

Термическая обработка

Термическая и химико-термическая
обработка металлов и сплавов

Термическая обработка. Определение

Под термической обработкой понимают технологические процессы, при которых путем теплового воздействия целенаправленно изменяют структуру и свойства металлов и сплавов.

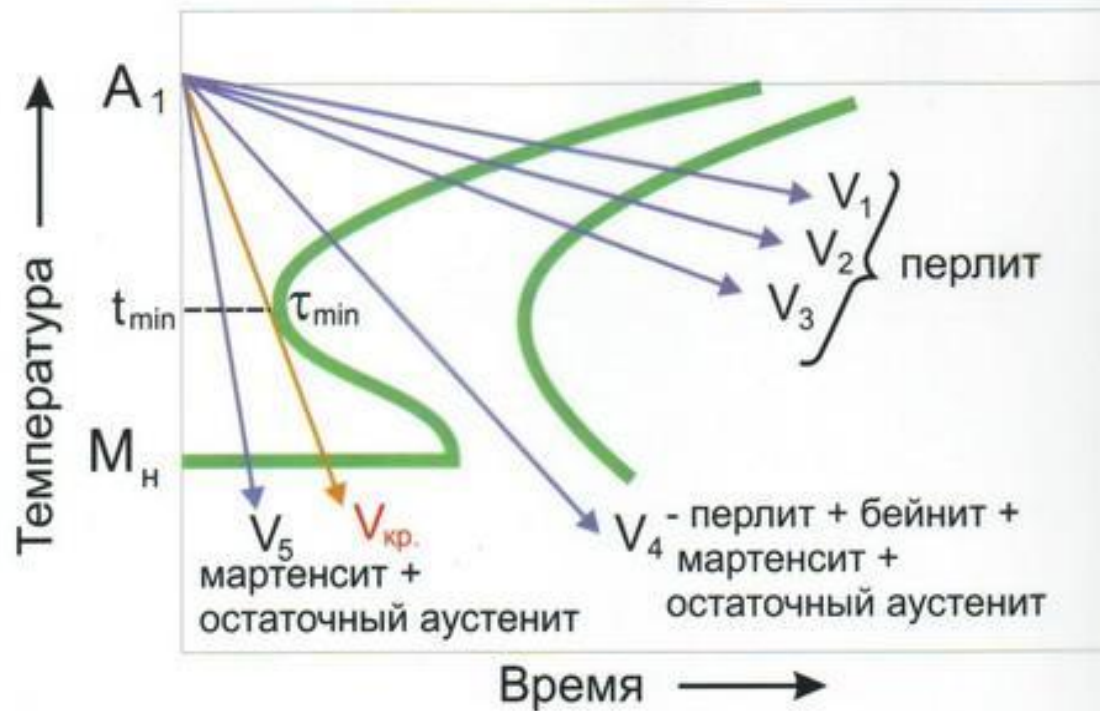
Схема термической обработки



Основные параметры термической обработки:

- температура нагрева;
- длительность выдержки;
- скорость нагрева;
- скорость охлаждения.

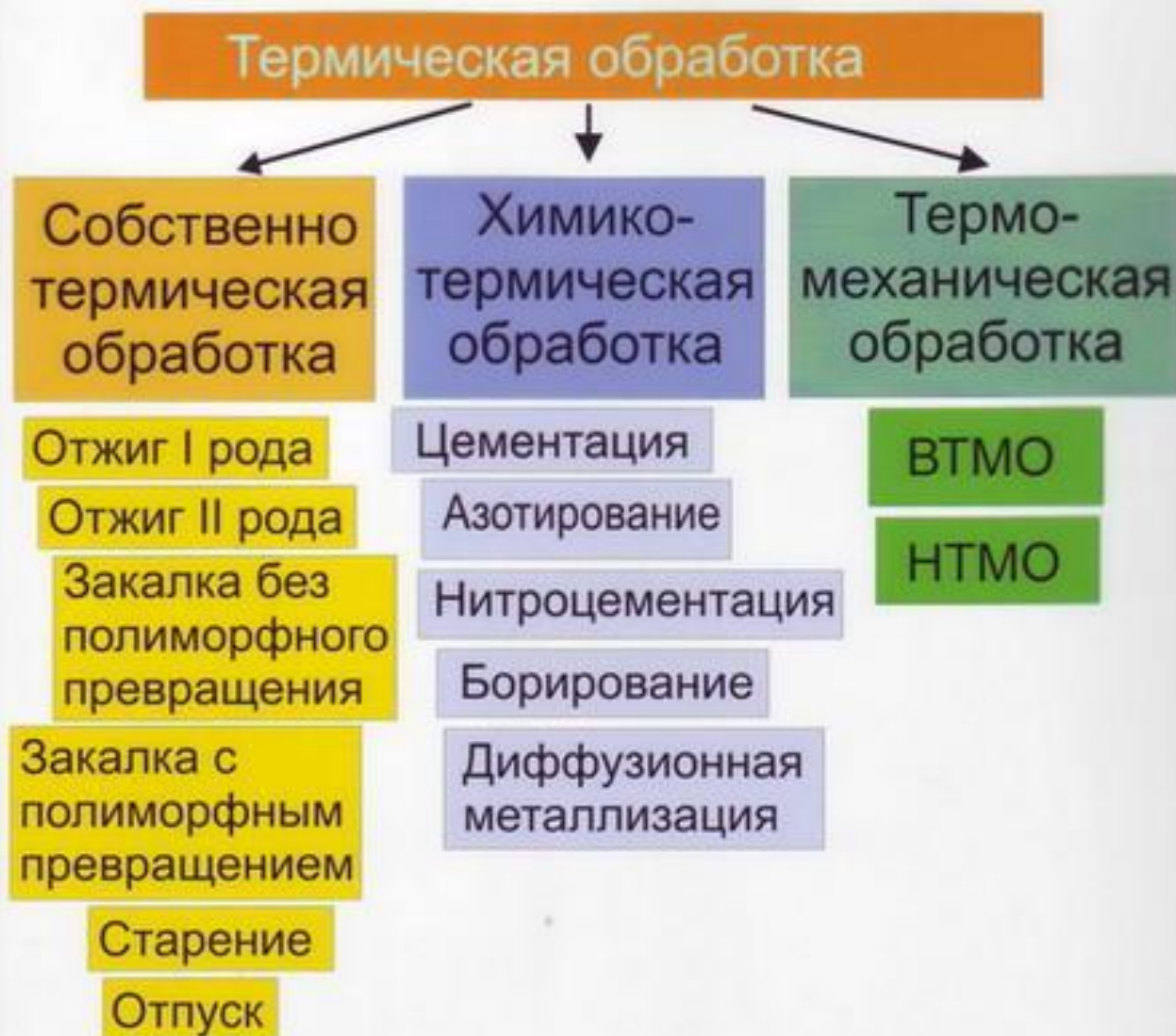
Превращение аустенита при непрерывном охлаждении



$V_{кр.}$ - критическая скорость закалки - минимальная скорость охлаждения, при которой весь аустенит будет переохлажден до мартенситного интервала

$$V_{кр.} = \frac{A_1 - t_{min}}{1,5 \tau_{min}}$$

Классификация видов термической обработки



Отжиг первого рода

При таком отжиге не используются фазовые превращения

- **Гомогенизационный (диффузионный) отжиг.**
Цель - уменьшение дендритной (внутрикристаллической) ликвации. Температура нагрева 1100-1200°C

- **Рекристаллизационный отжиг**
Цель - устранение наклепа, созданного холодной пластической деформацией. Нагрев производится выше температурного порога рекристаллизации (чаще всего до 600-720°C)

- **Отжиг для уменьшения внутренних напряжений**
Нагрев до 450 - 650° С.

Отжигом называют термообработку, направленную на получение в металлах равновесной структуры. Любой отжиг включает в себя нагрев до определенной температуры, выдержку при этой температуре и последующее медленное охлаждение. Цель отжига – уменьшить внутренние напряжения в металле, уменьшить прочностные свойства и увеличить пластичность.

Отжиг второго рода



Полный (перекристаллизационный) отжиг доэвтектоидных сталей
Для углеродистых сталей:
аустенитизация при $t = A_{c3} + (30-50^\circ\text{C})$
+ охлаждение со скоростью
150-200 град/час

Изотермический отжиг -
разновидность полного отжига -
применяется для **легированных сталей**.

Аустенитизация + ускоренное охлаждение до $t = A_{c1} - (50-100^\circ\text{C})$ + выдержка до полного распада переохлажденного аустенита.



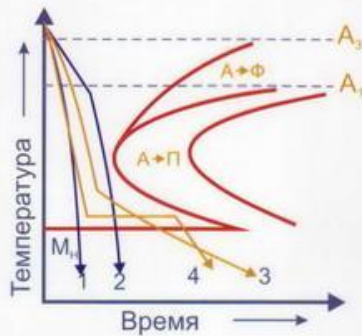
Неполный отжиг доэвтектоидных сталей:

Нагрев в интервал $A_{c1} - A_{c3}$ + охлаждение по режиму полного отжига.

Нормализация

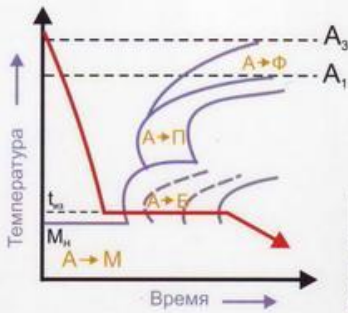
Аустенитизация при $t = A_{c3} + (30-50^\circ\text{C})$ для доэвтектоидных сталей и $t = A_{cm} + (30-50^\circ\text{C})$ для заэвтектоидных + ускоренное охлаждение на воздухе.

Способы закалки стали



- 1 - непрерывная закалка
- 2 - закалка с подстуживанием
- 3 - закалка в двух средах
- 4 - ступенчатая закалка

Изотермическая закалка



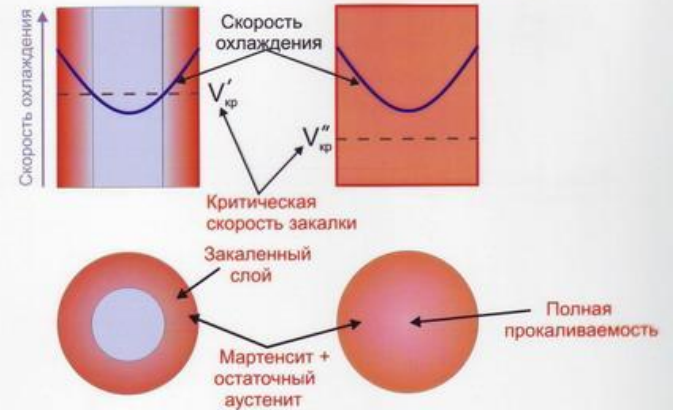
Изотермическая закалка обеспечивает формирование структуры нижнего бейнита.
 $T_{из} = M_n + (20-40^\circ\text{C})$

Свойства стали 40ХСНМА

Обработка	$\sigma_{0,2}$ МПа	σ_B МПа	δ , %	Ψ , %	KCU, МДж/м ²
Закалка в масле + отпуск 550°C, 2ч	1230	1320	12	45	0,53
Изотемическая закалка (325°C, 1ч)	1200	1400	19	55	0,92

Прокаливаемость стали

Под прокаливаемостью понимают глубину проникновения закаленной зоны



Определение прокаливаемости методом торцевой закалки



Поверхностная закалка



Лазерная закалка



Закалка с нагревом ТВЧ



Схема термического влияния



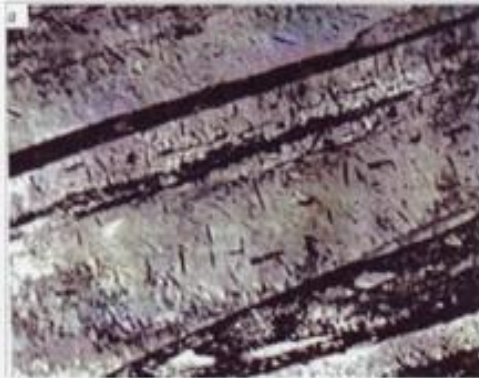
Сталь 20

Отпуск закаленной стали

Процессы, происходящие при отпуске закаленных углеродистых сталей:

- распад мартенсита с образованием карбидов (20-350°C)
- превращение остаточного аустенита по механизму бейнитной реакции (200-300°C)
- снятие внутренних напряжений и превращение ϵ -карбида (Fe_2C) в цементит (350-400°C)
- сфероидизация и коагуляция карбидов (450°C и выше)
- уменьшение плотности дислокаций, полигонизация и рекристаллизация ферритной матрицы (450°C и выше)

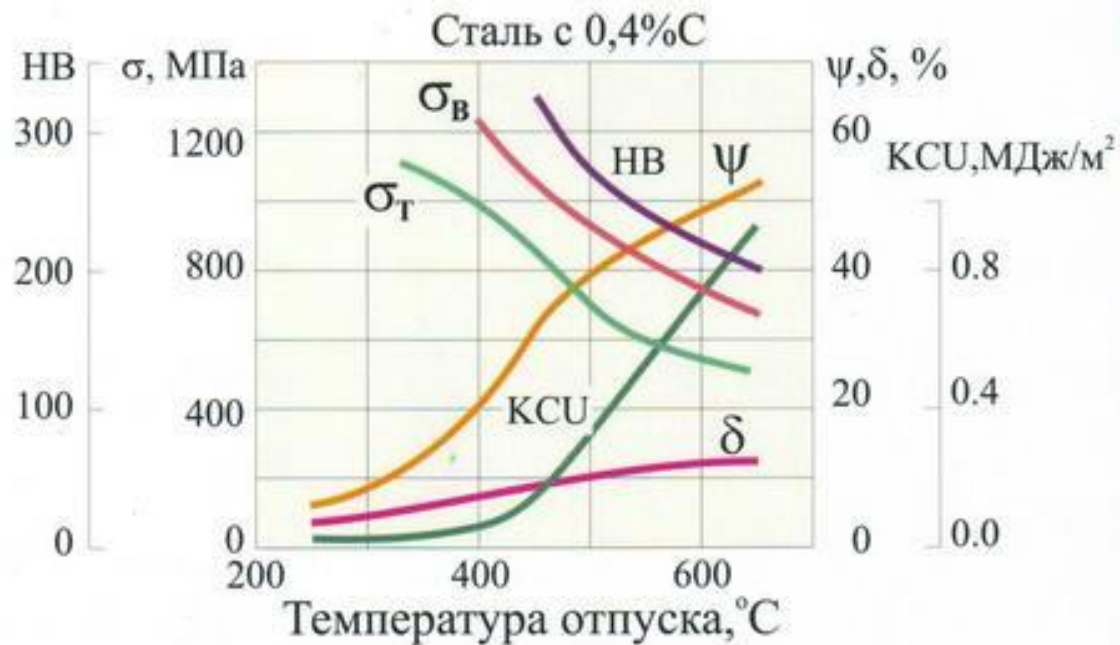
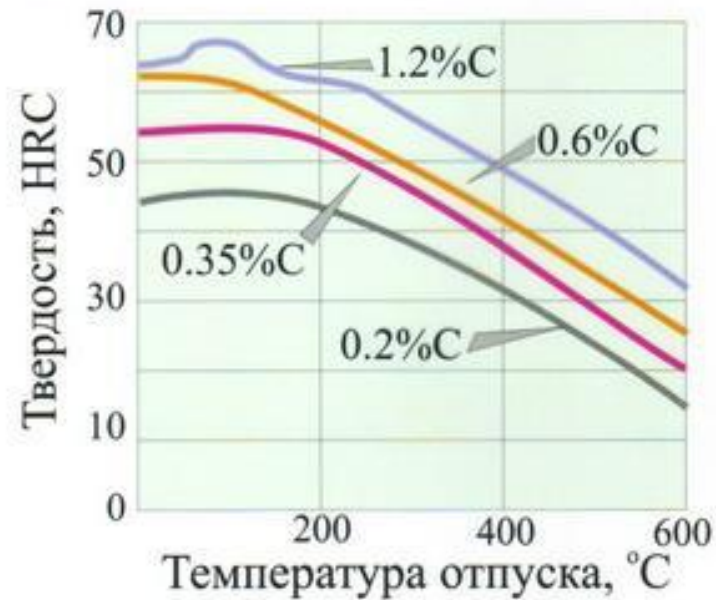
Низкий отпуск



Высокий отпуск

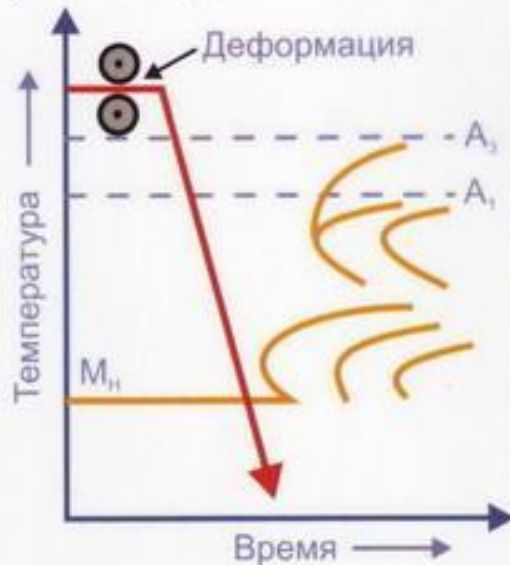


Изменение механических свойств при отпуске



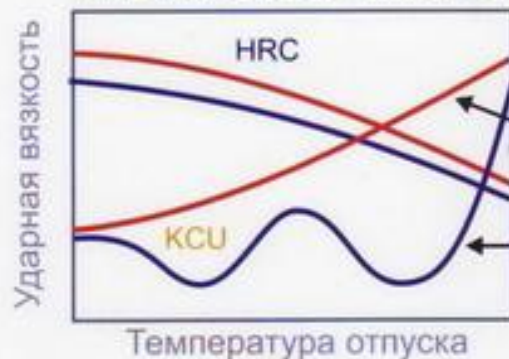
Высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО)

ВТМО заключается в совмещении горячей деформации, осуществляемой в аустенитном состоянии, с последующей закалкой на мартенсит и окончательном отпуске. При проведении ВТМО рекристаллизация горячедеформированного аустенита должна быть исключена.



Деформацию прокаткой, ковкой, или штамповкой проводят при 850-950°C с обжатиями 20-40%. ВТМО повышает пределы текучести и прочности на 150-250 МПа, циклическую прочность на 10-25%. Одновременно могут расти пластичность, ударная вязкость, сопротивление хрупкому разрушению

ВТМО является эффективным методом ослабления интеркристаллитных видов хрупкости сталей



Сталь 37ХНЗА

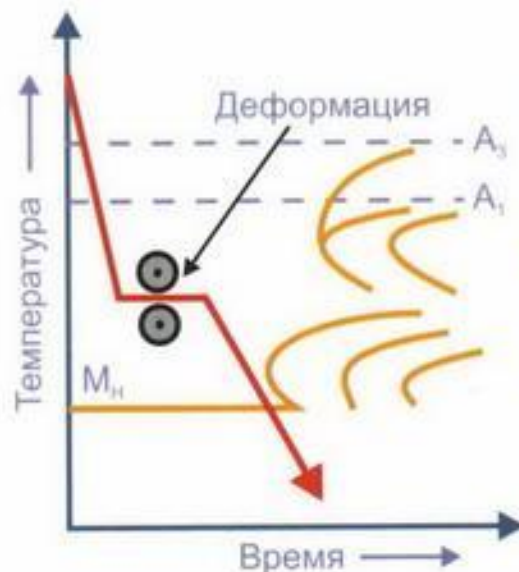
Аустенитизация при 1000°C, отпуск длительностью 1 час.

ВТМО с деформацией при 900°C на 20%.

Обычная термическая обработка

Низкотемпературная термомеханическая обработка (НТМО)

НТМО заключается в совмещении интенсивной пластической деформации переохлажденного аустенита в температурном интервале его высокой устойчивости, с последующей закалкой на мартенсит и отпуском.



Деформацию прокаткой, экструзией или волочением проводят при 600-400°С с обжатиями 70-95%.

Для легированных сталей НТМО позволяет получить высокий уровень прочностных свойств.

Свойства сталей после отпуска при 220°С

Марка стали	Обработка	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %
37ХН3А	Обычная термообработка	1300	1900	6
	НТМО с деформацией при 525°С на 70% прокаткой	2600	2800	5
40ХН5С	Обычная термообработка	1300	1900	—
	НТМО с деформацией при 525°С на 70% прокаткой	2600	3300	6

Химико-термическая обработка

- это технологический процесс, при котором некоторыми элементами насыщается поверхностный слой стальных деталей с целью изменения его химического состава, а следовательно, структуры и свойств.

Различают три стадии химико-термической обработки:

- **диссоциация** - процесс, протекающий во внешней среде и приводящий к выделению диффундирующего элемента в атомарном состоянии;
- **адсорбция** диффундирующего элемента поверхностью металла и растворение его в металле;
- **диффузия** элемента вглубь насыщаемого металла.

Толщина слоя L зависит:

- от продолжительности насыщения τ . При $t = \text{const}$ $L = k_1 \sqrt{\tau}$.
- от температуры. При $\tau = \text{const}$ $L = k_2 e^{-Q/RT}$ (где Q - энергия активации диффузионных процессов).

Толщина слоя тем больше, чем выше концентрация диффундирующего элемента на поверхности.



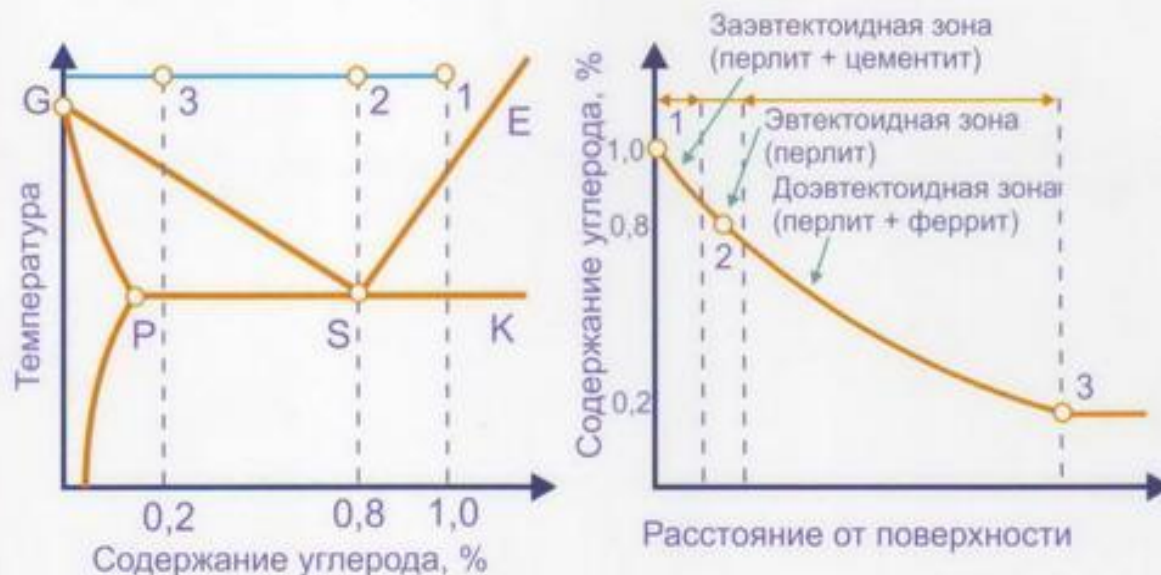
Цементация стали

- процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стальных деталей углеродом.

Такой обработке подвергают стали с 0,10 - 0,20% С.

Содержание углерода в поверхностном слое - 0,8 - 1,0% С.

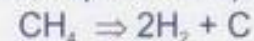
Толщина науглероженного слоя - 0,5 - 2,0 мм.



Цементация в твердом карбюризаторе. Процесс осуществляют при 910-930°C в карбюризаторе, состоящем из **древесного угля, 20-25% BaCO₃ и 3-5% CaCO₃.**



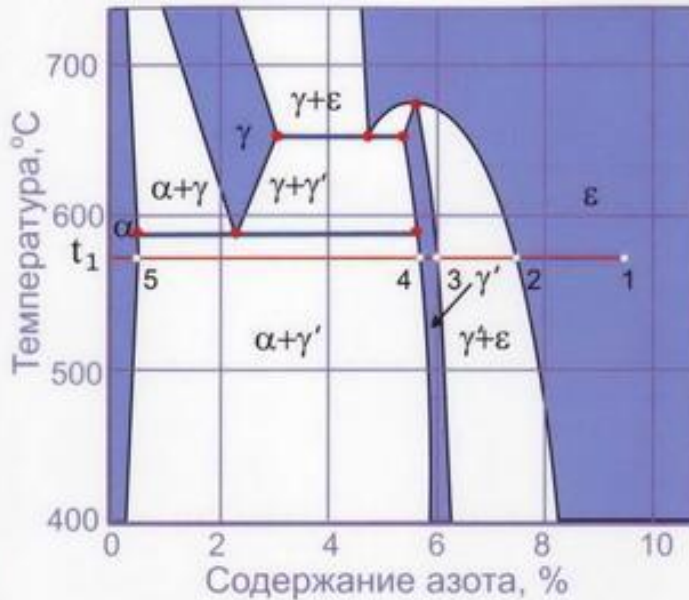
Газовая цементация проводится при 930-950°C с использованием природного газа или жидких углеводородов (бензола, керосина ...).



Азотирование стали

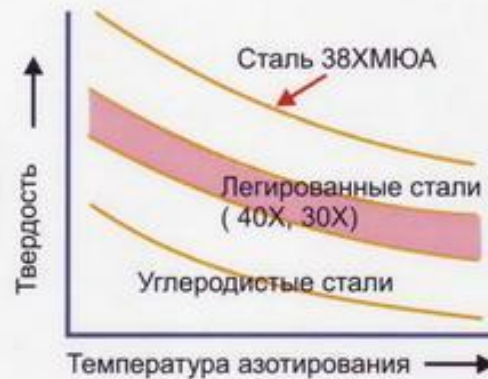
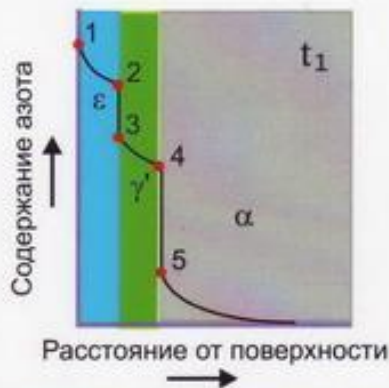
Азотирование - процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стальных деталей азотом.

Диаграмма Fe - N



α - азотистый феррит
 γ - азотистый аустенит
 γ' - нитрид Fe₄N
 ϵ - нитрид Fe₃N

Азотирование проводят в среде аммиака:
 $2\text{NH}_3 \Rightarrow 2\text{N} + 6\text{H}$
Температура азотирования 500 - 600°C
Толщина слоя 0,3 - 0,6 мм

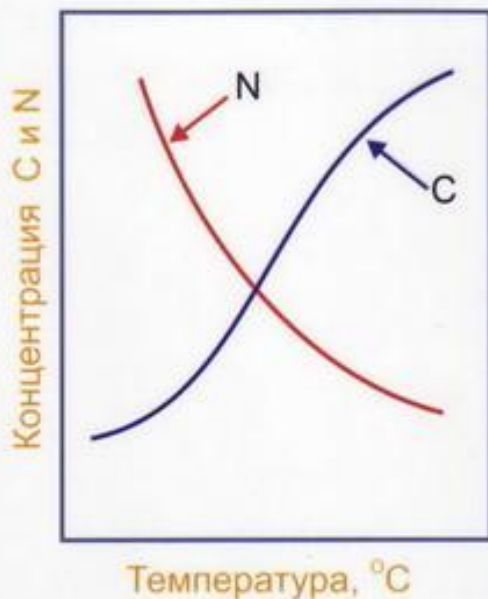


Целью азотирования являются повышение твердости поверхности изделия, выносливости и износостойкости, стойкости к появлению задиров и кавитационным воздействиям, повышение коррозионной стойкости в водных средах и атмосфере



Нитроцементация стали

Нитроцементация - процесс совместного насыщения поверхности стальных деталей углеродом и азотом. Она проводится либо в расплавленных цианистых солях (жидкостная нитроцементация или цианирование) либо в смеси науглероживающих газов и аммиака (газовая нитроцементация)



Различают высокотемпературную и низкотемпературную нитроцементацию.

Высокотемпературная нитроцементация

Температура процесса: 820 - 960°C
толщина диффузионного слоя -
- 0,15 - 2,00 мм

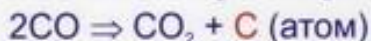
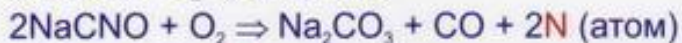
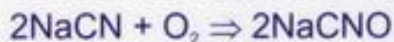
После нитроцементации производят закалку и низкий отпуск.
Твердость диффузионного слоя после термической обработки **58 - 62 HRC**.

Низкотемпературная нитроцементация

Температура процесса: 560 - 580°C
толщина диффузионного слоя -
- 0,2 - 0,6 мм.

Перед низкотемпературной нитроцементацией проводится **улучшение** - термическая обработка состоящая из закалки и высокого отпуска.

В основе жидкостной нитроцементации лежат следующие основные химические реакции:



Нитроцементации обычно подвергают детали сложной конфигурации, склонные к короблению. Нитроцементация имеет следующие преимущества по сравнению с газовой цементацией. Процесс происходит при более низкой температуре (840 - 860°C вместо 910 - 930°C); глубина слоя меньше; получают меньшие деформации и коробление изделий; повышается сопротивление износу и коррозии.

