



Матеріалознавство

«Пластическа деформация и рекристаллизация»

Автор: доц. Глушкова Д.Б.
Lect 3_1M_TKMIM_GDB_13.02.15

План лекции

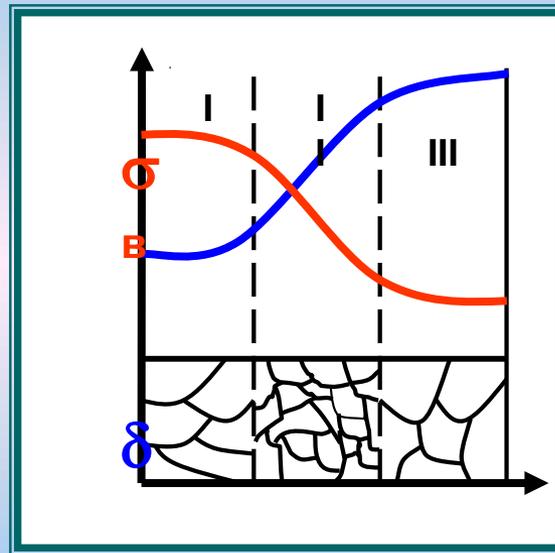
1. Изменение структуры и свойств при холодной пластической деформации
2. Процессы, происходящие при нагреве деформированного металла.
3. Влияние степени исходной пластической деформации на размер рекристаллизованного зерна
4. Температура рекристаллизации и рекристаллизационный отжиг
5. Горячая пластическая деформация изменение структуры и свойств при горячей пластической деформации

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ(ХПД)

В зависимости от температуры пластическую деформацию разделяют на холодную и горячую.

Деформация которая происходит при температуре ниже температуры рекристаллизации называется холодной пластической деформации (ХПД)

Холодная пластическая деформация сопровождается повышением прочностных показателей и снижением пластичности



Характер изменения свойств материала в зависимости от степени деформации ε

$$\varepsilon = \frac{h_0 - h}{h_0} 100 \%$$

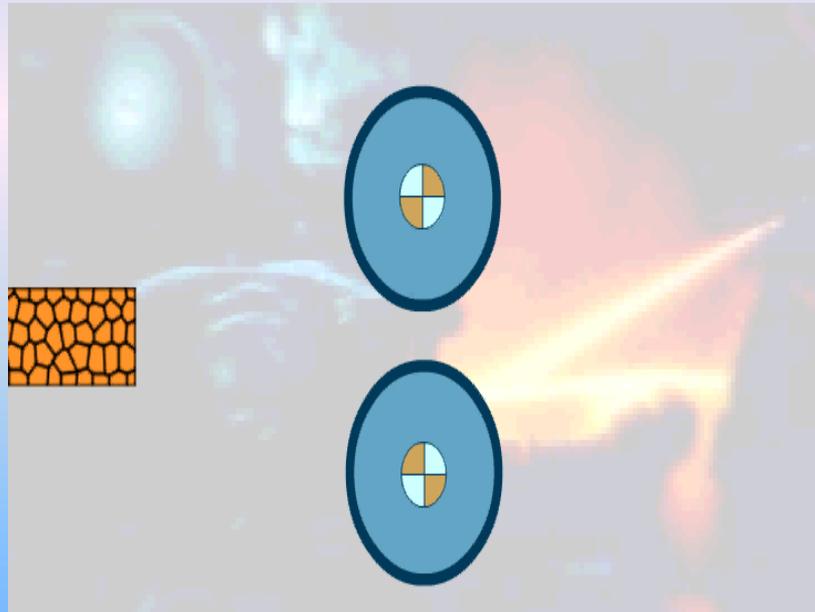
Изменение механических свойств зависит от степени пластической деформации где h_0 – высота изделия в исходном состоянии; h – высота изделия после деформации

Это связано с увеличением плотности дислокаций с $\rho = 10^6 - 10^9 \text{ см}^{-2}$ до $\rho = 10^{11} - 10^{12} \text{ см}^{-2}$, что приводит к наклепу. *Наклеп* – это совокупность физических процессов, в результате которых повышается прочность и снижается пластичность, ударная вязкость.

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ(ХПД)

Пластическая деформация сопровождается поворотом зерен и ориентацией их в направлении приложения силы. Это явление называется текстурой.

Текстура – это закономерная ориентация кристаллических решёток в зёрнах относительно действия внешних деформационных сил.



Одновременно с изменением формы зерен происходит измельчение блоков и увеличение угла разориентации между ними.

Для того, чтобы вернуть пластичность металлу, его необходимо нагревать.

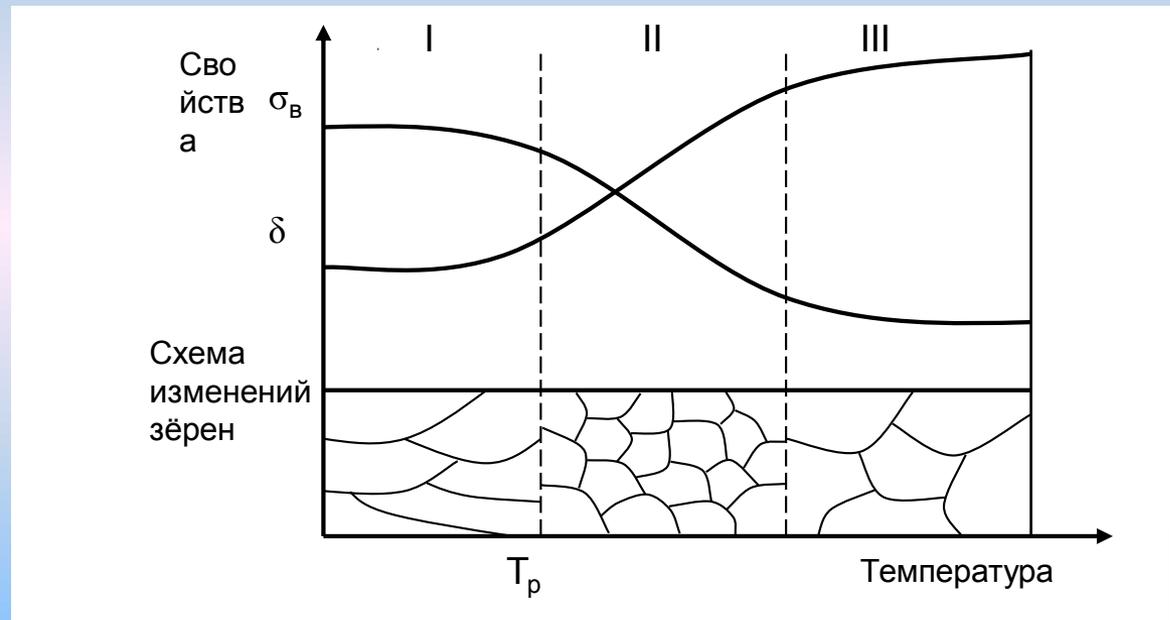
Образование текстуры приводит к *анизотропии свойств* (т.е. механические свойства вдоль и поперек внешних деформационных сил не одинаковы).

Процессы, происходящие при нагреве деформированного металла

При нагреве деформированного металла с возрастанием температуры наблюдается понижение прочности и повышение пластичности

на схеме изменение структуры и свойств наклепанного металла можно разделить на три области:
I область – возврат;
II область – первичная рекристаллизация;
III область – собирательная рекристаллизация.

Схема изменения структуры и свойств наклепанного металла при нагреве

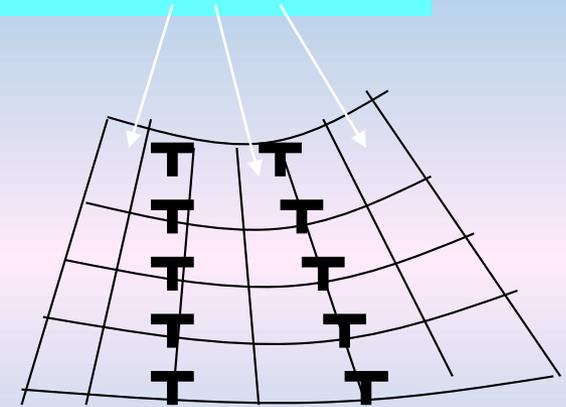
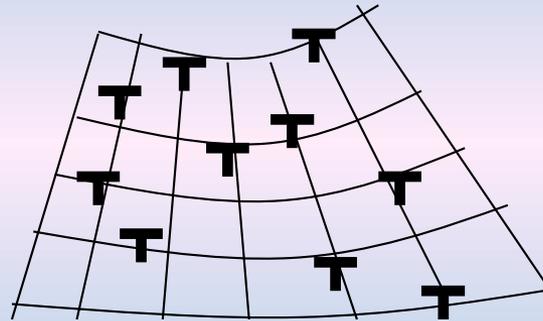


Количество точечных дефектов уменьшается

Процессы, происходящие при нагреве деформированного металла

В зависимости от характера происходящих элементарных процессов при возврате имеют место два явления: 1) отдых (при более низкой температуре) и 2) полигонизация (при более высокой температуре).

Отдых – это процесс повышения структурного совершенства кристаллической решетки без образования новых границ, главным образом за счет перемещения точечных дефектов.



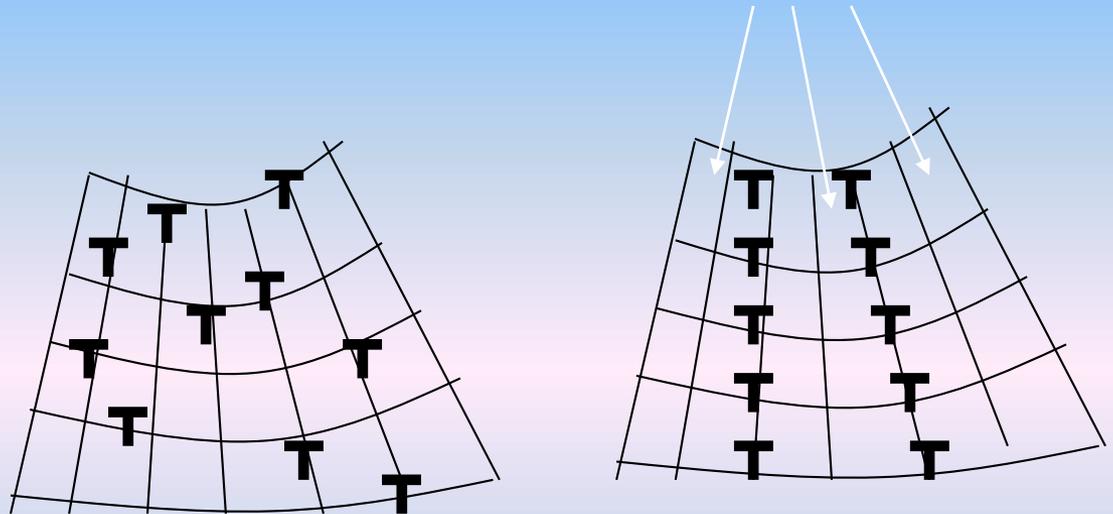
. Схема расположения дислокаций

Общая плотность дислокаций практически не изменяется.

Процессы, происходящие при нагреве деформированного металла

Полигонизация

Полигонизация – это процесс перераспределения в зёрнах деформированного металла хаотически расположенных дислокаций в стойкие конфигурации в виде дислокационных стенок. Эти стенки являются малоугловыми границами.



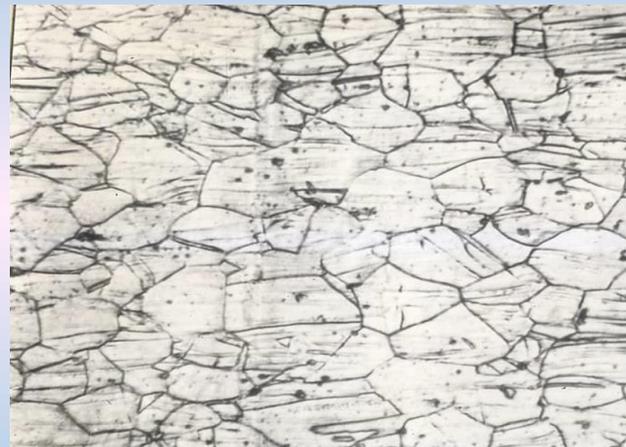
. Схема расположения дислокаций

Как полигональная структура влияет на свойства? После полигонизации в зависимости от полноты её прохождения может несколько уменьшаться прочность и увеличиваться пластичность.

Процессы, происходящие при нагреве деформированного металла

Область наиболее интенсивного изменения свойств отвечает *первичной рекристаллизации*

Первичная рекристаллизация – это образование и рост внутри зёрен деформированного металла новых мелких равноосных зёрен, отделённых высокоугловыми границами (с большим углом разориентации).



микроструктура стали 08кп и после прохождения первичной рекристаллизации

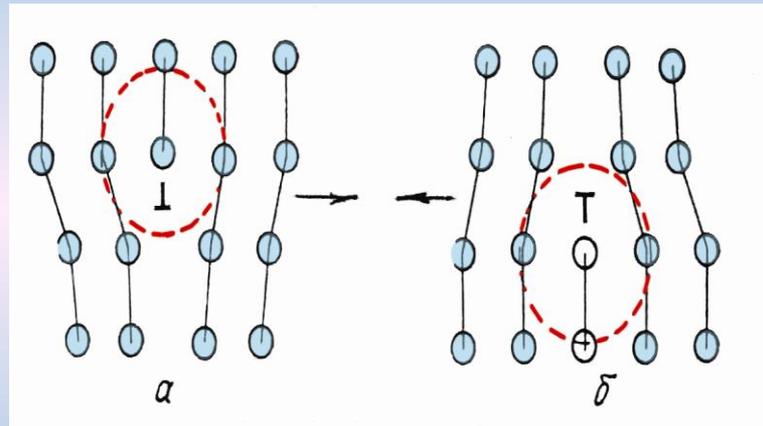
Характерной особенностью стадии первичной рекристаллизации является уменьшение плотности дислокаций с $\rho = 10^{11} - 10^{12} \text{ см}^{-2}$ до $\rho = 10^6 - 10^9 \text{ см}^{-2}$. При этом прочность снижается, а пластичность возрастает практически до исходного состояния.

При более высоких температурах нагрева имеет место *собирательная рекристаллизация*, для которой характерен рост образовавшихся новых зёрен. Чем выше температура, тем крупнее зёрна.

Процессы, происходящие при нагреве деформированного металла

Существенное укрупнение зерна приводит как к снижению прочности, так и к снижению пластичности.

Из этого следует, что нужно правильно выбирать температуру нагрева деформированного металла. Выбирать температуру следует так, чтобы восстановить свойства наклепанного металла и при этом не допустить значительного роста зерна



Изменение структуры и свойства наклепанного металла при нагревании

$$T_r = a \cdot T_{пл},$$

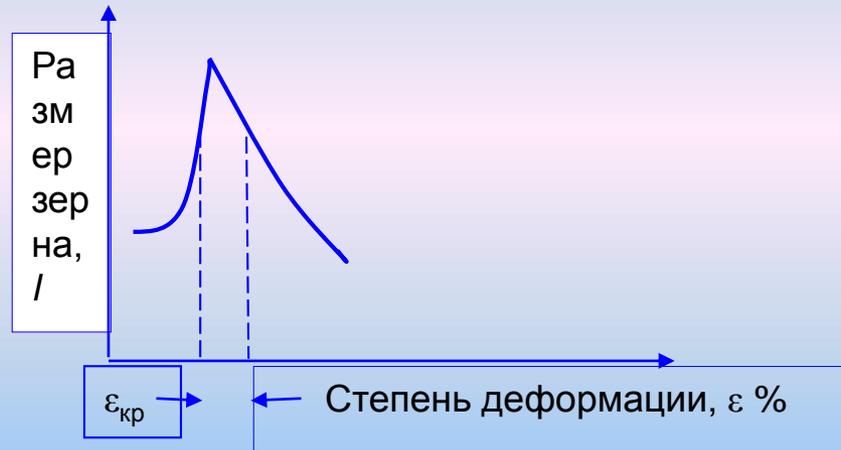
где T_r – абсолютная температура рекристаллизации, K ; $T_{пл}$ – абсолютная температура плавления, K . Коэффициент a зависит от чистоты металлов: для чистых металлов он равен 0,2, для большинства технических сплавов – 0,4, для сложных по химическому составу и структуре сплавов – 0,6–0,8.

Температура рекристаллизации и T_r – это температура, соответствующая началу прохождения рекристалляционных процессов. Она связана с температурой плавления

Влияние степени исходной пластической деформации на размер рекристаллизованного зерна

Исходная пластическая деформация существенно влияет на размер рекристаллизованного зерна.

Размер зерна изменяется немонотонно с увеличением степени деформации. При *критической степени деформации* в процессе нагрева наблюдается резкое увеличение размера зерна



Зависимость размера зерна l от степени исходной деформации ε при постоянной температуре нагрева

Степень деформации, приводящая после нагрева к существенному росту зерна, называется *критической*. Это надо учитывать при проведении пластической деформации и деформировать металл со степенью деформации меньше или больше критической

Процессы, происходящие при нагреве деформированного металла

Для снятия наклёпа выполняют термическую обработку, которая называется *рекристаллизационным отжигом*

Она заключается в нагреве до температуры выше температуры рекристаллизации на 100–150 °С.



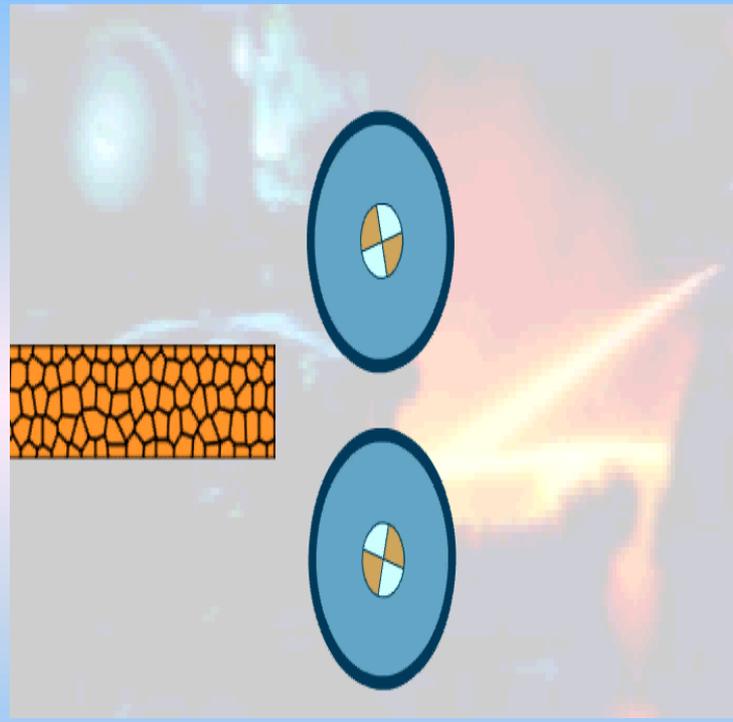
Деформация, которая проводится при температуре ниже температуры рекристаллизации, называется *холодной пластической деформацией*, при температуре выше температуры рекристаллизации – *горячей*.

При нагреве деформированного металла имеется другая возможность образования более совершенной структуры и приближения к равновесию - без протекания полигонизации.

Горячая пластическая деформация

При горячей пластической деформации сопротивление деформированию в 10–20 раз меньше, чем при холодной.

Процесс горячей пластической деформации состоит из таких стадий: 1) нагрев; 2) выдержка при температуре нагрева; 3) непосредственно пластическая деформация; 4) охлаждение.



$$t_{\max} = t_{\text{пл}} - (100-150) \text{ } ^\circ\text{C},$$

При выборе температуры нагрева надо исходить из того, чтобы не превысить максимальную температуру t_{\max} , которая равняется где $t_{\text{пл}}$ – температура начала плавления, $^\circ\text{C}$.

Нагрев значительно выше t_{\max} приводит к таким видам брака как *пережог* и *перегрев*.

Горячая пластическая деформация

Продолжительность выдержки при температуре нагрева зависит от таких основных факторов: размера заготовки, теплопроводности металла, скорости нагрева.

Охлаждение после деформации следует проводить как можно медленнее, чтобы избежать появления напряжений и трещин. Для этого предусмотрены специальные охлаждающие камеры, колодцы, засыпка заготовок горячим сухим песком.



Печи для нагрева металла перед обработкой давлением классифицируются по таким признакам: по *источникам энергии* – на пламенные и электрические; по *назначению* – на кузнечные и для прокатного производства; по *принципу действия* – на камерные и методические.

Печи, которые имеют одинаковую температуру по всему рабочему пространству, называются камерными.

Горячая пластическая деформация

В случае, если сталь нагревается до температуры близкой к температуре плавления, имеет место пережог, который сопровождается оплавлением границ зерен и их окислением.

Ниже зоны температур пережога находится зона температур перегрева. Перегрев приводит к существенному укрупнению зерен. В результате перегрева снижаются механические свойства. Перегрев – исправимый вид брака. При этом происходит резкое снижение пластичности.



Пережог

При выборе температурного интервала горячей обработки давлением необходимо руководствоваться следующими правилами: для получения высокой пластичности металла температура начала обработки должна быть максимально высокой, но не вызывать перегрева и пережога, а температура окончания обработки должна быть выше температуры рекристаллизации и фазовых превращений.

Пережог – неисправимый вид брака.

Горячая пластическая деформация

Печи, в рабочем пространстве которых температура повышается от окна загрузки до окна выгрузки, называются методическими.

При горячей пластической деформации наклепа, как правило, нет, потому что в процессе горячей пластической деформации наряду с упрочнением проходят процессы разупрочнения за счет рекристаллизации. Однако, если провести быстрое охлаждение после горячей пластической деформации, то наклеп можно сохранить.



После горячей пластической деформации имеет место анизотропия свойств за счет того, что вытягиваются неметаллические включения и дендриты. Образуются **волокна**, которые можно увидеть на макрошлифе. При изготовлении детали этот фактор обязательно учитывается. Необходимо, чтобы волокна были расположены вдоль действия основных напряжений.

В массовом производстве используют электронагревательные устройства для контактного и индукционного нагрева заготовок.

Деформируемость конструкционных материалов при холодной и горячей пластической деформации

Деформируемость (технологическая пластичность) – это способность материала под действием внешних сил при определенной схеме деформации принимать без разрушения необходимую форму.

Если речь идет о деформируемости при горячей пластической деформации, то с повышением температуры снижаются показатели прочности и повышается пластичность.



Для стали наиболее оптимальным интервалом температур для проведения горячей пластической деформации является температура 1000–1200 °С, когда снижается временное сопротивление σ_B и металл становится пластичным.

В этих условиях можно достичь при горячей прокатке степень деформации 30–40 % и более. При горячей штамповке и выдавливании степень деформации выше, чем при горячей прокатке.

Деформируемость конструкционных материалов при холодной и горячей пластической деформации

Горячая деформация используется при изготовлении деталей из средне- и высокоуглеродистых сталей и особенно легированных сталей. Методами горячей деформации изготавливают шатуны, валы, оси, заготовки для шестерен и т.д.

Для цветных сплавов по сравнению со сталью характерен более узкий температурный интервал обработки давлением. Они более чувствительны к схеме деформации. Поэтому для штамповки таких сплавов используют закрытые штампы, где они подвергаются всестороннему давлению.



При холодной пластической деформации большое значение имеет наклеп, который приводит к повышению сопротивления деформации и охрупчиванию. Таким образом, деформируемость в процессе деформации непрерывно изменяется.

Цветные сплавы рекомендуется деформировать с малой скоростью.

Деформируемость конструкционных материалов при холодной и горячей пластической деформации

В зависимости от высоты и диаметра готовой детали, деформируемости материала деталь может быть получена за одну или несколько операций.

Как правило, количество операций вытяжки, которые производятся без промежуточного отжига, составляет: для стали марок 08, 10, 15 – 3–4; для стали 12Х12Н9Г – 1–2, для алюминиевых сплавов – 4–5, для медных сплавов – 1–2, для магниевых – 1. При этом необходимо учитывать степень деформации при каждой вытяжке.



Деформируемость стали улучшается с уменьшением содержания углерода и легирующих элементов.

Чугун практически не обладает таким свойством как деформируемость. Изделия из него изготавливают методом литья.

В случае многооперационной технологии предусматривается межоперационная термическая обработка для снятия наклепа – рекристаллизационный отжиг

На самостоятельную работу ВЫНОСИТСЯ:

- 1. Деформируемость конструкционных материалов при холодной и горячей пластической деформации.

Литература

Гладкий И.П. Технология конструкционных материалов и материаловедение /И.П. Гладкий,В.И.Мощенок,В.П.Тарабанова - Х.:ХНАДУ,2014.-576с.

Лахтин Ю.М. Материаловедение: учебн. для машиностроительных вузов/Ю.М.Лахтин,В.П.Леонтьева.-М.:Машиностроение,1990.-528с.

<http://dl.khadi.kharkiv.edu/course/view>. Логин: glushkova639