

Термообработка нержавеющей сталей

Доц. Алимов А.И., к.т.н.

Классификация сталей

По химическому составу — углеродистые и легированные.

- По концентрации углерода те и другие подразделяют на низкоуглеродистые ($<0,3\% \text{C}$), среднеуглеродистые ($0,3-0,7\% \text{C}$ и высокоуглеродистые ($>0,7\% \text{C}$).
- Легированные стали в зависимости от введенных элементов подразделяют на хромистые, марганцовистые, хромоникелевые, хромокремнемарганцовые и другие.
- По количеству введенных элементов их разделяют на низко-, средне- и высоколегированные (содержание легирующих элементов до 5% , от 5 до 10% и более 10% соответственно)

Нержавеющие, жаростойкие и жаропрочные стали и сплавы

I - **коррозионностойкие (нержавеющие) стали** и сплавы, обладающие стойкостью против электрохимической и химической коррозии (атмосферной, почвенной, щелочной, кислотной, солевой), межкристаллитной коррозии, коррозии под напряжением и др.;

II - **жаростойкие (окалиностойкие) стали и сплавы**, обладающие стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах при температурах выше 550 °С, работающие в ненагруженном или слабонагруженном состоянии;

III - **жаропрочные стали и сплавы**, способные работать в нагруженном состоянии при высоких температурах в течение определенного времени и обладающие при этом достаточной жаростойкостью.

Легированные стали

Нормативный документ: качественная конструкционная легированная сталь изготавливается согласно **ГОСТ 4543-71**.

Легированная сталь — сталь, в которую в процессе легирования в определенных количествах вводят специальные элементы, обеспечивающие требуемые свойства. Такие элементы называют легирующими. Они могут повышать прочность и коррозионную стойкость стали и снижать опасность ее хрупкого разрушения.

Для **легирования** стали используются следующие **химические элементы**: марганец (Mn) — Г; кремний (Si) — С; хром (Cr) — Х; никель (Ni) — Н; медь (Cu) — Д; азот (N) — А; ванадий (V) — Ф; ниобий (Nb) — Б; вольфрам (W) — В; селен (Se) — Е; кобальт (Co) — К; бериллий (Be) — Л; молибден (Mo) — М; бор (B) — Р; титан (Ti) — Т; алюминий (Al) — Ю.

Классификация нержавеющей сталей

- **мартенситный** - стали с основной структурой мартенсита;
- **мартенситно-ферритный** - стали, содержащие в структуре кроме мартенсита, не менее 10 % феррита;
- **ферритный** - стали, имеющие структуру феррита, (без $\alpha \rightarrow \gamma$ превращений);
- **аустенито-мартенситный** - стали, имеющие структуру аустенита и мартенсита, количество которых можно изменять в широких пределах;
- **аустенито-ферритный** - стали, имеющие структуру аустенита и феррита (феррит более 10 %);
- **аустенитный** - стали, имеющие структуру аустенита

Хромистые нержавеющие стали

Класс	Тип стали по содержанию хрома, %	Марка стали	Углерод, %	Хром, %
Ф	13	08X13	< 0,08	12-14
М-Ф		12X13	0,09-0,15	
М		20X13	0,16-0,25	
М		30X13	0,26-0,35	
М		40X13	0,36-0,45	
Ф	17	12X17	≤ 0,12	16-18
Ф		08X17T	≤ 0,08	
М		14X17H2*	0,11-0,17	
Ф	25/28	15X25T	≤ 0,15	24-27
Ф		15X28	≤ 0,15	27-30

* Содержит 1,5-2,5 % никеля

Хромистые стали более дешевые, однако хромоникелевые обладают большей коррозионной стойкостью. Содержание хрома в нержавеющей стали должно быть **не менее 12 %** (см. табл.). При меньшем количестве хрома сталь не способна сопротивляться коррозии, так как ее электродный потенциал становится отрицательным.

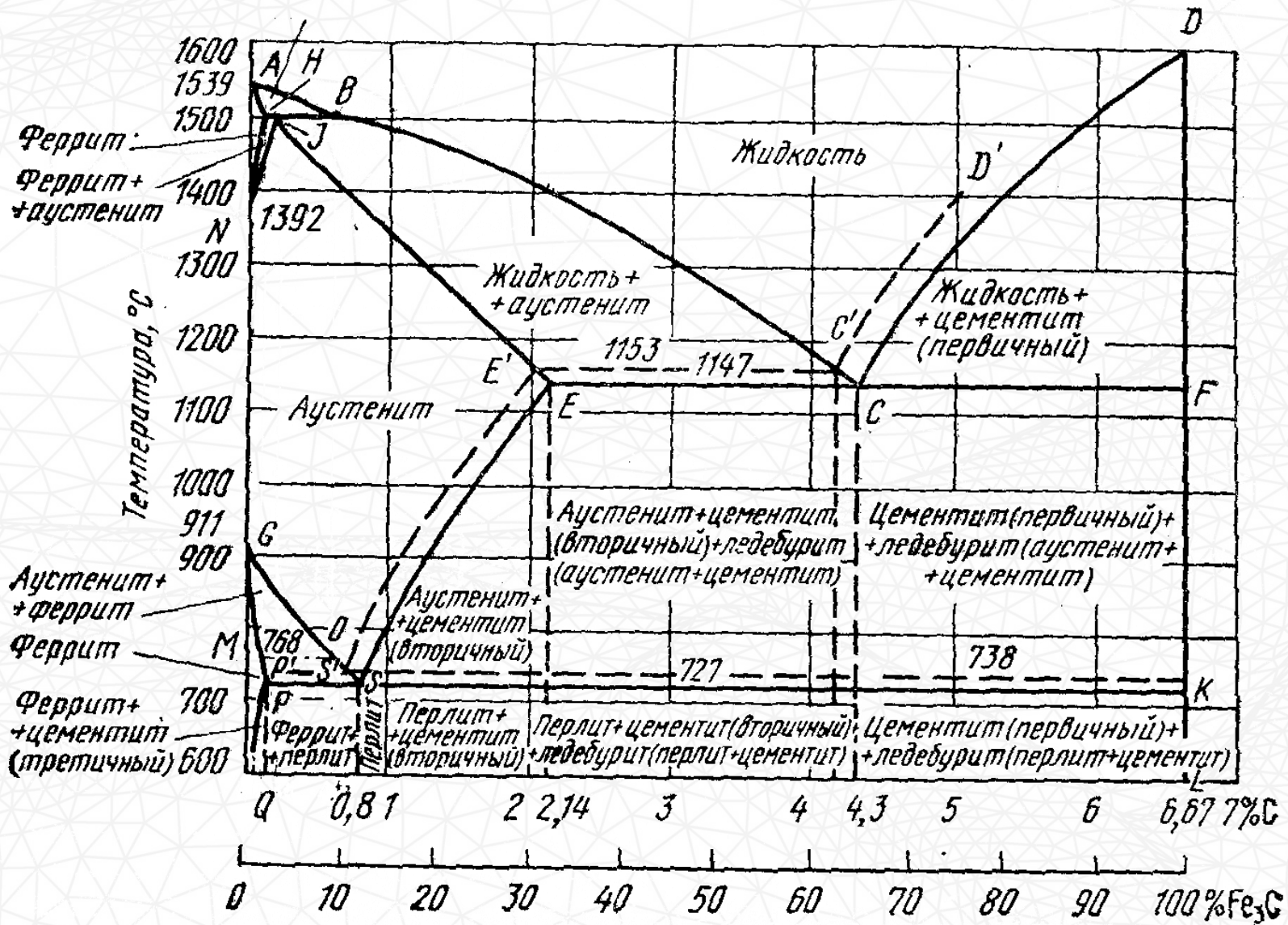
Упрочняющая термообработка сталей

Закалка – ТО, в результате которой в сплавах образуется неравновесная структура пересыщенного твердого раствора.

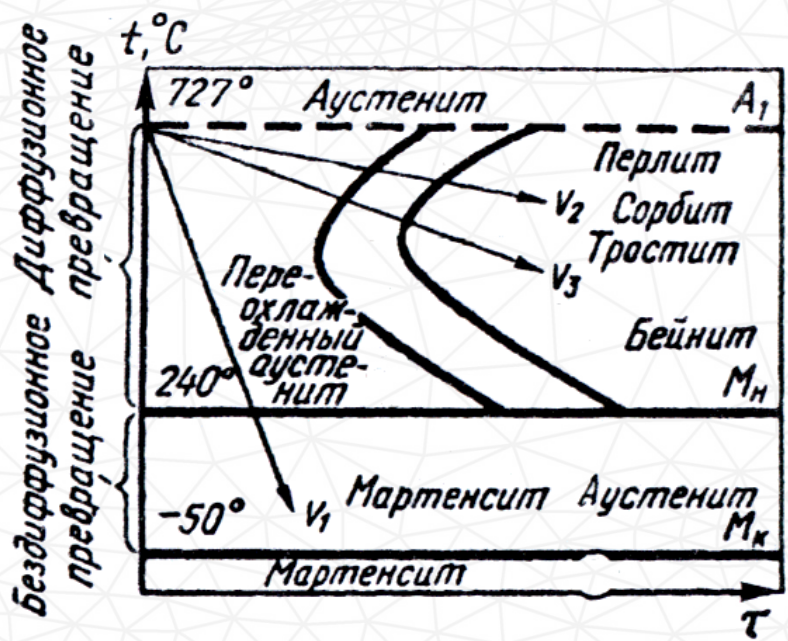
Сплав нагревают выше температуры фазового превращения в твердом состоянии, после чего быстро охлаждают, чтобы предотвратить равновесное превращение при охлаждении.

Отпуск – ТО, в результате которой в предварительно закаленном сплаве происходит фазовое превращение, приближающее его структуру к равновесной. После отпуска происходит распад пересыщенного твердого раствора, сформировавшегося при закалке. Отпущенная структура обеспечивает более высокие механические свойства по сравнению с отожженным состоянием.

Диаграмма Fe-C



Закалка

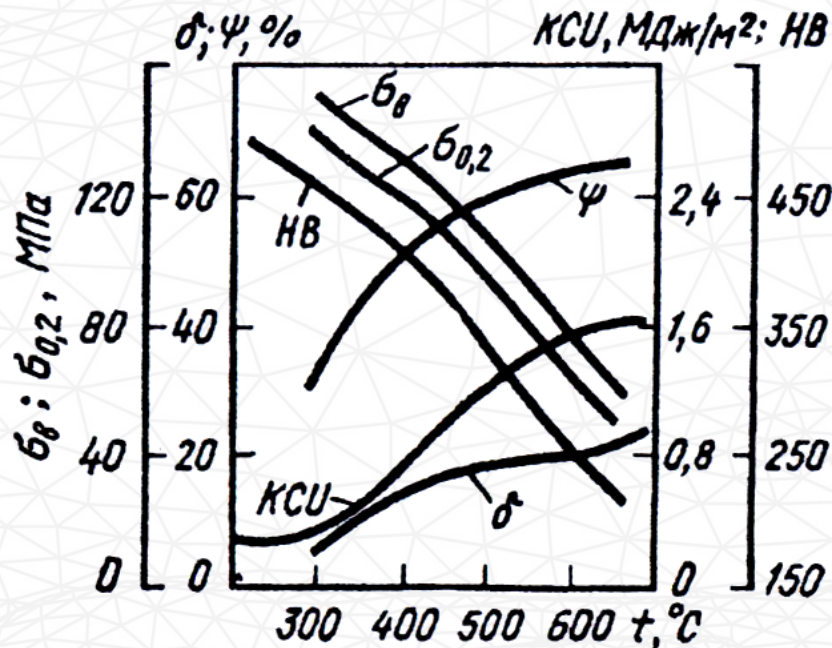


При охлаждении нагретой под закалку стали со скоростью выше критической (для конструкционных сталей охлаждение в воду) вместо диффузионного превращения аустенита в перлит, происходит **бездиффузионное мартенситное превращение.**

Образуется **мартенсит** — пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в α -железе.



Отпуск



Отпуск стали – термическая обработка, следующая за закалкой и заключающийся в нагреве стали до температуры ниже критической, выдержке и охлаждении.

Цель отпуска – получение более равновесной по сравнению с мартенситом структуры, снятие внутренних напряжений, повышение вязкости и пластичности.

Основной процесс, происходящий при отпуске – **распад мартенсита**, т.е. выделение углерода из пересыщенного твердого раствора в виде карбида железа.

Закалка и старение мартенситных нержавеющей сталей

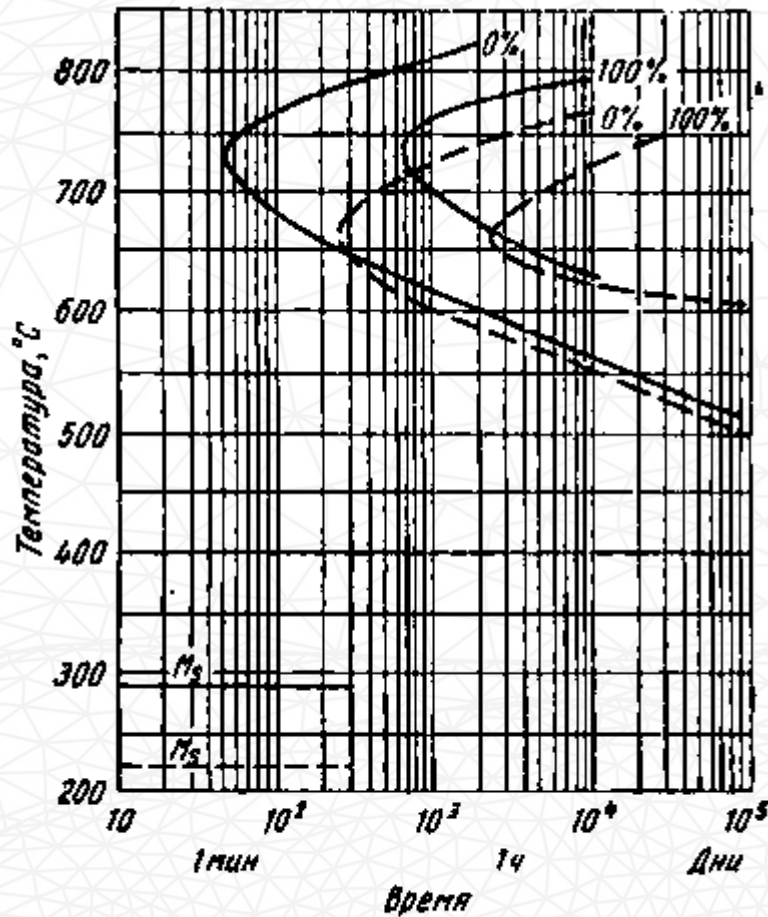


Рис. 62. Кривые изотермического превращения стали с 13% Cr и 0,16% C (сплошные); 14% Cr и 0,39% C (пунктирные)

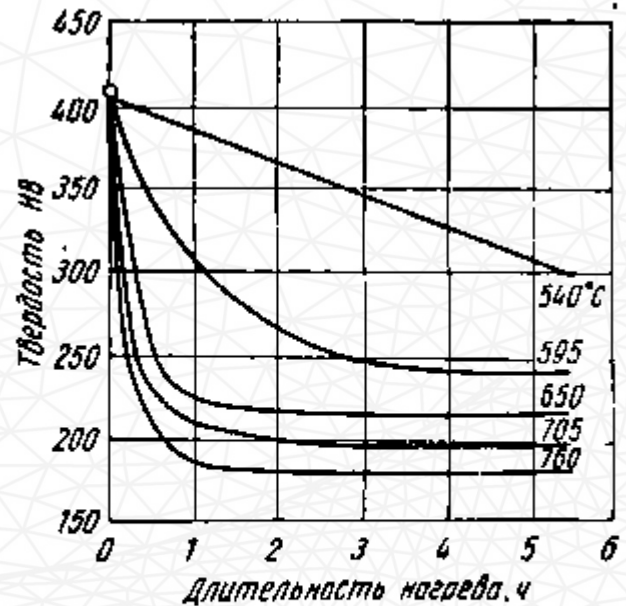


Рис. 66. Изменение твердости стали 1X13 в зависимости от длительности нагрева при различных температурах отпуска

Задание кинетики фазовых превращений Модель JMAK (Johnson – Mehl – Avrami - Kolmogorov)

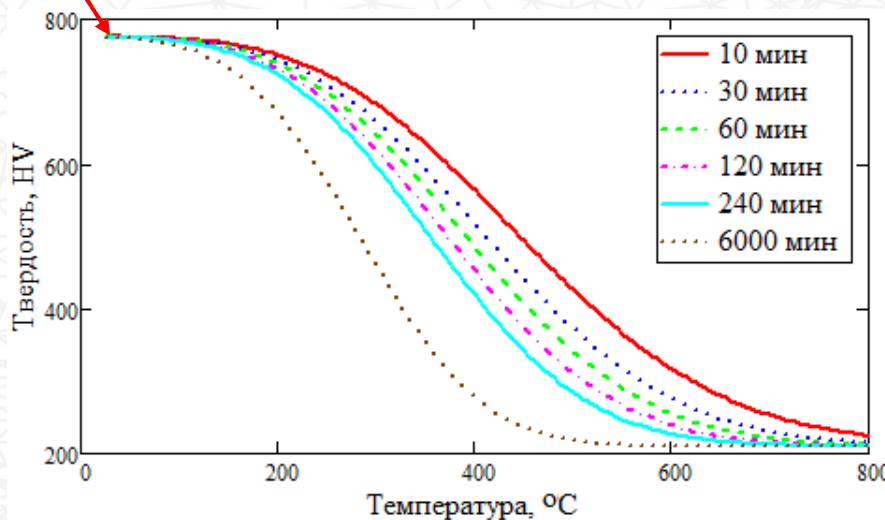
Модель может быть использована для моделирования процесса отпуска стали

Твердость мартенсита сразу после закалки

The screenshot shows the 'Деформируемые материалы' (Deformable materials) window. The 'Модель превращения' (Transformation model) is set to 'Диффузионное (формула)' (Diffusion (formula)). The JMAK equation is displayed as:

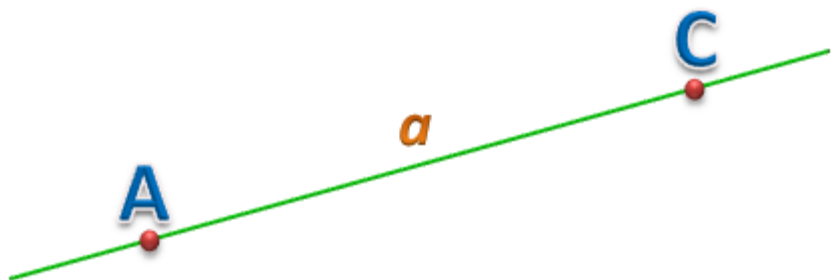
$$\xi(t, T) = 1 - \exp \left\{ - \left[D_0 \cdot \exp \left(\frac{-Q}{R \cdot T} \right) \cdot t \right]^m \right\}$$

Parameters are set to: $D_0 = 1e6$ [1/c], $Q = 130969$ [Дж/моль], $m = 0.235325$. The temperature range is 100 to 600 °C, and the time range is 600 to 3600 minutes. A graph shows the 'Доля фазы-продукта [%]' (Phase product share [%]) vs 'Температура [°C]' (Temperature [°C]). The graph shows two curves: a red curve for 10 minutes and a blue curve for 6000 minutes. The red curve is higher, indicating a higher phase product share at any given temperature compared to the 6000-minute curve.

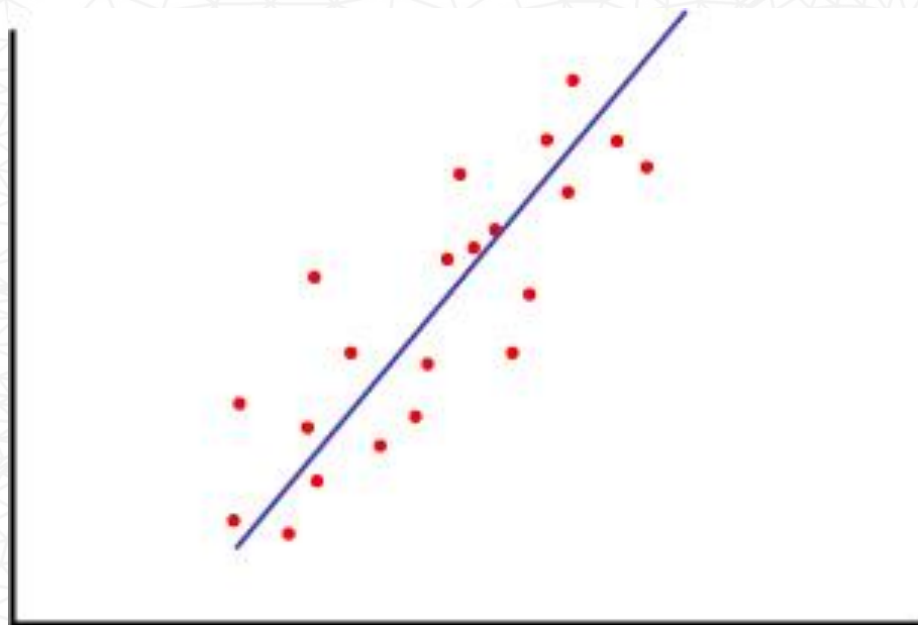


Метод наименьших квадратов

Через две точки на плоскости
можно провести прямую и только
одну



А если точек на плоскости –
три и более?



Метод наименьших квадратов

Дано:

1. Набор экспериментальных точек $(y_1, x_1), (y_2, x_2), \dots, (y_n, x_n)$
2. Линейная модель $y = a + bx$

Найти коэффициенты a и b

Переопределённая система
уравнений

$$\begin{cases} a + bx_1 = y_1 \\ a + bx_2 = y_2 \\ \dots \\ a + bx_n = y_n \end{cases}$$

В общем случае решения не имеет (т.к. экспериментальные точки обычно не ложатся в точности на одну прямую)

Необходимость в
приближенных методах

Метод наименьших квадратов
(МНК)

Минимизация суммы квадратов
отклонений RSS (Residual Sum of
Squares)

$$RSS = \sum_i (y_i - (a + bx_i))^2$$

Линеаризация

Математическая аппроксимация функциональной зависимости простейшей зависимостью, задаваемой линейными функциями

Например, есть зависимость экспоненциальная

$y = ae^{bx+c}$ заменим $y_1 = \ln y$, т.е. логарифмируем обе части равенства

Получаем ту же самую функцию, но в линейном виде

$$y_1 = \ln a + bx + c$$

Аппроксимация

Аппроксимация - приближенное описание зависимости переменных подходящим уравнением функциональной зависимости, передающим основную тенденцию зависимости

В научных исследованиях аппроксимация применяется для описания, анализа, обобщения и дальнейшего использования эмпирических результатов

Аппроксимация

