Стали, обеспечивающие жесткость, статическую и циклическую прочность

Стали обладают высоким модулем упругости ($E = 2{,}1 \cdot 10^6$ Мпа)

Уступают лишь: B, W, Mo, Be.

При соответствующем легировании и технологии термической обработки **сталь** может приобретать:

- Износостойкость
- Коррозионно-стойкость
- Жаростойкость и жаропрочность
- Магнитность
- Упругие свойства

Разработано около 2000 марок сталей и сплавов

Классификация конструкционных сталей

- По химическому составу
- По качеству
- По степени раскисления
- По структуре
- По прочности
- По назначению

По химическому составу стали классифицируют на:

- Углеродистые и легированные
- Низкоуглеродистые (<0,3%С)
- Среднеуглеродистые (0,3 – 0,7%С)
- Высокоуглеродистые (>0,7%С)

Легированные стали в зависимости от введенных элементов подразделяют на:

- Хромистые
- Марганцевые
- Хромоникелевые
- Хромокремнемарганцевые
- Хромоникельмолибденовые

По количеству введенных элементов легированные стали различают на:

- Низколегированные содержат до 5% л.э.
- Среднелегированные от 5 до 10% л.э.
- Высоколегированные более 10%

По качеству стали классифицируют на **стали**:

- Обыкновенного качества
- Качественные
- Высококачественные
- Особовысококачественные

Под качеством стали понимают совокупность свойств, определяемых металлургическим процессом ее производства.

Однородность химического состава, строения и свойств стали, ее технологичность зависят от содержания **газов** (кислорода, водорода, азота) и **вредных примесей** – серы и фосфора

Нормы содержания вредных примесей служат основными показателями качества сталей

- Обыкновенного качества - 0,050%S; 0,040%P
- Качественные - 0,040%S; 0,035%P
- Высококачественные - 0,025%S; 0,025%P
- Особовысококачественные - 0,015%S; 0,025%P

По степени раскисления и характеру затвердевания

	раскисляют
• Спокойные	*Mn, Si, Al*
• Полуспокойные	
• Кипящие	*Mn*

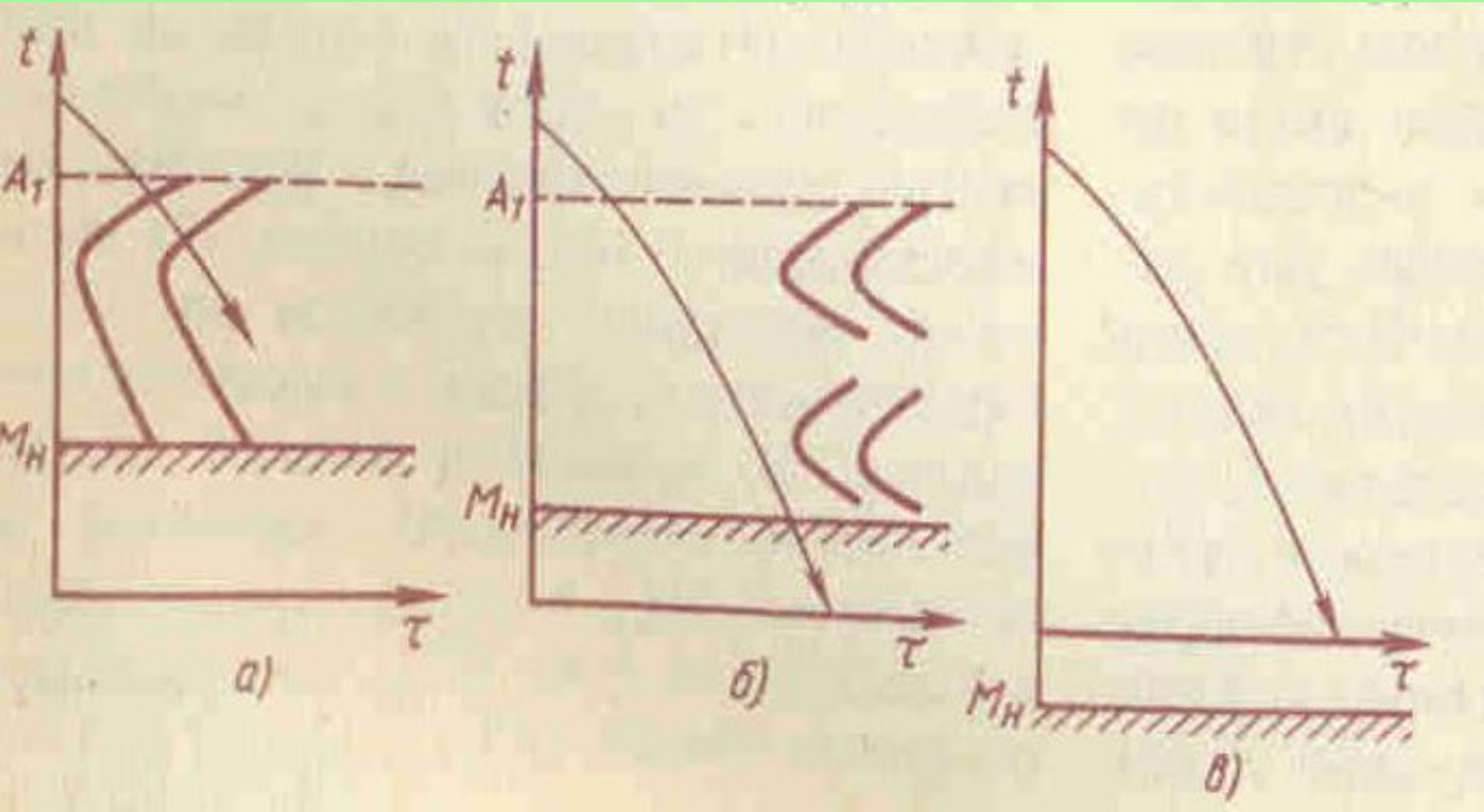
По структуре в состоянии отожженном или после нормализации:

- Доэвтектоидные - углеродистые легированные
- Эвтектоидные - углеродистые легированные
- Аустенитные - легированные
- Ферритные - легированные

По структуре после нормализации стали подразделяют на классы:

- Перлитный
- Мартенситный
- Аустенитный
- Ферритный

Диаграммы изотермического распада аустенита сталей



По прочности, оцениваемой временным сопротивлением

- Нормальной (средней) прочности до 1000 МПа
- Повышенной прочности - до 1500 Мпа
- Высокопрочные – свыше 1500 МПа

Влияние углерода и постоянных примесей на свойства сталей:

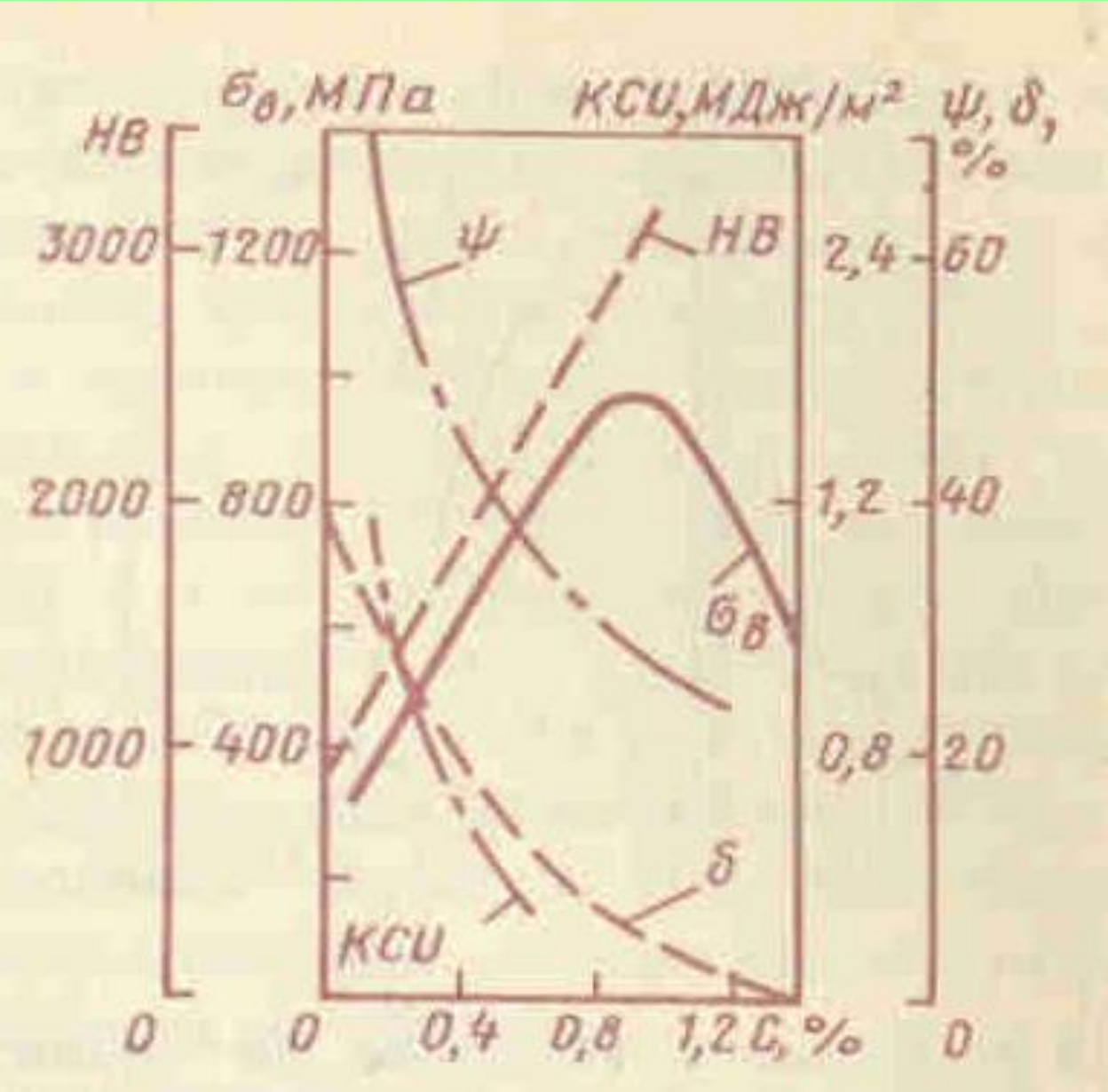
Стали – сложные по составу железо-углеродистые сплавы.

Кроме ***Fe*** и ***C***, а также легирующих элементов стали содержат некоторое количество постоянных и случайных примесей.

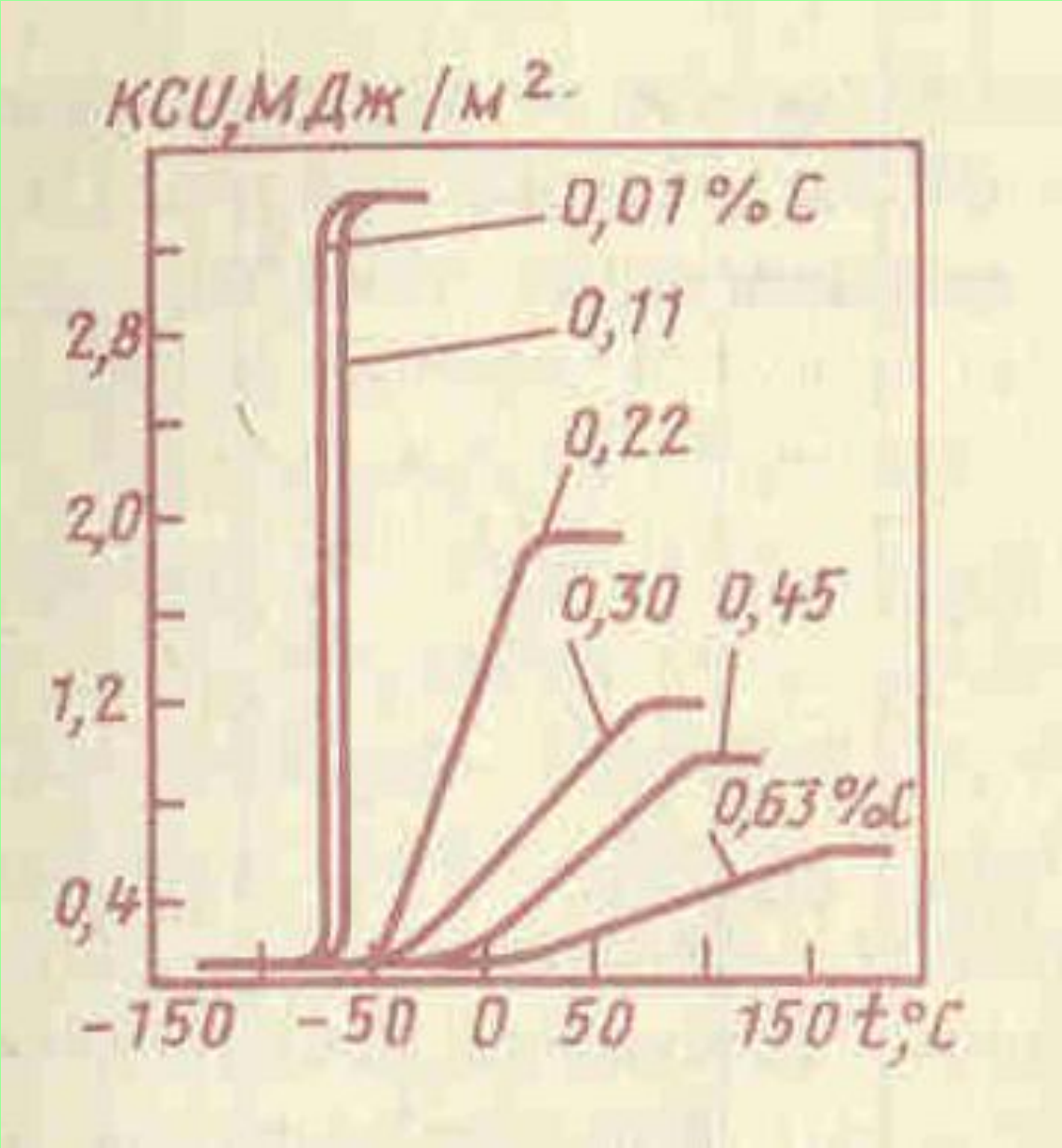
Углерод содержится в конструкционных сталях до 0,8%.

Степень влияния углерода зависит от структурного состояния стали и ее термической обработки.

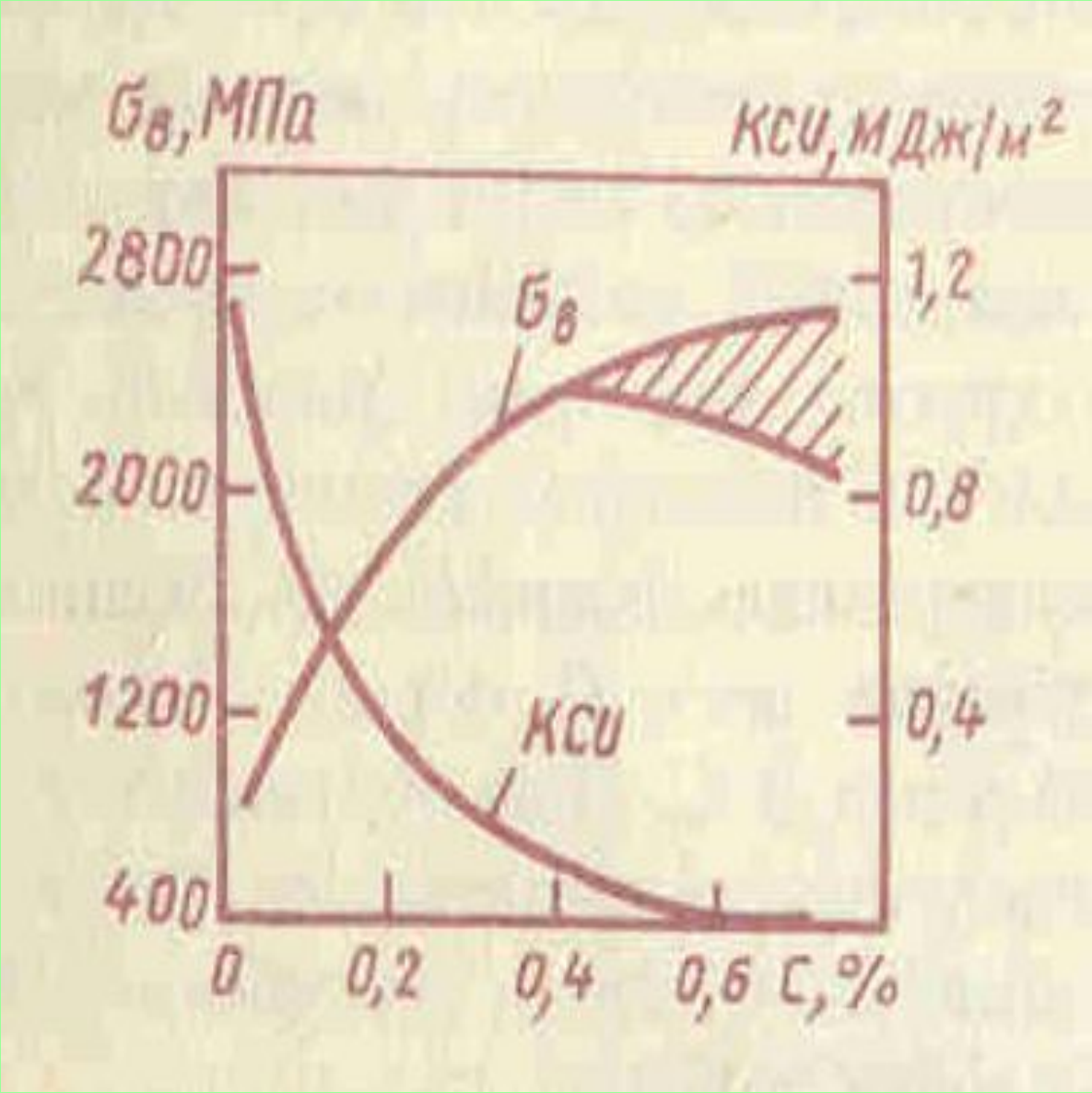
Влияние углерода на механические свойства горячекатаных сталей



Влияние углерода на хладноломкость стали



Влияние углерода на механические свойства закаленных низколегированных сталей



Углерод изменяет технологические свойства стали при увеличении его содержания:

- Снижается способность сталей деформироваться в горячем и особенно в холодном состояниях
- Затрудняется свариваемость

Постоянные примеси в стали: Mn, Si, S, P, а также газы O_2, N_2 , H_2

Марганец – уменьшает вредное влияние серы и фосфора

Вводится для раскисления стали и остается в количестве 0,3-0,8%

Кремний – вводится как раскислитель и остается в ней в количестве до 0,4%, оказывает упрочняющее воздействие

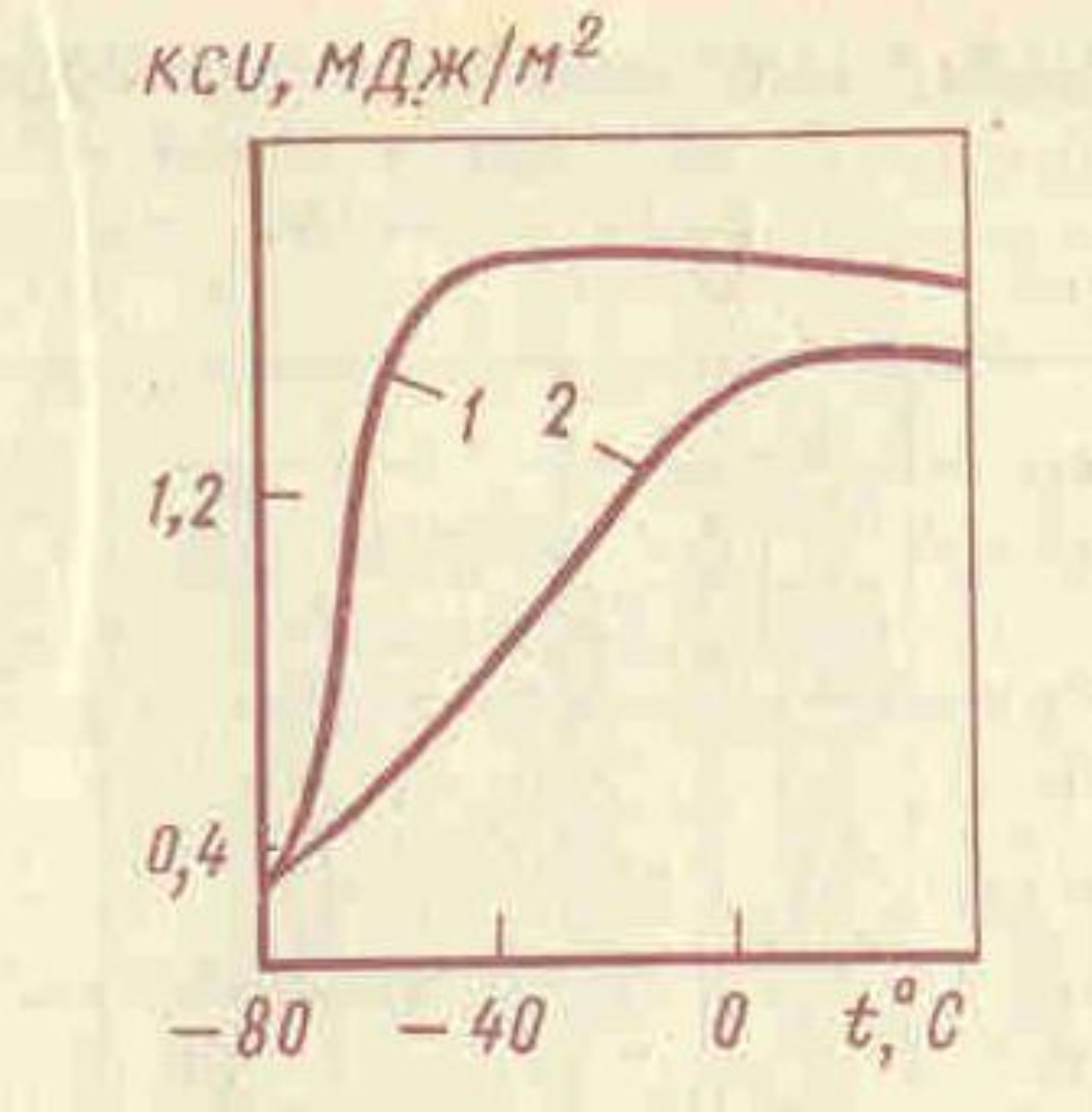
Сера – вредная примесь. Вызывает красноломкость стали – хрупкость при горячей обработке давлением. Содержание строго ограничивают.

Фосфор – вредная примесь. Вызывает хладноломкость – снижение вязкости по мере понижения температуры. Повышает порог хладноломкости.

Кислород, азот, и водород – вредные скрытые примеси. Их влияние сильно проявляется в снижении пластичности и повышении склонности стали к хрупкому разрушению. Образуются оксиды, нитриды; флокены.

Случайные примеси в большинстве случаев оказывают отрицательное влияние на вязкость и пластичность сталей

Влияние фосфора на хладноломкость стали



1-0,008%***P***
2-0,06%***P***

Углеродистые стали

На долю углеродистых сталей приходится 80% от общего объема. Они дешевы и сочетают удовлетворительные механические свойства с хорошей обрабатываемостью резанием и давлением.

Однако углеродистые стали менее технологичны при термической обработке, имеют большую деформацию и маленькую прокаливаемость.

Углеродистые стали обыкновенного качества

Механические свойства углеродистых сталей обыкновенного качества *группы А*

Сталь	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_т$, МПа	δ, %	Сталь	$\sigma_в$, МПа	$\sigma_т$, МПа	δ, %
		Не менее				Не менее	
Ст0	≥310	–	20				
Ст1	320–420	–	31	Ст4	420–540	240	21
Ст2	340–440	200	29	Ст5	500–640	260	17
Ст3	380–490	210	23	Ст6	600	300	12

Примечание. Механические свойства приведены для спокойных и полуспокойных сталей. В сталях Ст1кп – Ст4кп значения $\sigma_в$ (на 10 – 20 МПа) и $\sigma_т$ (на 10 МПа) меньше, а значения δ (на 1%) больше, чем в спокойных и полуспокойных сталях того же номера.

Углеродистые качественные стали

Свойства углеродистых качественных сталей (ГОСТ 1050-74)

Сталь	Массовая доля углерода, %	Свойства после нормализации					HB (после отжига)	KCU, МДж/м²
		$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	HB		
		МПа		%				
08	0,05—0,12	320	200	33	60	1310	—	—
10	0,07—0,14	340	210	31	55	1430	—	—
15	0,12—0,19	380	230	27	55	1490	—	—
20	0,17—0,24	420	250	25	55	1630	—	—
25	0,22—0,3	460	280	23	50	1700	—	0,9
30	0,27—0,35	500	300	21	50	1790	—	0,8
35	0,32—0,4	540	320	20	45	2070	—	0,7
40	0,37—0,45	580	340	19	45	2170	1870	0,6
45	0,42—0,5	610	360	16	40	2290	1970	0,5
50	0,47—0,55	640	380	14	40	2410	2070	0,4
55	0,52—0,6	660	390	13	35	2550	2170	—
60	0,57—0,65	690	410	12	35	2550	2290	—
65	0,62—0,7	710	420	10	30	2550	2290	—
70	0,67—0,75	730	430	9	30	2690	2290	—
75	0,72—0,8	1100	900	7	30	2850	2410	—
80	0,77—0,85	1100	950	6	30	2850	2410	—
85	0,82—0,9	1150	1000	6	30	3020	2550	—

1. Малопрочные и высокопластичные стали 08, 10.

Без термической обработки используют для:

- Шайб
- Кожухов
- Деталей, изготавливаемых холодной деформацией

2. Цементуемые – стали 15, 20, 25:

- Кулачки
- Толкатели
- Малонагруженные шестерни
- Крепежные детали

3. Среднеуглеродистые стали 30, 35, 40, 45, 50, 55. Применяют после улучшения, нормализации и поверхностной закалки. Имеют после улучшения

высокую ударную вязкость и пластичность.

Изготавливают:

- Шатуны
- Коленчатые валы малооборотных двигателей
- Зубчатые колеса
- Маховики
- Оси

Легированные стали

Производят и поставляют:

- Качественными
- Высококачественными
- Особовысококачественными

Маркировка легированных сталей

По ГОСТ 4543-71 принято обозначать в марках легирующие элементы:

- Хром – ***Х***
- Никель – ***Н***
- Марганец – ***Г***
- Кремний – ***С***
- Молибден – ***М***
- Вольфрам – ***В***
- Титан – ***Т***
- Ниобий – ***Б***
- Ванадий – ***Ф***
- Алюминий – ***Ю***
- Бор – ***Р***
- Кобальт – ***К***
- Медь - ***Д***

Число, стоящее после буквы, указывает на примерное содержание легирующего элемента в процентах.

20ХН3А

30ХГС-Ш

ЭИ (ЭИ415)

ЭП (ЭП716)

1. После закалки на мартенсит и низкого отпуска **свойства легированной стали** определяются концентрацией углерода в мартенсите. Максимальное упрочнение достигается уже при 0,4% С.
2. Легирующие элементы влияют на механические свойства косвенно, увеличивая или уменьшая концентрацию углерода в мартенсите.
3. Карбидообразующие элементы (Cr, Mo, W, V) увеличивают прочность связи атомов углерода с атомами твердого раствора.
4. Легирующие элементы повышают прочность феррита, дисперсность и количество карбидной фазы.

Массовая доля элементов в легированных конструкционных сталях (ГОСТ 4543-71)

Сталь	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Прочие элементы
Низкоуглеродистые стали							
15Х	0,12–0,18	–	–	0,7–1	–	–	–
25ХГМ	0,23–0,29	0,9–1,2	–	0,9–1,2	–	0,2–0,3	–
30ХГТ	0,24–0,32	0,8–1,1	–	1–1,3	–	–	0,03–0,09 Ti
20ХН3А	0,17–0,24	–	–	0,6–0,9	2,75–3,15	–	–
12Х2Н4А	0,09–0,15	–	–	1,25–1,65	3,25–3,65	–	–
18Х2Н4МА	0,14–0,2	–	–	1,35–1,65	4–4,4	0,3–0,4	–
Среднеуглеродистые стали							
40Х	0,36–0,44	–	–	0,8–1,1	–	–	–
40ХГТР	0,38–0,45	0,7–1	–	0,8–1,1	–	–	0,03–0,09 Ti 0,002–0,005 B
30ХГСА	0,28–0,34	0,8–1,1	0,9–1,2	0,8–1,1	–	–	–
40ХНМА	0,37–0,44	–	–	0,6–0,9	1,25–1,65	0,15–0,25	–
38ХН3МФА	0,33–0,4	–	–	1,2–1,5	3–3,5	0,35–0,45	0,1–0,18 V
38Х2МЮА	0,35–0,42	–	–	1,35–1,65	–	0,15–0,25	0,7–1,1 Al

Примечания: 1. Концентрация марганца и кремния как постоянных примесей не указана. 2. Сера и фосфор находятся в пределах норм для качественных и высококачественных сталей.

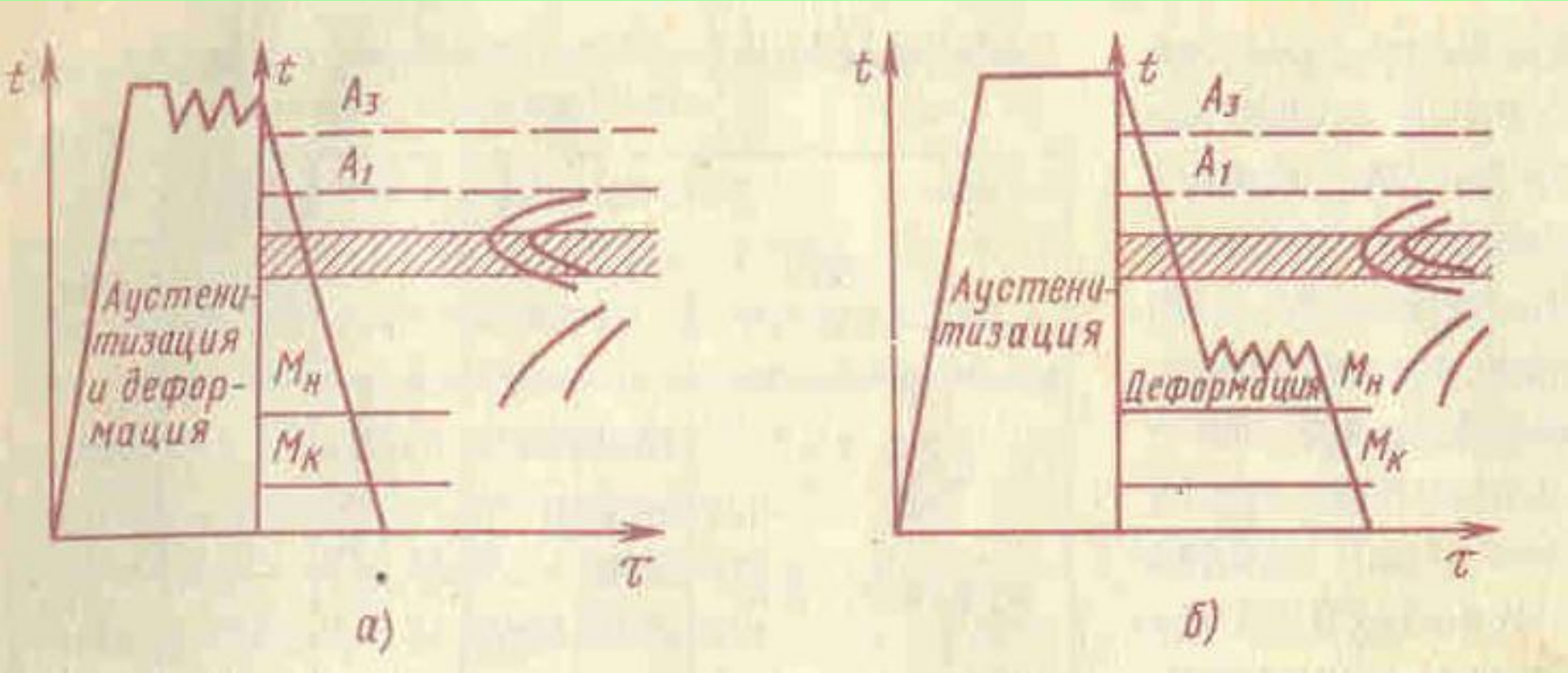
Режимы термической обработки и механические свойства низкоуглеродистых сталей

Сталь	Температура, °С			Механические свойства (не менее)				
	закалки		отпуска	$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	*KCU*, МДж/м²
	I	II		МПа		%		
15Х	880	770–820	180	700	500	12	45	0,7
15ХФ	880	760–810	180	750	550	13	50	0,8
30ХГТ	880	850	200	1500	1300	9	40	0,6
25ХГМ	860	–	200	1200	1100	10	45	0,8
12ХН3А	860	760–810	180	950	700	11	55	0,9
12Х2Н4А	860	760–800	180	1150	950	10	50	0,9
18Х2Н4МА	950	860	200	1150	850	12	50	1

Термическая обработка и механические свойства улучшаемых легированных сталей

Сталь	Температура закалки, °С	Отпуск		$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	*KCU*, МДж/м²	$t_в$	$t_н$
		Температура, °С	Среда охлаждения	МПа		%			°С	
				Не менее						
40Х	860	500	Вода, масло	1000	800	10	45	0,6	0	−100
50Х	830	520	То же	1100	900	9	40	0,4	20	−60
30ХГСА	880	540	»	1100	850	10	45	0,5	20	−60
40ХН	820	500	»	1000	800	11	45	0,7	−30	−100
40ХНМА	850	620	»	1100	950	12	50	0,8	−40	−120
38ХН3МА	850	600	Воздух	1200	1100	12	50	0,8	−60	−140

Схема термомеханической обработки стали



ВТМО НТМО

(заштрихованная зона – интервал температур рекристаллизации)

Мартенситно-стареющие стали

Мартенситно-стареющие стали, превосходят среднеуглеродистые стали по конструкционной прочности и технологичности.

Высокая прочность этих сталей достигается совмещением двух механизмов упрочнения:

- мартенситного превращения
- и старения мартенсита

Свойства мартенситно-стареющих сталей

Сталь	Массовая доля легирующих элементов, %	Механические свойства						
		$\sigma_в$	$\sigma_{0,2}$	K_{1c}	δ	ψ	KCU	KCT
		МПа		МПа × × м$^{1/2}$	%		МДж/м^2	
03Н18К9М5Т	18 Ni; 9 Co; 5 Mo; 0,9 Ti	2100	1900	75–85	8	50	0,5	0,20
03Н12К15М10	12 Ni; 15 Co; 10 Mo	2500	2400	–	6	30	0,3	–
03Х11Н10М2Т	10 Cr; 11 Ni; 2 Mo; 0,9 Ti; 0,2 Al	1600	1550	90–105	8	50	0,5	0,21