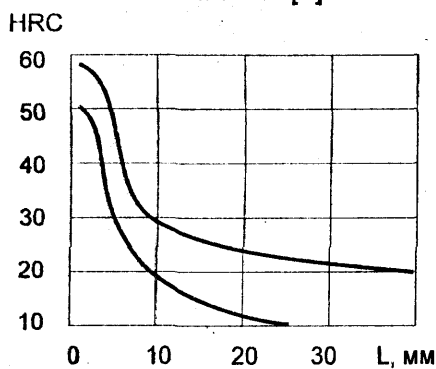
Сталь У8 [8]



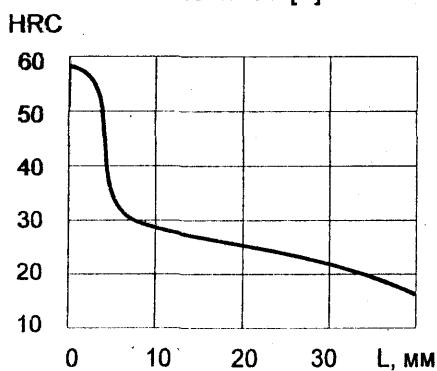
Сталь ШХ15 [4]



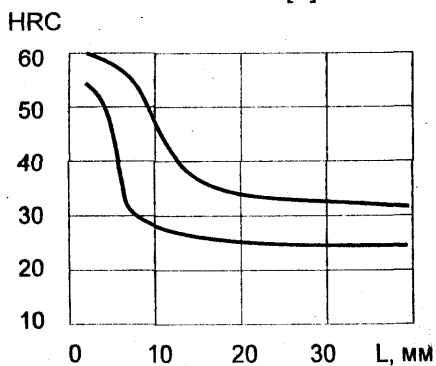
Сталь 40 [9]



Сталь 50 [8]



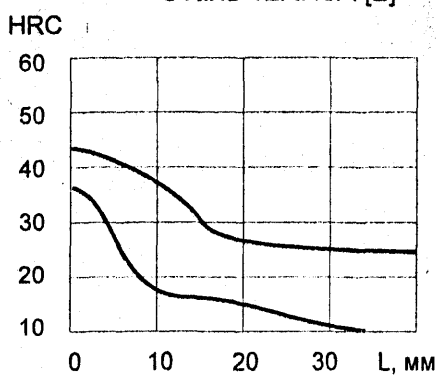
Сталь 65 [9]



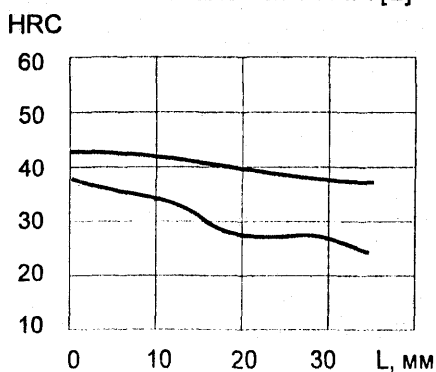
Сталь У12 [4]



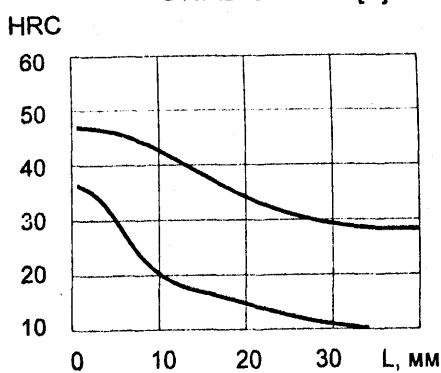
Сталь 12ХН3А [2]



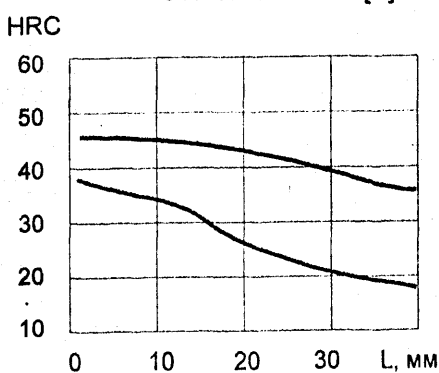
Сталь 12Х2Н4А [2]



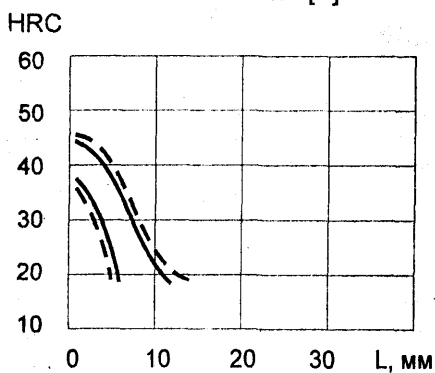
Сталь 20ХГР [7]



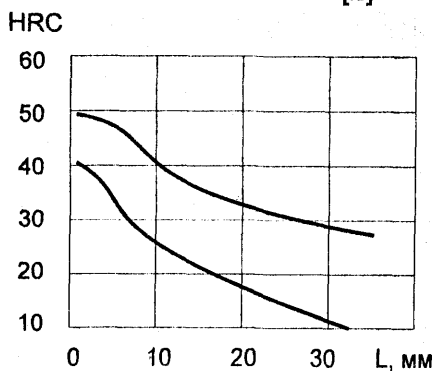
Сталь 20ХГНР [7]



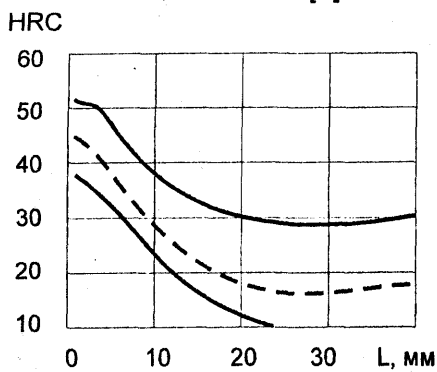
Сталь 15X [9]



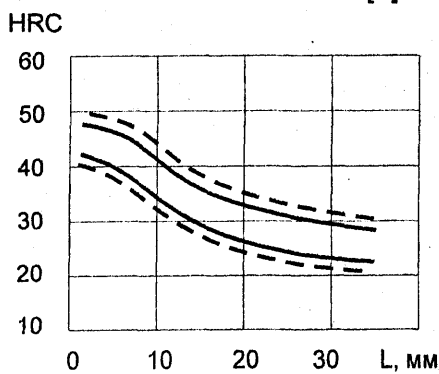
Сталь 18ХГТ [2]



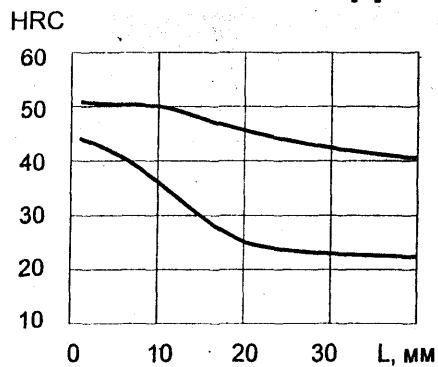
Сталь 20X [7]



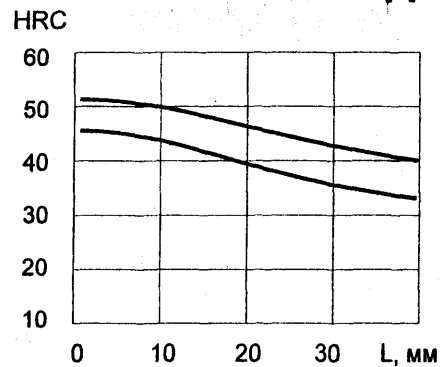
Сталь 20ХН3А [7]



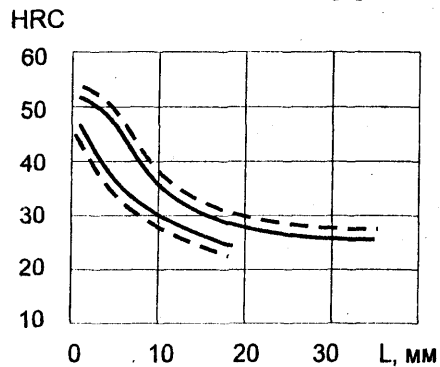
Сталь 25ХГМ [7]



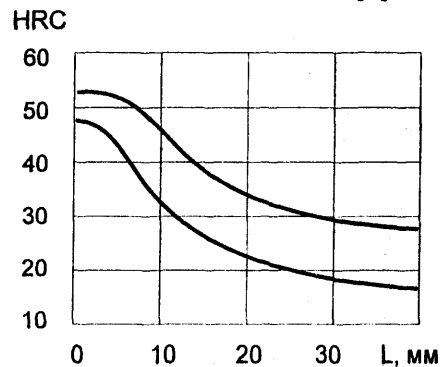
Сталь 25ХГНТА [9]



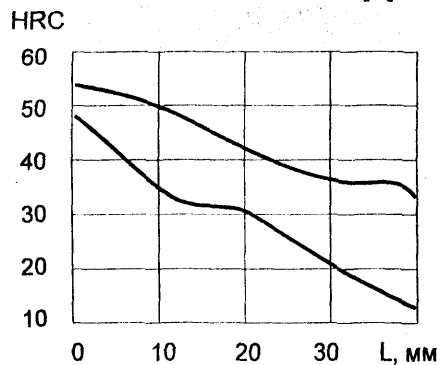
Сталь 30ХА [9]



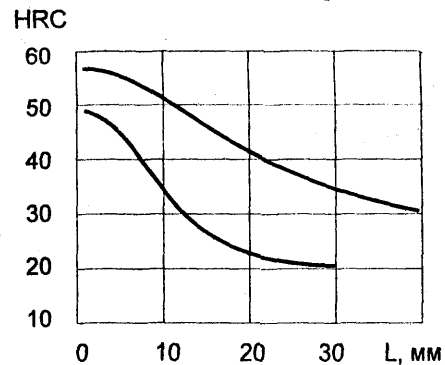
Сталь 30ХМА [2]



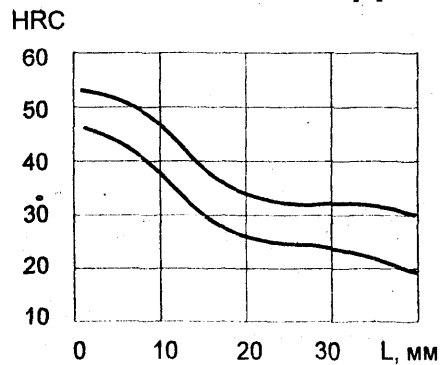
Сталь 30ХГСА [2]



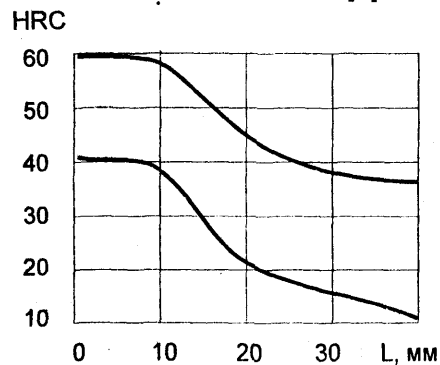
Сталь 35Г2 [9]



Сталь 35ХМА [9]

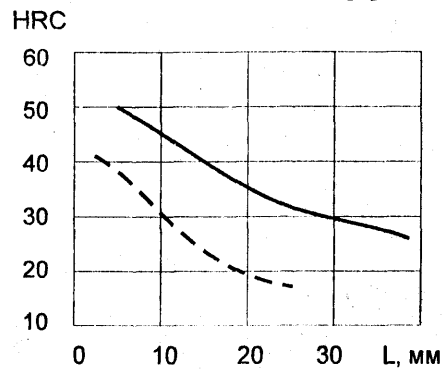


Сталь 35ХРА [7]

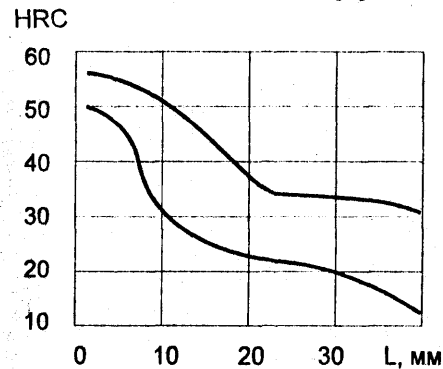




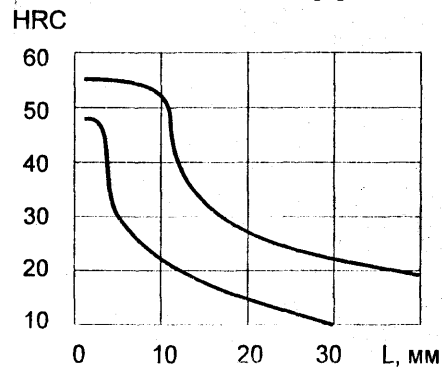
Сталь 30ХГТ [2]



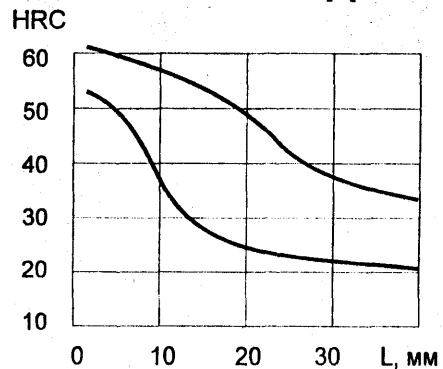
Сталь 40ХА [7]



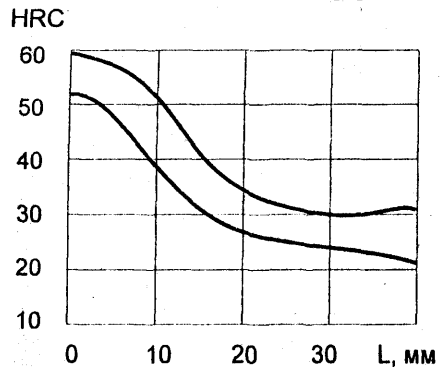
Сталь 40Р [7]



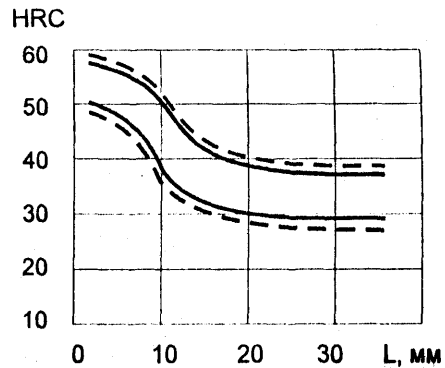
Сталь 40Г2 [9]



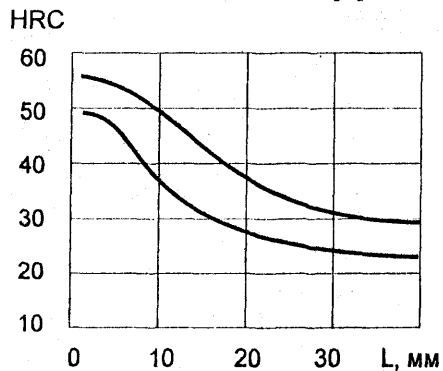
Сталь 40ХН [2]



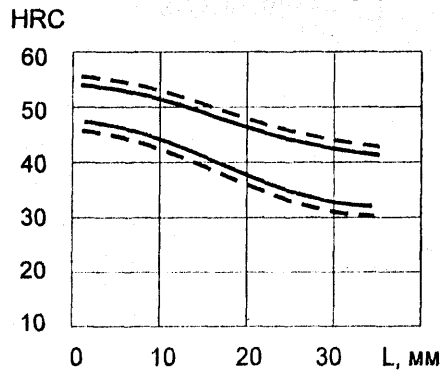
Сталь 40ХФА [9]



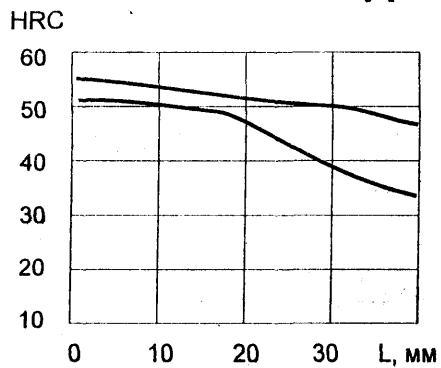
Сталь 38ХА [9]



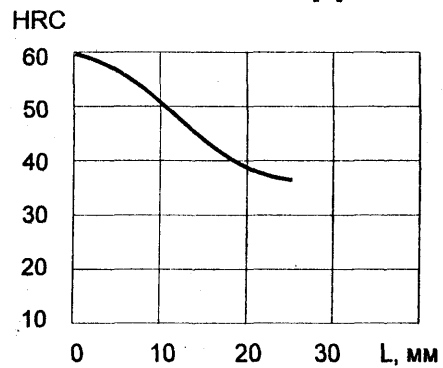
Сталь 38ХСА [9]



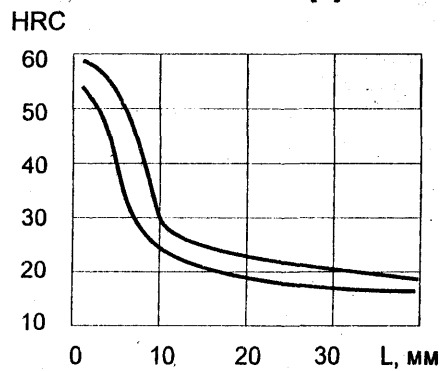
Сталь 40ХГТР [7]



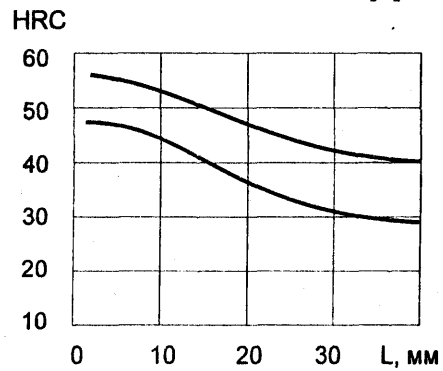
Сталь 45Х [3]

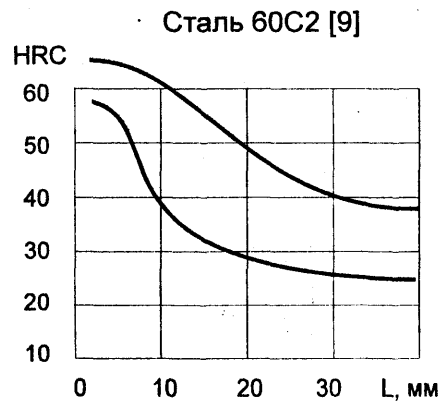
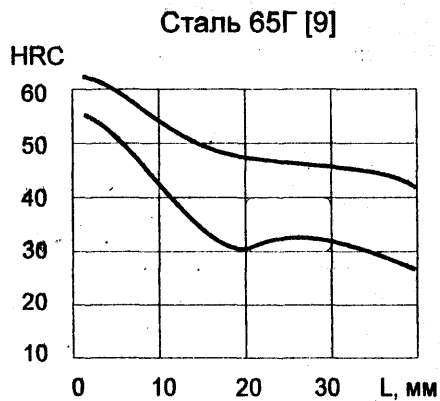
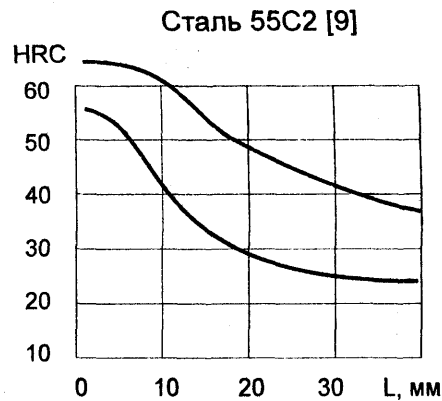
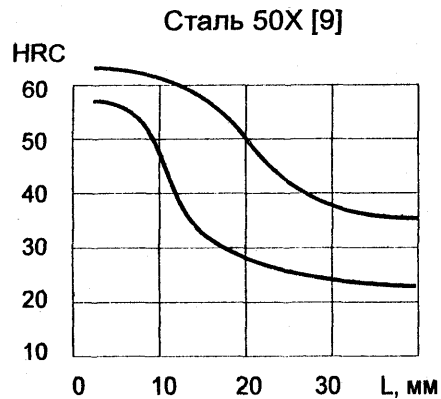


Сталь 50Г [7]

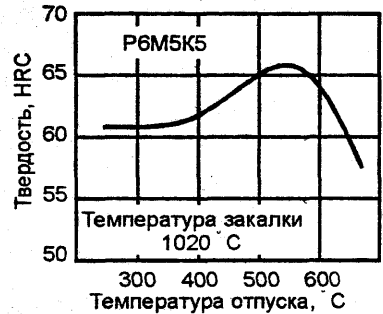
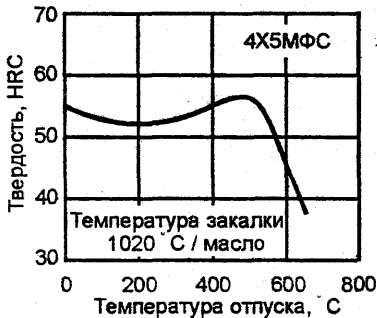
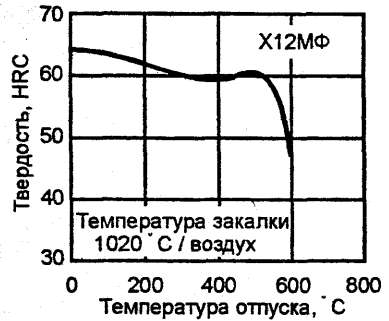
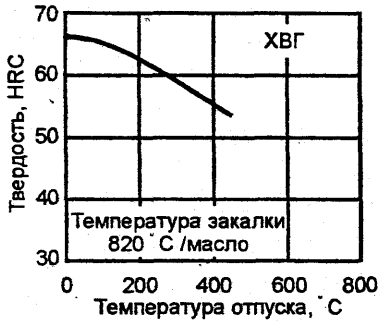


Сталь 50ХГФА [9]





**Кривые зависимости твердости по Роквеллу (HRC) от температуры отпуска для сталей XBG, X12MФ, 4X5MФC (ГОСТ 5950-2000) и P6M5K5 (ГОСТ 19265-73)**



**Шкала № 4 для оценки карбидной сетки**

Описание шкалы и шкала для оценки цементитной сетки  
в инструментальной нелегированной стали (x 500)

Шкала включает два ряда эталонов возможных видов цементитной сетки по 5 эталонов в каждом ряду.

1-й ряд – крупноячеистая сетка (средний относительный диаметр ячейки приблизительно 0,045 мм).

Эталоны каждого ряда отличаются по замкнутости цементитной сетки и соответствуют следующим баллам:

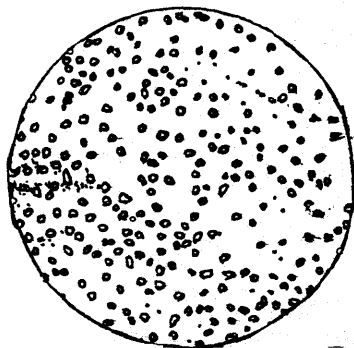
балл 1 – практически равномерное распределение цементитных частиц;

балл 2 – имеют место отдельные цепочки цементитных частиц;

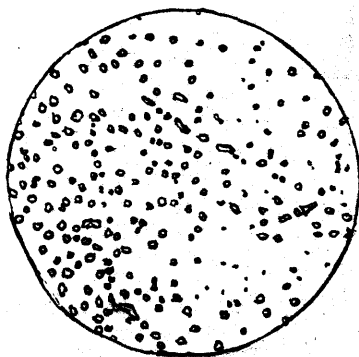
балл 3 – цепочки цементитных частиц в виде обрывков слабо выраженной сетки;

балл 4 – цепочки цементитных частиц в виде заметно выраженной сетки;

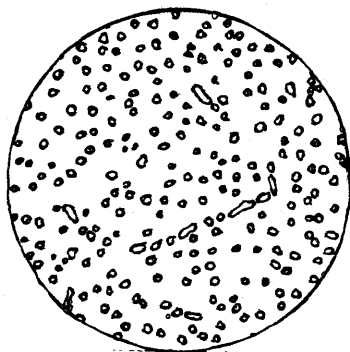
балл 5, 6 – цепочки цементитных частиц образуют сетку с замкнутыми ячейками.



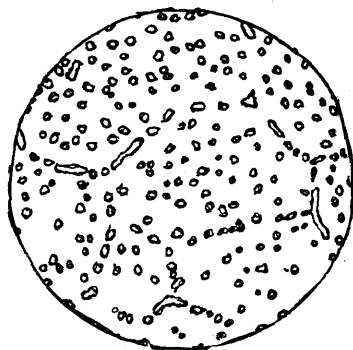
Балл 1



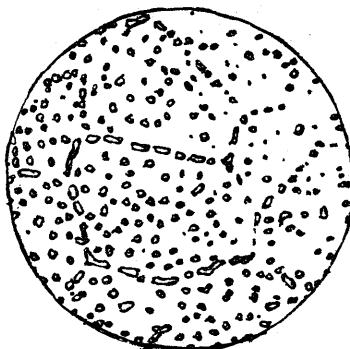
Балл 2



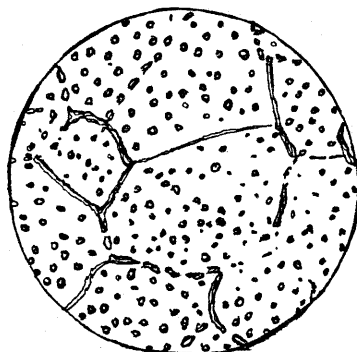
Балл 3



Балл 4



Балл 5



Балл 6

**Шкала для оценки микроструктуры инструментальных  
нелегированных сталей**

Описание шкалы и шкала для оценки микроструктуры (перлита) инструментальной нелегированной стали (500<sup>x</sup>)

Шкала включает 10 эталонов ( в баллах) возможных микроструктур отожженной или высокоотпущенной стали с разным содержанием зернистого и пластинчатого перлита (по площади):

балл 1 – от 80% до 100% мелкопластинчатого сорбитообразного перлита;

балл 2 – св. 20% до 50% зернистого перлита;

балл 3 – св. 50% до 80% зернистого перлита;

балл 4 – св. 80% до 100% зернистого перлита;

балл 5 и 6 – зернистый перлит с увеличивающимся размером цементитных частиц;

балл 7 – до 10% крупнопластинчатого перлита;

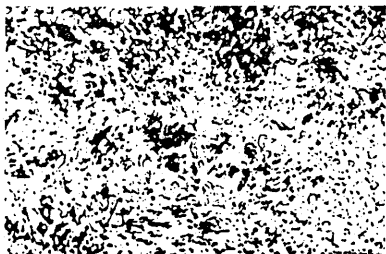
балл 8 – св. 10% до 50% крупнопластинчатого перлита;

балл 9 – св. 50% до 90% крупнопластинчатого перлита;

балл 10 – св. 90% до 100% крупнопластинчатого перлита.

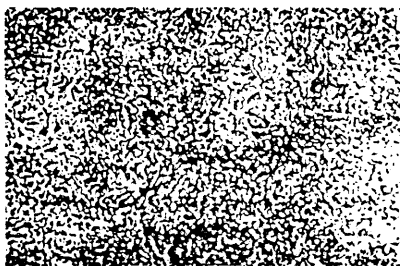


Балл 1



Балл 2





Балл 3



Балл 4



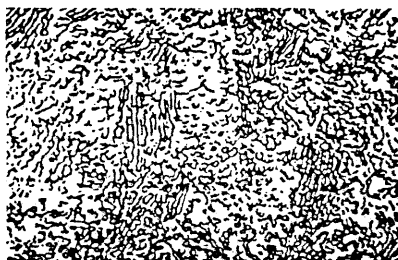
Балл 5



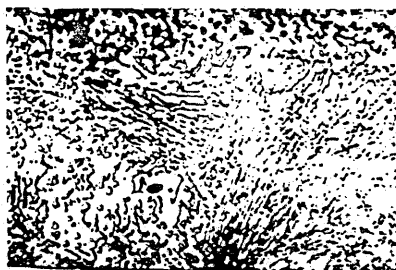
Балл 6



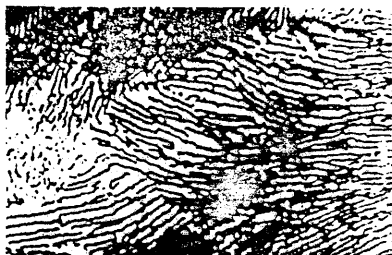
Балл 7



Балл 8



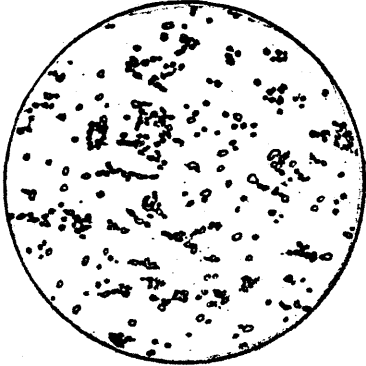
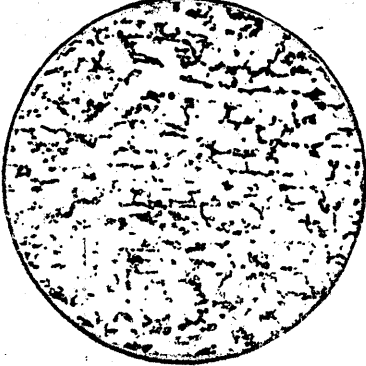
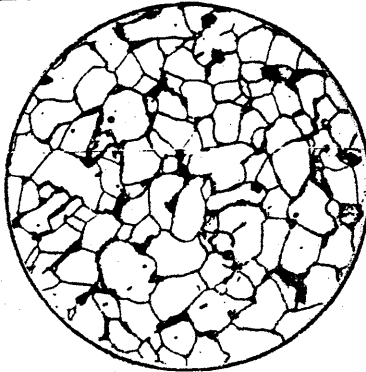
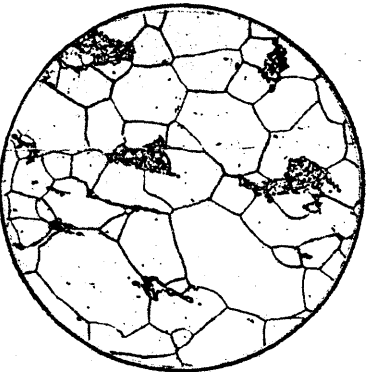
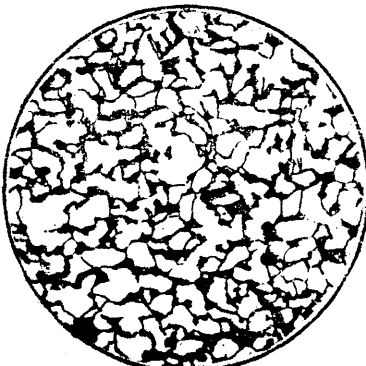
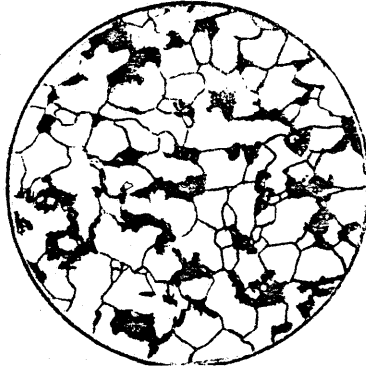
Балл 9

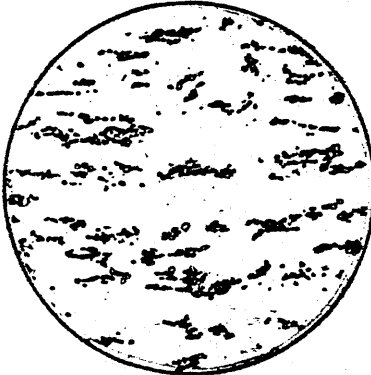
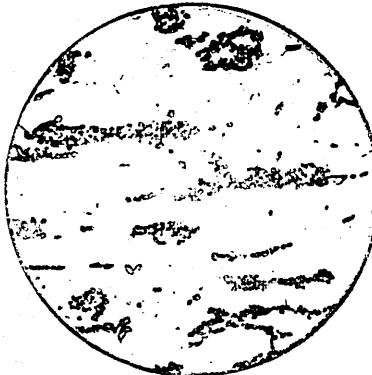
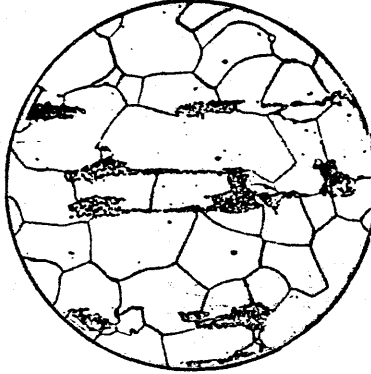
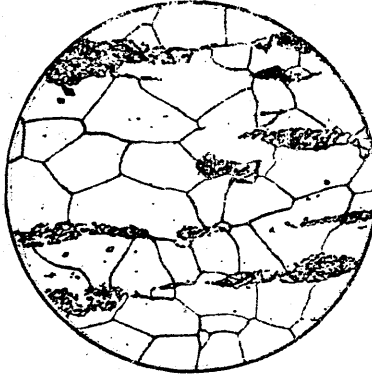
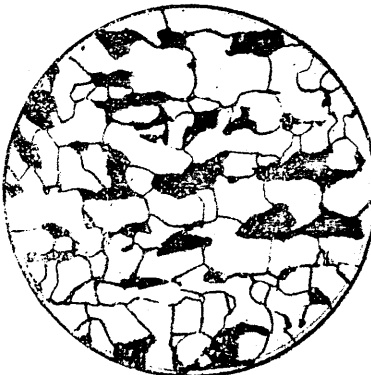





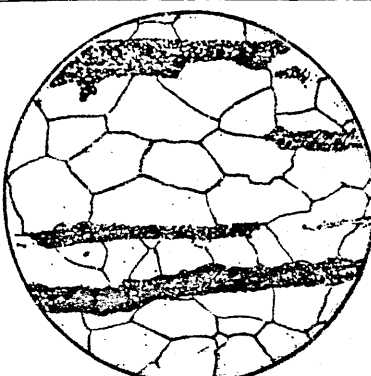
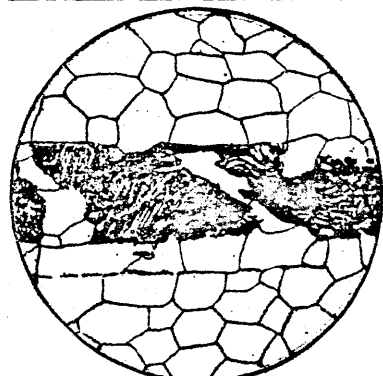
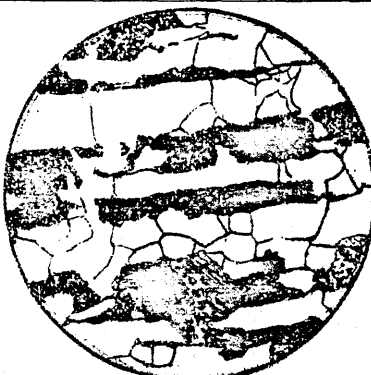

Балл 10

**Шкала для оценки перлита в малоуглеродистой деформированной стали.**Описание шкалы и шкала для оценки микроструктуры (360-400<sup>х</sup>)

Но мер бал- ла	Описание микроструктуры		
	Ряд А	Ряд Б	Ряд В
0	Равномерно или относительно равномерно распределенный зернистый перлит с размерами частиц от мелкоглобулярного до 1-2 мм	Равномерно распределенные в поле зрения участки зерна перлита	Равномерно распределенные в поле зрения небольшие участки тонкопластинчатого перлита
1	Небольшая строчечность зернистого перлита в направлении деформации	Небольшое количество участков сорбитообразного перлита, слабо ориентированного в направлении деформации	Относительно равномерно распределенные более крупные участки перлита, слабо ориентированные в направлении деформации
2	Неравномерное распределение зернистого перлита, расположенного в виде скоплений, ориентированных в направлении деформации	Более крупные участки сорбитообразного перлита, ориентированные в направлении деформации	Неоднородные по величине участки перлита, имеющие строчечное распределение
3	Более крупные скопления зернистого перлита, ориентированные в направлении деформации	Более крупные участки сорбитообразного перлита, имеющие строчечное распределение	Скопления перлита в виде крупных участков, имеющих строчечное распределение
4	Одна сплошная и несколько разорванных полос зернистого перлита	Сорбитообразный, местами пластинчатый перлит, имеющий строчечное распределение	Одна или несколько разорванных полос перлита, проходящих через все поле зрения
5	Ярко выраженное полосчатое распределение глобулярного перлита	Крупные участки сорбитообразного и грубопластинчатого перлита, имеющего ярко выраженное строчечное распределение (ширина строчек не менее 1/5 диаметра поля зрения)	Широкие сплошные полосы перлита более грубого строения, проходящие через все поле зрения

Ряд	Балл 0	Балл 1
А		
Б		
В		

Ряд	Балл 2	Балл 3
А		
Б		
В		

Ряд	Балл 4	Балл 5
А		
Б		
В		



## .. ОГЛАВЛЕНИЕ

Лабораторная работа № 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ ТОЧЕК СТАЛИ МЕТОДОМ ПРОБНЫХ ЗАКАЛОК.....	3
Лабораторная работа № 2 КИНЕТИКА РОСТА ЗЕРНА АУСТЕНИТА ПРИ НАГРЕВЕ .....	6
Лабораторная работа № 3 ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВА ПОД ЗАКАЛКУ НА СТРУКТУРУ И ТВЕРДОСТЬ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ .....	10
Лабораторная работа № 4 ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И ТВЕРДОСТЬ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ .....	14
Лабораторная работа №5 ОТПУСК СТАЛИ.....	18
Лабораторная работа № 6 ЗАКАЛИВАЕМОСТЬ СТАЛИ .....	21
Лабораторная работа № 7 ПРОКАЛИВАЕМОСТЬ СТАЛИ .....	25
Лабораторная работа № 8 ОТЖИГ СТАЛИ .....	36
КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ .....	44
ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ.....	49
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	49
ПРИЛОЖЕНИЯ	
Приложение 1. Химический состав и критические точки сталей.....	52
Приложение 2. Диаграммы изотермического распада переохлажденного аустенита сталей.....	56
Приложение 3. Полосы прокаливаемости сталей .....	77
Приложение 4. Кривые зависимости твердости по Роквеллу (HRC) от температуры отпуска для сталей ХВГ, Х12МФ, 4Х5МФС (ГОСТ 5950-2000) и Р6М5К5 (ГОСТ 19265-73) .....	88
Приложение 5. Шкала № 4 для оценки карбидной сетки.....	89
Приложение 6. Шкала для оценки микроструктуры инструментальных нелегированных сталей .....	91
Приложение 7. Шкала для оценки перлита в малоуглеродистой деформированной стали.....	94