Термическая обработка металлов

Сущность и назначение термической обработки

Термической обработкой

сплавов системы Fe-С называют

совокупность операция нагрева и охлаждения сплавов с целью изменения фазового состава и получения заданных механических свойств.

Назначение термической обработки металлов

 получение требуемой твердости, улучшение прочностных характеристик металлов и сплавов.

Классификация видов термической обработки



Особенности видов обработки

- **термическая обработка** только термическое воздействие
- **химико-термическая** сочетание термического и химического воздействия
- термомеханическая сочетание термического воздействия и пластической деформации

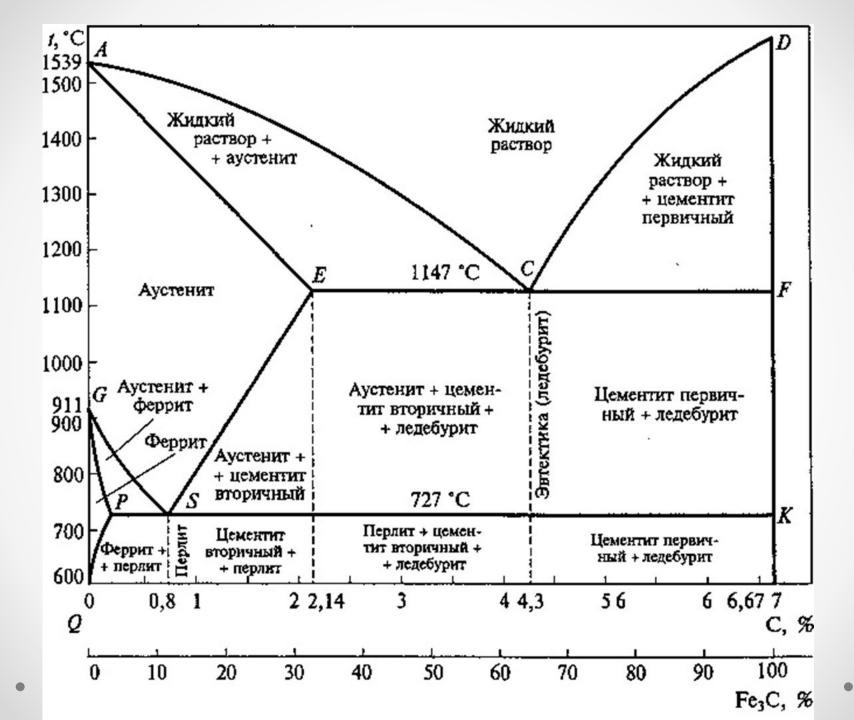
Фазовые превращения в сталях при

термической обработке

Для установления режимов термической обработки необходимо знать температуры, при которых в стали происходят превращения.

Такие температуры называются критическими и обозначаются буквой \mathbf{A} с индексами (например, $\mathbf{A_1}$, $\mathbf{A_2}$ $\mathbf{A_3}$ и др.).

Если рассматривается процесс нагревания, то к индексу добавляется буква **«с»**, если охлаждение – буква **«г»**.

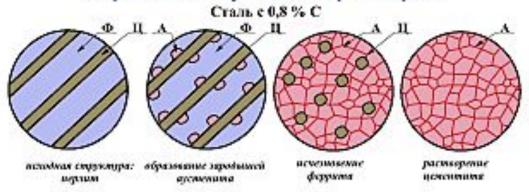


Главная цель нагрева стали – получение аустенитной структуры.

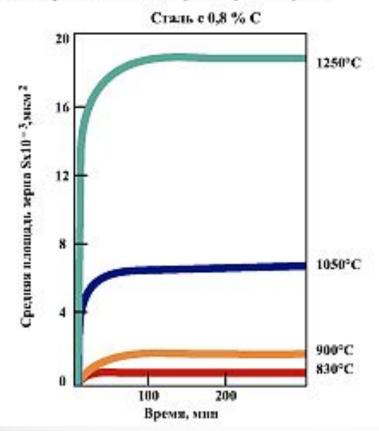
Аустенит (по имени английского ученого Аустена) — это твердый раствор углерода (и других элементов) в у-Fe. Атомы растворенного в аустените углерода располагаются в центре элементарных ячеек решетки.

До нагревания сталь имеет феррито-перлитную структуру, перлитную или перлитноцементитную.

Образование аустенита при нагреве



Рост аустенитного зерна при нагреве



Сталь нагревают ДО температуры, на 30-50 GSE выше ЛИНИИ И выдерживают ДЛЯ выравнивания состава во всех Образуется зернах. мелкозернистая структура. Нагрев до более высоких температур недопустим, так как приведет к росту зерен.

Главная цель охлаждения стали – превращение аустенита в желаемую структуру: перлит, сорбит, троосит или мартенсит.

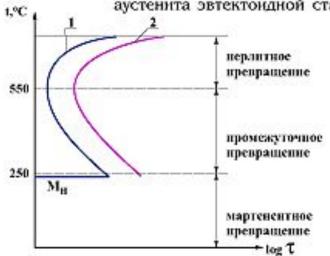
Образование этих структур зависит от скорости охлаждения (табл. 1).

Изменение структуры и твердости углеродистой стали эвтектоидного состава в зависимости от скорости охлаждения

Скорость охлажде- ния, °С/с	Температура превра- щения, °С	Структура	Твердость НВ (средние значения), кгс/мм ²
1	700-650	Перлит	200
10	650-600	Сорбит	300
50	600-500	Троостит	400
100	500-300	Троостомартенсит	500
150	300-200	Мартенсит	600

Превращение аустенита при охлаждении

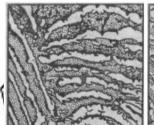
Диаграмма изотермического превращения аустенита эвтектоидной стали



I – начало превращения

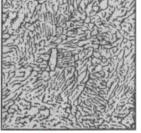
2 – копец превращения

I — мачал 2 — копец ee



перлит





троостит

сорбит микроструктуры при увеличении 7500



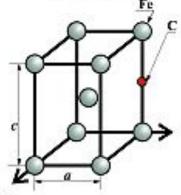
Различают:

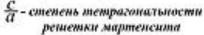
- периит (700-650°С) S_s=0,5-1,0 мкм
- сорбит (650-600°С) S₂=0,2-0,4 мкм
- троостит (600-550°C) S_s<0,1 лкм

Мартенситное превращение

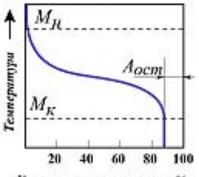
Мартенсит - пересыщенный твердый раствор внедрения углерода в а - железе

Кристаллическая ячейка мартенсита





Кривая мартенситного превращения



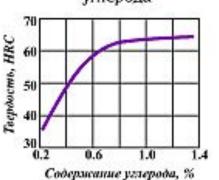
Количество мартенсита,%

Структура мартенсита



x 100

Зависимость твердости мартенсита от содержания углерода



Виды термической обработки

- Отжиг устраняет химическую неоднородность, уменьшает внутренние напряжения.
- Закалка проводится для сплавов, испытывающих фазовые превращения в твердом состоянии при нагреве и охлаждении, с целью повышение твердости и прочности путем образования неравновесных структур (сорбит, троостит, мартенсит).
- **Отпуск** проводится с целью снятия внутренних напряжений, снижения твердости и увеличения пластичности и вязкости закаленных сталей

Схема термической обработки

Любой процесс термической обработки может быть описан графиком в координатах температура — время



Основные температурные

воздействия

- нагрев до аустенитного состояния, вызывающий фазовую перекристаллизацию;
- охлаждение с различными степенями переохлаждения, при котором происходит превращение аустенита;
- нагрев закаленных сталей до определенных температур, изменяющих их структуру и свойства.

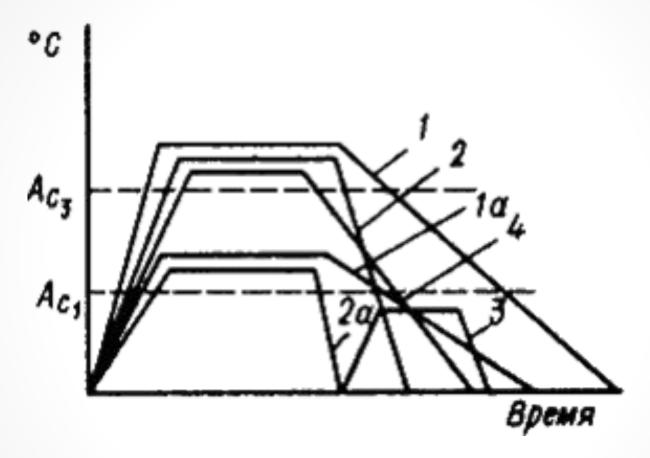
Цвета каления сталиОпределение температуры при термической обработке можно производить на основании цвета излучения нагретой стали или с использованием измерительных приборов.

Наименование	t °C
Ослепительно белый	1250 - 1300
Светло-желтый	1150 - 1250
Темно-желтый	1050 - 1150
Оранжевый	900 - 1050
Светло-красный	330 - 900
Светло-вишнево-красный	300 - 330
Вишнево-красный	770 - 300
Темно-вишнево-красный	730 - 300
Темно-красный	650 - 730
Коричнево-красный	580 - 650
Темно-коричневый	530 - 530

Параметры термической обработки:

- Максимальная температура нагрева сплава † тах
- Время выдержки сплава при температуре нагрева r _k
- Скорость нагрева V н
- Скорость охлаждения V_о
- Средняя скорость нагрева $Vh.cp = t_{max}/r_{H}$
- Средняя скорость охлаждения $Vo.cp = t_{max}/r_o$

Графики различных видов термообработки



Отжиг - (1, 1a), закалка - (2, 2a), отпуск - (3), нормализация - (4)

Графики различных видов термообработки



Отжиг и нормализация.

Назначение и режимы

Отжиг, снижая твердость и повышая пластичность и вязкость за счет получения равновесной мелкозернистой структуры, позволяет:

- улучшить обрабатываемость заготовок давлением и резанием;
- исправить структуру сварных швов, перегретой при обработке давлением и литье стали;
- подготовить структуру к последующей термической обработке.
- Характерно медленное охлаждение со скоростью 30...100°С/ч.

Отжиг І рода

Цель отжига – устранение отклонений от равновесного состояния, возникающих при технологических операциях. При таком отжиге не используются фазовые превращения.

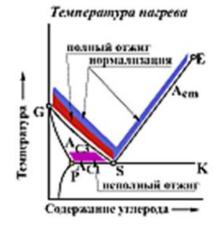
Получают сталь с минимальной плотностью дислокаций, низкой твердостью и высокой пластичностью.

- 1. <u>Диффузионный (гомогенизирующий) отжиг</u>, $T_{H} = 0.8 \, T_{DR} \, (1100 - 1200^{\circ} \, C)$, время выдержки 8-20 часов. Применяют для уменьшения химической неоднородности, образующейся при кристаллизации стали (устранение дендритной ликвации)
- **2.** Рекристаллизационный отжиг применяют для снятия наклепа, созданного холодной пластической деформацией, $T_H = 0.4 T_{пл}$ (600-700° C)
- 3. Отжиг для снятия напряжений после горячей обработки применяют для уменьшения напряжений, сохранившихся после окончания литья, сварки, обработки давлением и др., Т_н = 160.....700°C

Отжиг I I рода

Эта обработка заключается в нагреве до аустенитного состояния и последующем охлаждении, обеспечивающем протекание перлитного превращения и получения феррито-карбидной структуры. В отличие от отжига I рода проходит с фазовыми превращениями.

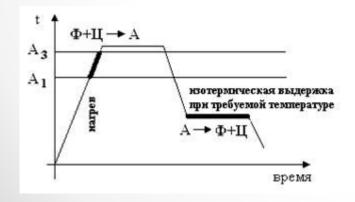
- 1. Полный
- 2. Неполный
- 3. Изотермический
- 4. Нормализация

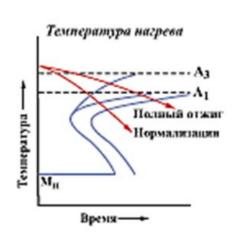


Полный отжиг

дожтектондных сталей:

Аустенитизация при t=A_{C3} + (30-50°C) + охлаждение со скоростью 150-200 град/час





Исполный отжиг

дожтектондных сталей:

Нагрев в интервал A_{C1}-A_{C3} + охлаждение по режиму полного отжига.

Нормализация

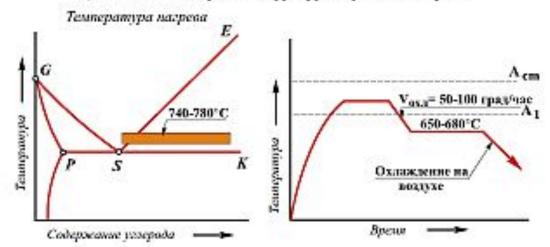
Аустенитизация при t=A_{C3}+(30-50°C) для доэвтектондных сталей н t=A_{Cm} + (30-50°C) для заэвтектондных + ускоренное охлаждение на вощухе.

• Изотермический отжиг

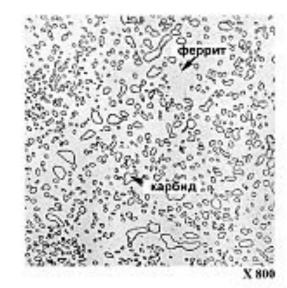
- вид *отжига* стали, заключающийся в нагреве изделия до аустенитного состояния, выдержке при такой температу ре, охлаждении примерно до 600-700° С, новой выдержке до окончания распада аустенита, затем охлаждении до комнатной температуры
- Нормализация нагрев выше линии GSE на 30-50 градусов и выдержка на спокойном воздухе. Структура обладает большей прочностью.

Сфероидизирующий отжиг, заэвтектоидных сталей

Цель отжига – получение структуры зеринстого перлига



Структура стали после сфероидизирующего отжига



Закалка

• Нагрев стали до температуры выше критической, выдержка и быстрое охлаждение. Цель закалки – получение неравновесной структуры стали



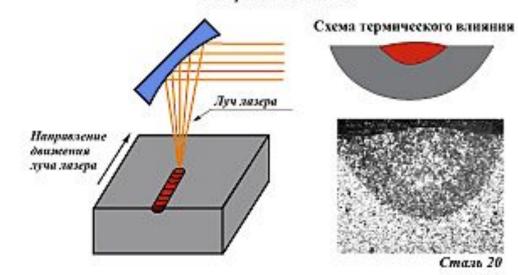
Закалка

- Закаливаемость способность стали приобретать высокую твердость при закалке.
- Закаливаемость определяется содержанием углерода. Стали с содержанием углерода менее 0,20 % не закаливаются.
- Прокаливаемость способность получать закаленный слой с мартенситной и троосто-мартенситной структурой, обладающей высокой твердостью, на определенную глубину
- Критический диаметр максимальное сечение, прокаливающееся в данном охладителе на глубину, равную радиусу изделия

Поверхностная закалка

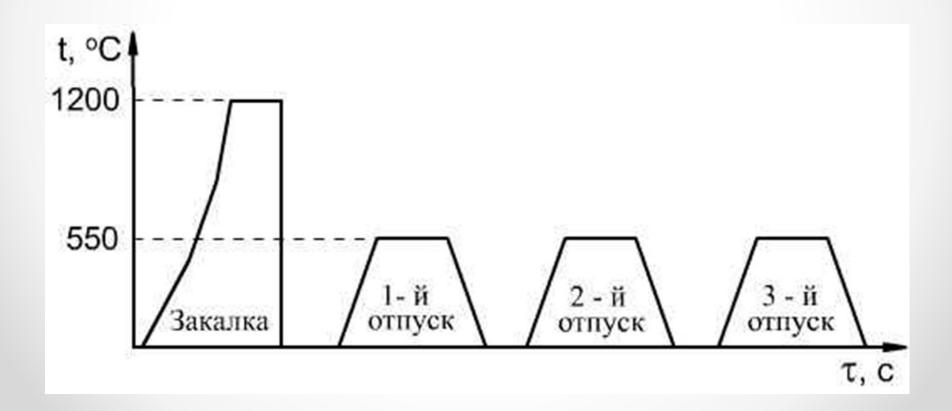


Лазерная закалка



Отпуск

Нагрев закаленной стали до температур ниже фазовых превращений с последующим охлаждением.



Отпуск закаленной стали

Ошнуск – это операция, заключающаяся в нагреве закаленной стали до температуры ниже точки A₁

Процессы, происходящие при отпуске закаленных углеродистых сталей:

- распад мартенента с образованием карбидов (20-350°C)
- препращение остаточного аустепита (200-300°C)
- сфероидизация и укруппение карбидов, уменьшение плотности дислокаций (400°С и выше)

Виды отпуска:

- низкий отпуск при 120 250°C
- средний отпуск при 350-450°C
- высокий отпуск при 500 670°C

Термическая обработка, включающая закалку и высокий отпуск, называется <u>улучшением</u>

Низкий отпуск

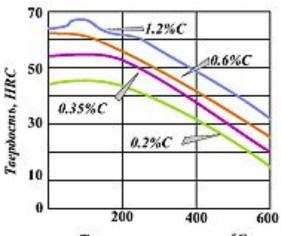


Высокий отпуск

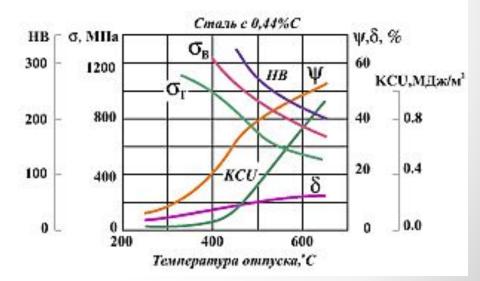


X 17000

Изменение механических свойств при отпуске



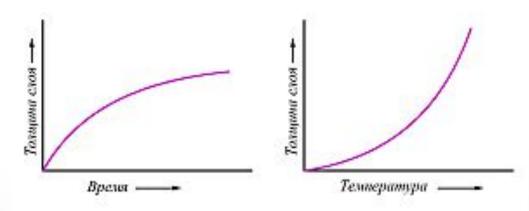
Температура отпуска, °С



Химико-термическая обработка

- При такой обработке насыщают поверхностные слои изделий одним или несколькими элементами
- Различают три стадии ХТО
 - диссоциация процесс, протекающий во внешенй среде и приводящий к выделению диффундирующего элемента в атомарном состоянии;
 - адсорбция диффундирующего элемента поверхностью металла и растворение его в металле;
 - о диффузия элемента вглубь насыщаемого металла.

Глубина диффузионного слоя в зависимости от продолжительности процесса и температуры



Основные виды химико-термической обработки стали:

- цементация;
- азотирование;
- нитроцементация;
- диффузионная металлизация

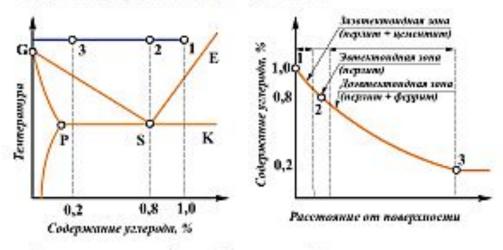
Цементизация

Цементация - процесс диффунионного насыщения поверхностного слоя стальных деталей услеродам.

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.



Иементиция в твердом карбюризаторе. Процесс осуществляют при 910-930°С в карбюризаторе, состоящем из древесного угля, 20-25% ВаСО₃ и 3-5% СаСО₃.

$$2C + O_2 - 2CO$$

 $BaCO_3 + C - BaO + 2CO$
 $2CO = CO_2 + C$

<u>Газовая нементация</u> прокодится при 930-950°C с использованием природного газа или экидких углеводородов (бензола, керосина ...) CH₄ = 2H₂ + C

Цементоканные изделия дополнительно подвергают термической обработке – закалке и низкому отпуску

Азотирование

<u>Атомирование</u> - процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стальных деталей азотом

До азотирования изделия подвергают закалке и высокому отпуску

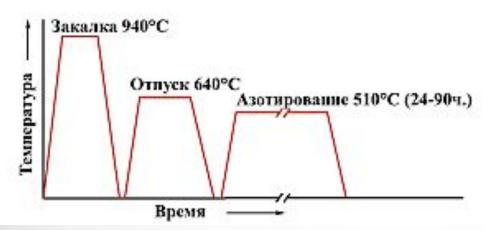
Азотирование проводят в среде аммиака: 2NH₃⇒ 2N + 6H

Температура азотирования 500 - 600°C

Толщина слоя 0,3 - 0,6 мм

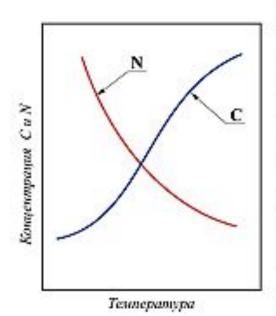
Азотированию подвергают среднеуглеродистые стали, легированные Al, Cr, Mo и V. Азот с этими элементами образует дисперсные интриды (CrN, VN и др.), в результате чего резко возрастает твердость азотированного слоя

Сталь 38Х2МЮА



Нитроцементация

Питроцементация - процесс сокместного 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 пизкотемпературную питроцементацию.

Высокотемиературная питроцементация

Температура процесса: 820 - 960°C толщина диффузионного слоя - 0,15 - 2,00 мм После витроцементации производят закалку и визкий отпуск

Низкотемпературная питроцементация

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

Перед низкотемпературной интроцементацией проводится улучшение -(закалка и высокий отпуск)

В основе жидкостной интроцементации лежат следующие основные химические реакции:

$$2NaCN + O_2 \Rightarrow 2NaCNO$$

 $2NaCNO + O_2 \Rightarrow Na_2CO_3 + CO + 2N$
 $2CO = CO_2 + C$

Диффузионная металлизация

Диффузионная металлизация - процесс диффузионного насыщения поверхностых слоев изделия различными металлами

Диффузионная металлизация производится - в расплавленных металлах;

- в расплавленных солях;
- в газовой среде;
- в твердой среде

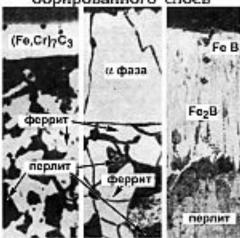
<u>Хромирование</u> – насыщение поверхностных слоев изделия хромом. Толщина хромированного слоя – до 0,2 мм

<u>Алитирование</u> – насыщение поверхностных слоев изделия алюмипием. Толщина алитированного слоя – 0,2 – 1,0 мм

Снилцирование – насыщение поверхностных слоев изделия кремнием. Толщина силицированного слоя – 0,3 – 1,0 мм;

<u>Борирование</u> – насыщение поверхностных слосв изделия бором. Толиция борированого слоя – 0,1 – 0,2 мм

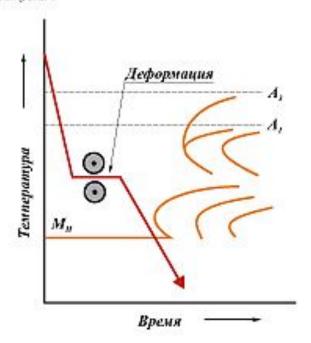
Микроструктура хромированного, силицированного и борированного слоев



Термомеханическая обработка

Низкотемпературная термомеханическая обработка (HTMO)

HTMO заключается в совмещении интенсивной пластической деформации переохлажденного аустенита в температурном интервале его высокой устойчивости, с закалкой на мартенсит отпуском

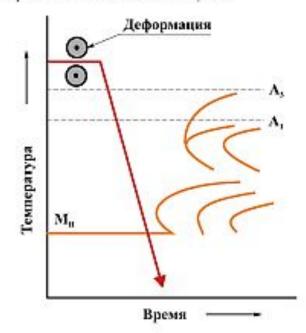


Деформацию прокаткой, экструзней или волочением проводят при 600-400°C с обжатиями 70-95%.

Для легированных сталей HTMO позволяет получить высокий уровень прочноствых свойств. (Од до 3000 – 3300 МПа)

Высокотемпературная термомеханическая обработка (ВТМО)

BTMO заключается в совмещении горочей деформации, осуществляемой в аустенитном состоянии, с закалкой на мартенсит и окончательном отпуске.



Деформацию прокаткой, колкой или штамполкой проводит 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