

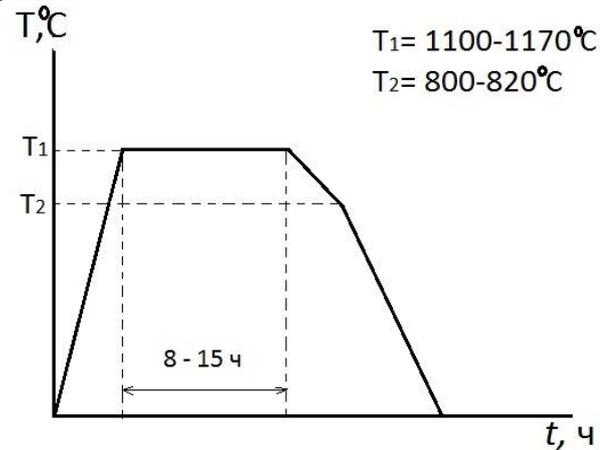


Собственно термическая обработка (ТО)

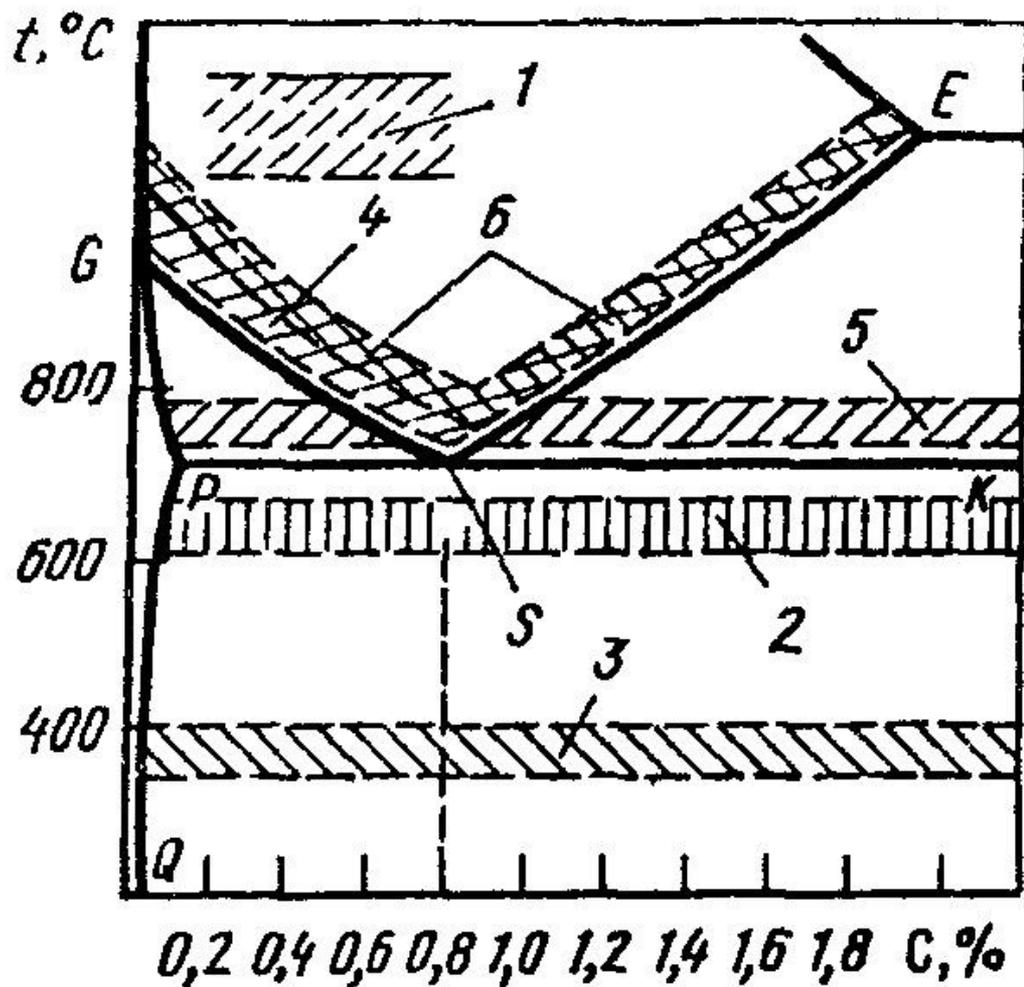
Отжиг I рода – термическая обработка, приводящая структуру литого и деформированного металла в наиболее равновесное состояние (сюда же – отжиг сварных соединений и отжиг для снятия напряжений в поверхностных слоях после механической обработки), проводится при T 550-680°C для углеродистых сталей, при T 430-600°C для серого чугуна.

Гомогенизационный (диффузионный) отжиг – для устранения последствий дендритной ликвации (химической неоднородности). Для слитков из углеродистых сталей совмещают с нагревом под горячую обработку давлением.

Рекристаллизационный отжиг – ТО деформированного металла для проведения процессов рекристаллизации. Для сталей применяют после холодной прокатки листов, лент и фольги, холодного волочения труб, прутков, холодной штамповки и теплой обработки давлением.



Отжиг II рода – проводится для управления структурообразованием при нагреве с использованием эффектов от фазовых превращений. Заключается в нагреве выше критических точек A_{c1} или A_{c3} , выдержке с последующим медленным охлаждением (как правило).

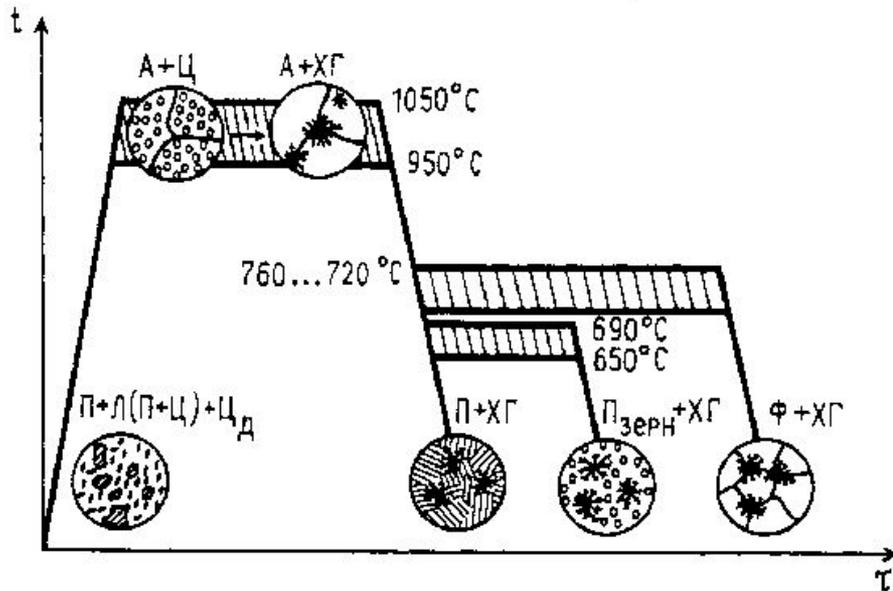


- 1 - диффузионный;
 - 2 - рекристаллизационный;
 - 3 - для снятия напряжений
 - 4 - полный;
 - 5 - неполный;
 - 6 - нормализация
- } Отжиг I рода
- } Отжиг II рода

Разновидности отжига II рода различаются способами охлаждения, степенью переохлаждения аустенита и положением температур нагрева относительно критических точек: полный, неполный, изотермический, сфероидизирующий, нормализационный, патентирование.

Отжиг чугунов

Графитизирующий отжиг



Нормализация

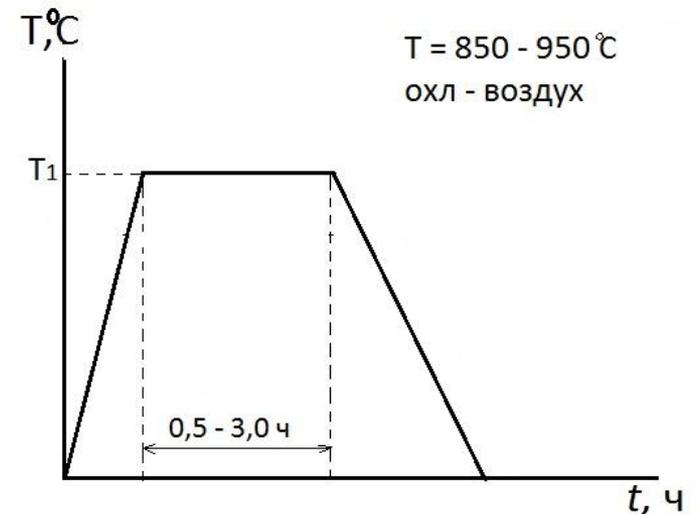


Схема нормализации чугунов

Схема отжига белого чугуна на

ковкий

Подвергают белые, серые и высокопрочные (модифицированные чугуны). Задача – перевод углерода из связанного состояния (цементита) в свободное (графит).

Подвергают отливки с ферритной или феррито-перлитной матрицей из серого, ковкого или высокопрочного чугуна для повышения твердости и прочности. При нагреве графит растворяется в аустените, при последующем ускоренном охлаждении на воздухе \Rightarrow структура перлита или сорбитообразного перлита.

Закалка сталей и сплавов

Без полиморфного превращения

Применяется к сплавам, в которых одна фаза полностью или частично растворяется в другой.

Цель – получение пересыщенного твердого раствора с максимальным содержанием легирующих элементов.

Основные параметры – T нагрева, t выдержки, V охлаждения (должна быть выше некоторой V критической, позволяющей избежать распада твердого раствора при охлаждении).

⇒ Образуется пересыщенный твердый раствор ⇒ повышение прочности, возможность дальнейшего упрочнения старением.

Для некоторых алюминиевых, медных сплавов; сплавов на основе титана, магния и никеля.

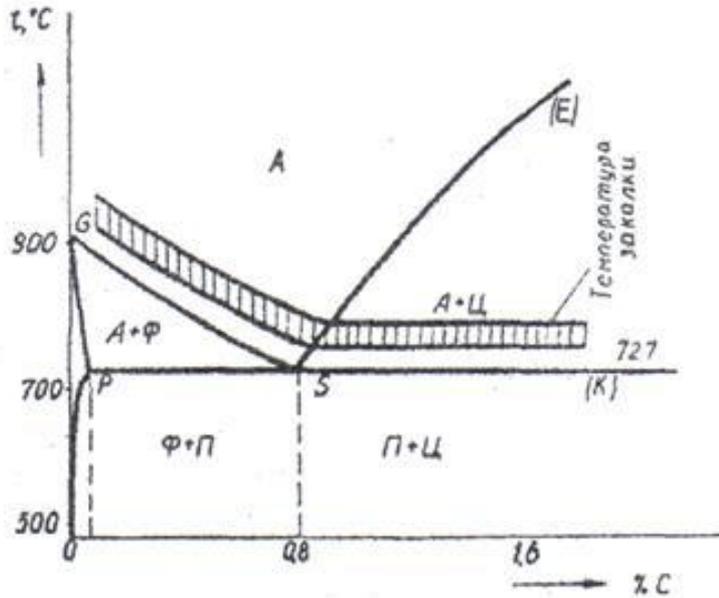
С полиморфным превращением (закалка на мартенсит)

Применяется к сплавам, которые имеют полиморфизм в низкотемпературной области и при резком переохлаждении испытывают сдвиговый механизм превращения – мартенситное превращение (кроме сталей есть в Ti сплавах и ряде бронз)

Цель – мартенситное превращение, для получения максимальной твердости.

Основные параметры – T нагрева, t выдержки, V охлаждения (определяется средой охлаждения).

Температура нагрева под закалку (аустенизация)



Для углеродистых сталей :

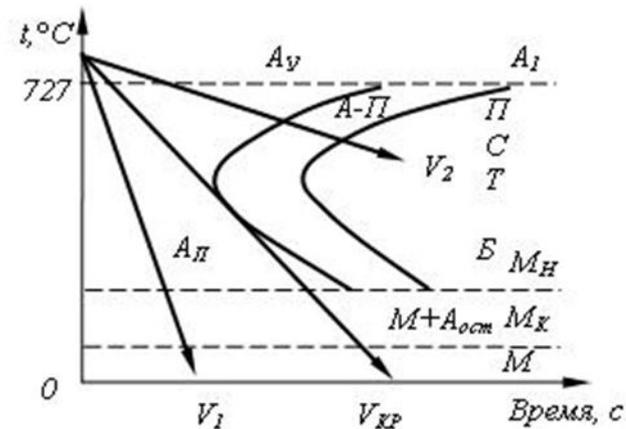
Доэвтектоидные – $T_H = A_{C3} + 30 \div 50 \text{ } ^\circ\text{C}$

Заэвтектоидные – $T_H = A_{C1} - A_{Cm}$

Легированные – T растворения карбидов в аустените

Продолжительность нагрева – для заготовок и изделий простой формы определяется как при отжиге II рода; для изделий сложной формы пользуются специальными формулами. Нагрев и выдержку осуществляют в защитных средах для предотвращения окисления и обезуглероживания.

Охлаждение

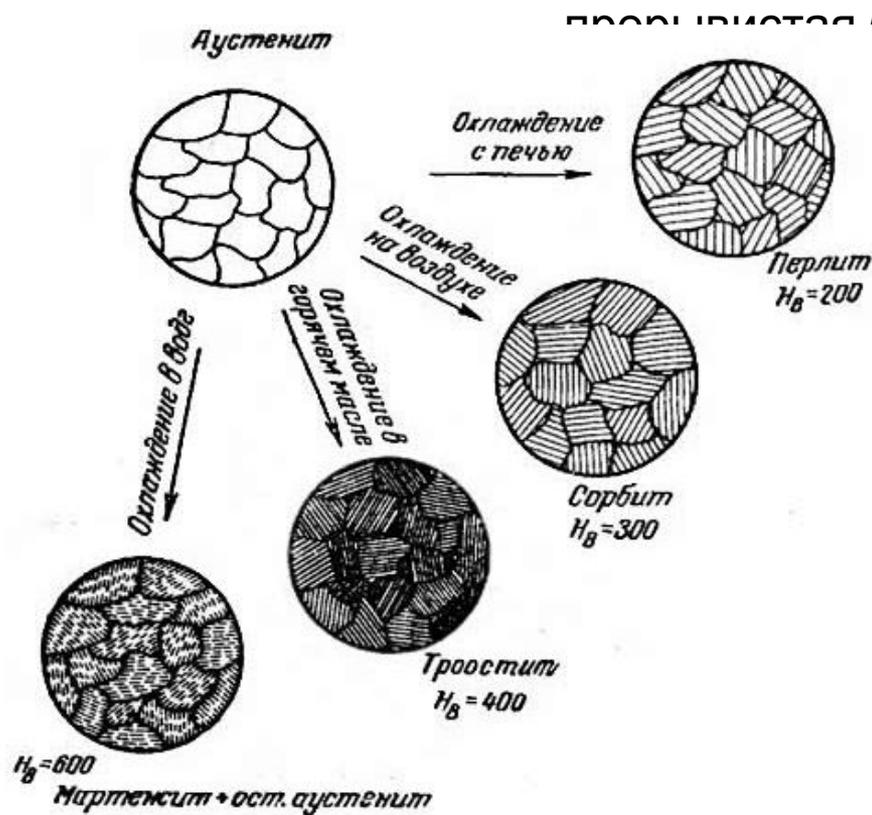


Определение критической скорости охлаждения по С-диаграмме

Наиболее распространенные закалочные среды – вода и масло

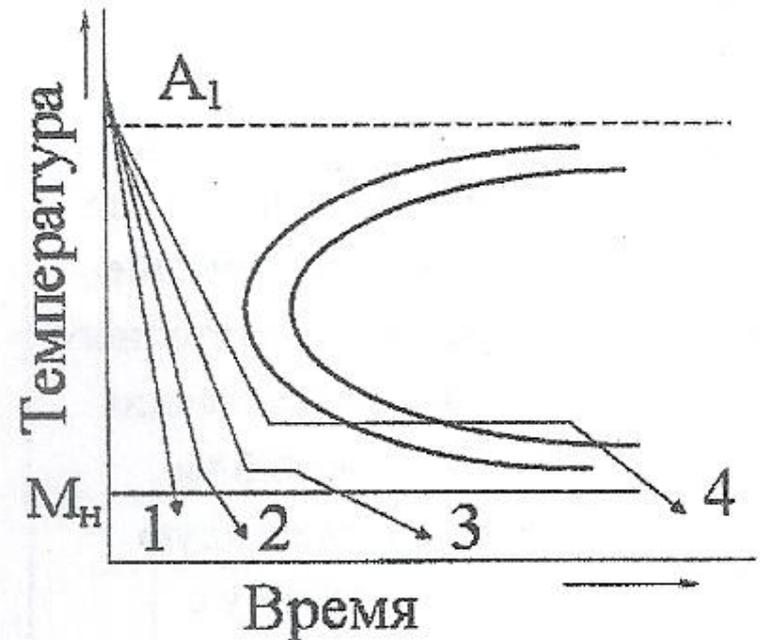
Способы заковки стали

- 1) В зависимости от нагреваемого объема – поверхностная и объемная
- 2) В зависимости от способа охлаждения – непрерывная (в одном охладителе) (1)



продолжается в двух средах (2)

1)
 2)
 3)
 4)
 М



Старение и отпуск - проводятся после закалки

Старение – изменение свойств при климатических или высоких температурах, при вылеживании, эксплуатации при разных температурах после холодной пластической деформации.

Отпуск – заключительная операция термической обработки, состоящая из нагрева стали, закаленной на мартенсит до различных температур, с последующим охлаждением, при котором формируется окончательная структура стали. Различают низкий, средний и высокий отпуск.

Низкий отпуск – при температурах 180 - 220°С – для снижения внутренних напряжений при сохранении высокой твердости деталей. Структура – мартенсит отпуска. Применяется для режущего и мерительного инструмента.

Средний отпуск – при температурах 350 – 450°С – для некоторого снижения твердости при значительном увеличении предела упругости. Структура – троостит отпуска, обеспечивающий высокие пределы прочности, упругости и выносливости, сопротивляемость действию ударных нагрузок.

Высокий отпуск – при температурах 550 - 650°С – для оптимального сочетания прочностных, пластических и вязких свойств. Структура – сорбит отпуска. Для деталей, подвергающихся воздействию высоких напряжений и ударным нагрузкам.

Закалка + высокий отпуск - *термоулучшение*

Дефекты, возникающие при термообработке

При отжиге и нормализации

Окисление – образование окалины на поверхности металла в процессе нагрева и выдержки металла в печи.

Обезуглероживание – выгорание углерода с поверхности деталей, происходит при окислении. Снижает прочностные свойства стали, может вызвать образование закалочных трещин и коробление. Для предохранения от окисления и обезуглероживания применяют защитные газы (вводят в атмосферу печи).

Перегрев – быстрый рост зерен \Rightarrow образование крупнокристаллической структуры. Ведет к снижению пластических свойств, возникает при нагреве выше определенных T и длительных выдержках.

Пережог – окисление границ зерен, возникает при длительной выдержке металла при T , близких к T плавления. Неисправимый брак.

сталей

При закалке

Закалочные трещины – возникают при слишком резком охлаждении или резком нагреве, при наличии концентраторов напряжений, неметаллических включений и пр.

Деформация и коробление – для борьбы применяют ступенчатую и изотермическую закалку, закалку в двух средах, правильные способы погружения детали в закалочную среду.

Пятнистая закалка – образование на поверхности детали участков с пониженной твердостью (мягких) – результат неравномерного охлаждения поверхности детали при закалке.

Недогрев – при нагреве ниже T критической – ведет к неполному полиморфному превращению \Rightarrow снижению прочностных характеристик закаленной стали.

Перегрев – быстрый рост зерен, образование крупнокристаллической структуры

Химико-термическая обработка стали

(ХТО)

Диффузионное насыщение
неметаллами

Цементация - науглероживание поверхности малоуглеродистых сталей (0,15 – 0,25 %С) – получение на поверхности детали высокой твердости и износостойкости в сочетании с вязкой сердцевиной

Азотирование – насыщение поверхностного слоя азотом – получение поверхностного слоя с особо высокой твердостью, износостойкостью, повышенной усталостной прочностью и сопротивлением коррозии в водной среде, паровоздушной и влажной атмосфере – глубина 0,4 – 0,5 мм

Нитроцементация – одновременное насыщение поверхности углеродом и азотом – повышение твердости и износостойкости деталей – глубина слоя 1,0 – 1,2 мм при

Борирование – придает поверхностному слою исключительно высокую твердость при высокотемпературной НЦ, до 0,01 – 0,04 мм (до 1800 – 2000 НВ), износостойкость и коррозионную стойкость в различных средах, при низкотемпературной НЦ.
толщина 0,1 – 0,2 мм

Диффузионная
металлизация
Алюминирование – насыщение поверхности алюминием (для повышения коррозионной стойкости) - толщина 0,2 – 0,5 мм

Хромирование – высокая стойкость против газовой коррозии при Т до 800°С, стойкость в морской воде и кислотах – толщина до 0,2 мм

Силицирование – насыщение кремнием – высокая кислотоупорность в соляной, серной и азотной кислотах – для деталей в химической и нефтяной промышленности, толщина 0,3 – 1,0 мм

Цементация

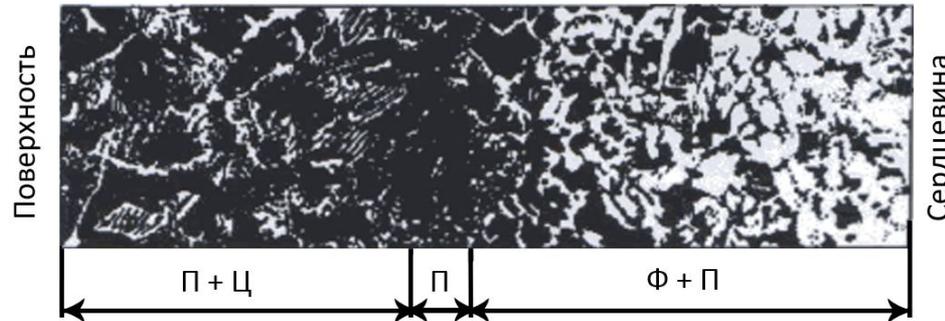
С твердым

карбюризатором

Карбюризатор – дубовый и березовый древесный уголь с активаторами BaCO_3 или Na_2CO_3 ;
 T нагрева – 930 - 950°C (когда сталь находится в аустенитном состоянии)
Глубина слоя от 0,5 до 2 мм

В газовой среде

Карбюризатор – газовые смеси, содержащие CO , CH_4 (природный газ) и др.
 T нагрева – 910 – 930, реже 1000 - 1050°C
Глубина слоя до 1,0 – 1,5 мм



Структура углеродистой стали после цементации

Основной режим **термической обработки** после цементации – закалка из аустенитной области и низкий отпуск \Rightarrow формируется вязкая структура сердцевины и высокопрочная, твердая поверхность низкоотпущенного мартенсита .

Цементуемые стали – экономнолегированные стали типа 25ХГТ, 25ХГМ, 20ХГМТР и пр. с высокопрочной сердцевиной, простой термообработкой и хорошо управляемой структурой поверхностного слоя (HRC 60-62)

Свойства металлов и методы их испытаний

Свойства металлов:

Физические свойства – определяют поведение металла в тепловых, гравитационных, электромагнитных и радиационных полях – плотность, теплоемкость, T плавления, термическое расширение, магнитные характеристики, теплопроводность, электропроводность.

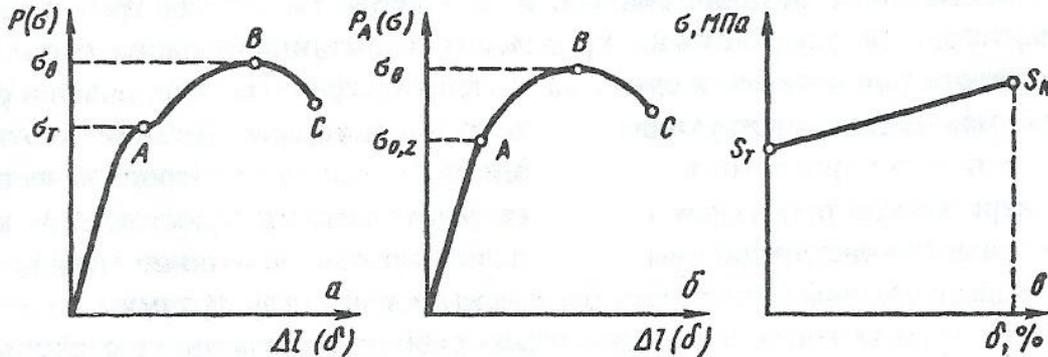
Химические свойства – способность материалов вступать в химическое взаимодействие с другими веществами; сопротивляемость окислению, проникновению газов и химически активных веществ (коррозия – один из примеров взаимодействия металлов с окружающей средой).

Технологические свойства – способность металлов и сплавов подвергаться горячей и холодной обработке, в т.ч. выплавке, горячему и холодному деформированию, обработке резанием, термической обработке и, особенно, сварке.

Механические свойства – характеризуют способность материалов сопротивляться деформированию и разрушению под воздействием различного рода нагрузок. Результаты определения механических свойств используют в расчетной конструкторской практике при проектировании машин и конструкций

Статические испытания

Испытание на растяжение (ГОСТ 1497-84)



Диаграммы растяжений:

а – с площадкой текучести; б – без площадки текучести; в – диаграмма истинных напряжений.

P – нагрузка, Δl – удлинение, F_0 , l_0 – начальная площадь сечения и длина образца.

Модуль упругости $E = \sigma / \delta$ – является константой материала.

Характеристики прочности:

Предел текучести $\sigma_T = P_T / F_0$ (Мпа);

Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ (Мпа);

Временное сопротивление $\sigma_B = P_B / F_0$ (Мпа);

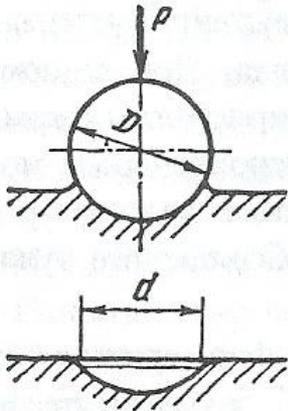
Характеристики пластичности:

Относительное удлинение $\delta, \%$: $\delta = [(l - l_0) / l_0] \cdot 100$

Относительное сужение $\Psi, \%$: $\Psi = [(F_0 - F) / F_0] \cdot 100$

Измерение твердости

Твердость – свойство материала оказывать сопротивление деформации в поверхностном слое при местных контактных воздействиях



По Бринеллю (ГОСТ 9012-59)

Индентор – стальной шарик;

D – диаметр стального шарика;

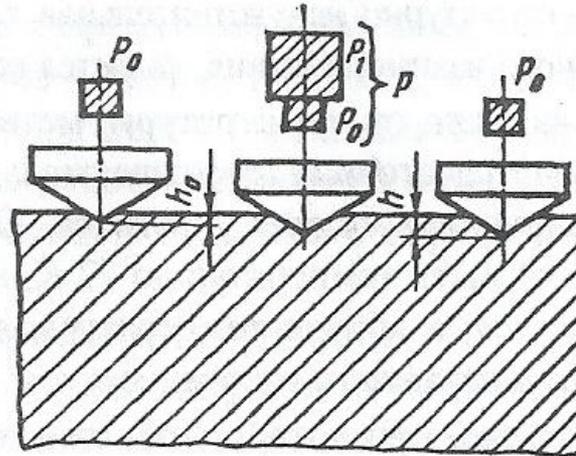
P – постоянная нагрузка;

d – диаметр отпечатка.

Число твердости $HV = P/S_d$

На практике HV определяют по таблицам, исходя из d .

Не применяется для стали



По Роквеллу (ГОСТ 9013-59)

Индентор – алмазный конус (или маленький стальной шарик);

P_0 – предварительное нагружение

$P_0 = 100 \text{ Н}$

P_1 – основное нагружение:

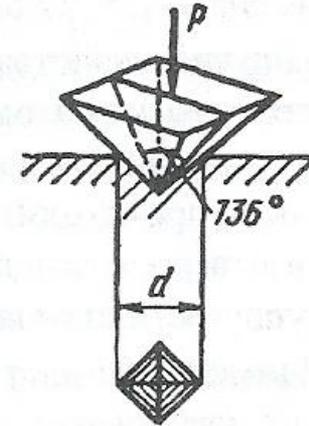
$P_1 = 500 \text{ Н}$ шкала А (HRA);

$P_1 = 900 \text{ Н}$ шкала В (HRB);

$P_1 = 1400 \text{ Н}$ шкала С (HRC) (для

определения твердости материалов с твердостью более

450HV)



По Виккерсу (ГОСТ 2999-75)

Индентор – алмазная пирамидка;

P – нагрузка (меняется от 10 до 1000 Н), чем мягче материал, тем меньше должна быть нагрузка.

d – диагональ отпечатка.

Число твердости HV определяют с помощью таблиц по величине

диагонали отпечатка.

Микротвердость



Микротвердомер ПМТ-3

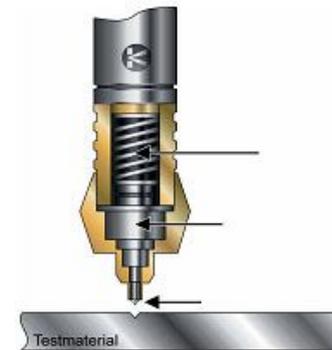


Серия отпечатков индентора микротвердомера в зоне сплавления двух различных металлов.

Твердость по Либу (методом отскока)



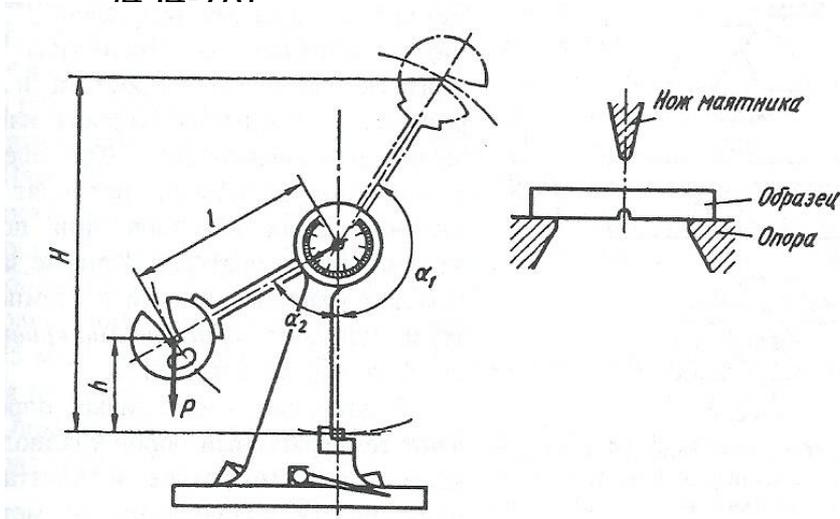
Портативный твердомер Equotip



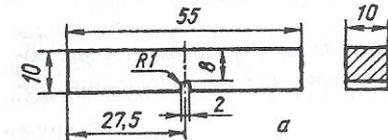
Индентор портативного твердомера типа Equotip или TEMП-4

Динамические испытания

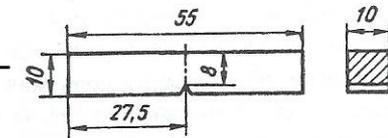
Испытание на ударный изгиб (ГОСТ 9454-78)



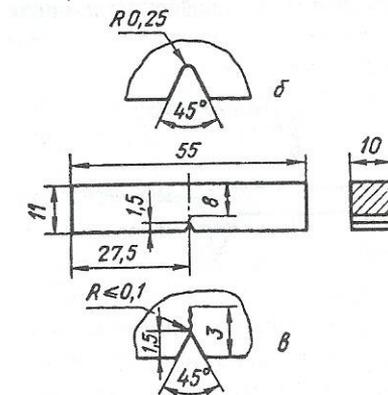
Тип I (Менаже) – круглый надрез



Тип II (Шарпи) – острый надрез



Тип 15 – с иницированной трещиной



Метод основан на разрушении образца с надрезом одним ударом маятникового копра. Образец устанавливают на опорах копра и наносят удар по стороне образца, противоположной надрезу. По результатам испытания определяется работа удара (KU , KV и KT) и ударная вязкость (KCU , KCV и KCT). В этих обозначениях последние буквы являются символами концентраторов напряжений (по типу надреза ударного образца).