



«Методы определения твёрдости и прочности материалов»

Лекция 4

Lec_4_metod_opr_tverd_3MC_LNA_09_09_2015

**Классификация методов
оценки твердости.**

**Профессор Мощенок В.И.
Доцент Лалазарова Н.А.**

Содержание



4.1. Диаграмма индентирования



4.2. Ползучесть



4.3. Работа индентирования



Список литературы к лекции 4



Контрольные вопросы



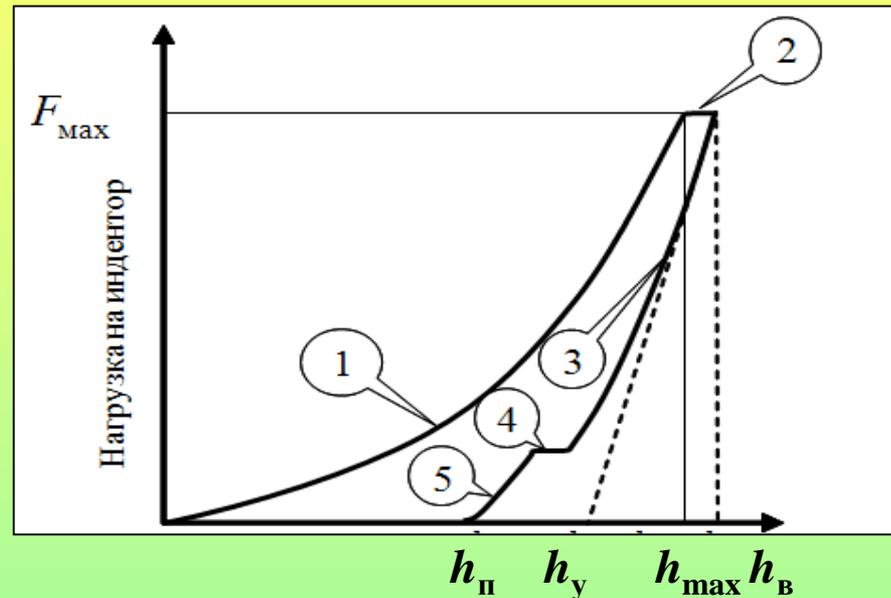
Задания для самостоятельной работы

4.1. Диаграмма индентирования

В связи с тем, что понятие «твердость» отражает способность материала сопротивляться внедрению индентора, одним из наиболее значимых методов ее оценки является **диаграмма $F-h$** , характеризующая кинетику процесса вдавливания индентора.

Типовые участки диаграммы индентирования:

- 1** – участок нагружения;
- 2** – выдержка при постоянной максимальной нагрузке;
- 3** – первичная разгрузка;
- 4** – выдержка при постоянной минимальной нагрузке (10–20 % от F_{\max});
- 5** – окончательная разгрузка до нулевого значения;

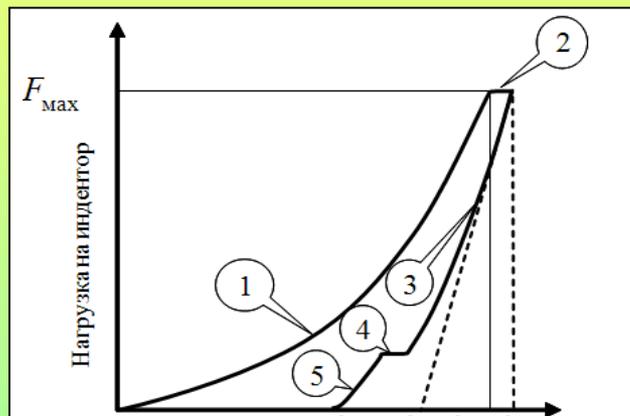


h_n – глубина внедрения индентора после разгрузки; h_y – точка пересечения касательной к начальному участку разгрузочной кривой с осью глубины внедрения индентора; h_{\max} – глубина внедрения индентора, соответствующая началу выдержки при максимальной нагрузке; h_b – глубина внедрения индентора, отвечающая концу выдержки при максимальной нагрузке

Диаграмма индентирования

Диаграмма индентирования показывает перемещение индентора от поверхности вглубь исследуемого образца под влиянием приложенной к индентору нагрузки. Наличие нескольких криволинейных участков на диаграмме требует различного подхода к выражению их математическими зависимостями.

Участок нагружения 1 обычно описывают степенной функцией, получившей название уравнения Мейера, или **полиномом второго порядка**.



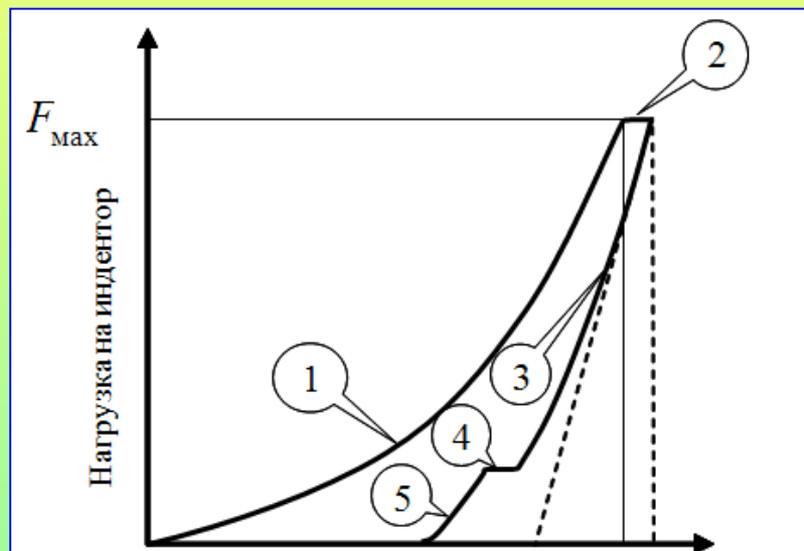
Графическое дифференцирование **участка разгрузки 3** используют для вычисления **жесткости измерительной системы**.

По **участкам 2 и 4** определяют **ползучесть и вязкоупругое восстановление**, соответственно. Наибольший научный и практический интерес представляет **участок нагружения 1**, поскольку именно он показывает сопротивление материала углублению индентора.

Диаграмма индентирования

При исследованиях твердости неоднородных по структуре и свойствам материалов надо иметь ввиду, что для них участок нагружения 1 будет характеризоваться семейством кривых индентирования с определенным диапазоном разброса, который особенно сильно проявляется при микро- и наноиндентировании.

Твердость неоднородного материала характеризуется не одним числом,



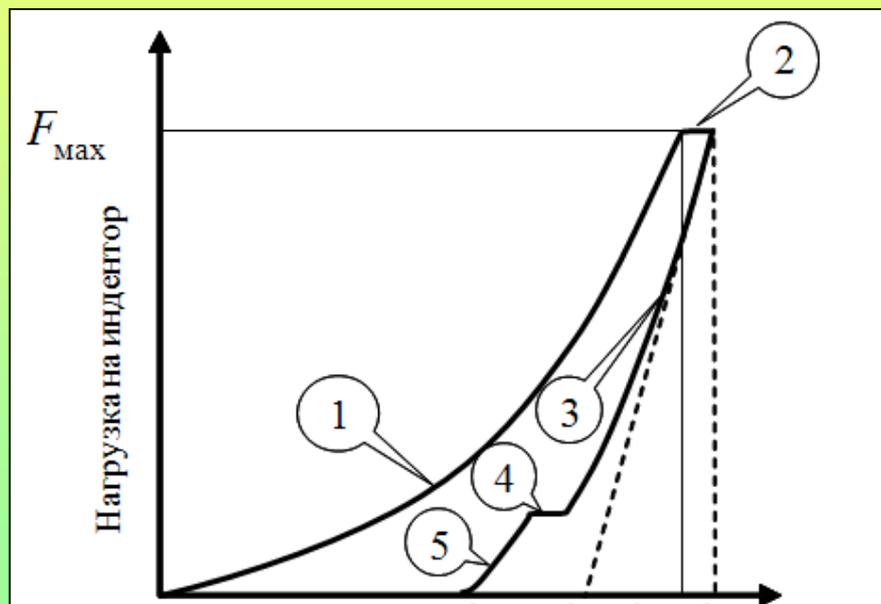
а кривой, и к тому же семейством разброса кривых индентирования.

Естественно, такие кривые будут отличаться и в зависимости от формы индентора.

Диаграмма индентирования

В несколько меньшей степени отражают сопротивление материала внедрению индентора участки 2 и 4 диаграммы индентирования. Используя **участок 2**, можно получить такую важнейшую характеристику материалов, как ползучесть при индентировании, которая показывает изменение глубины внедрения индентора во времени при постоянной нагрузке.

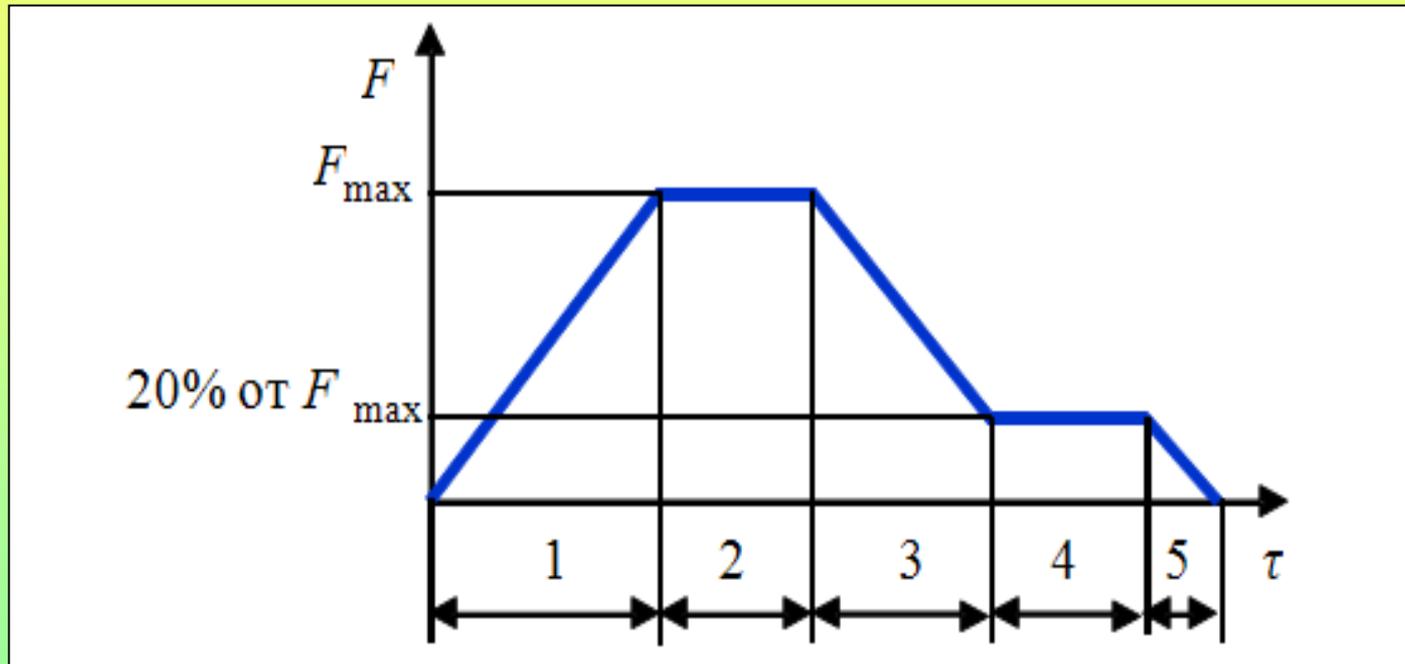
Участок 4 отвечает вязкоупругому восстановлению отпечатка после снятия основной нагрузки.



Именно в одной точке этого участка и предложил С. П. Роквелл оценивать твердость металлов и сплавов.

Диаграмма индентирования

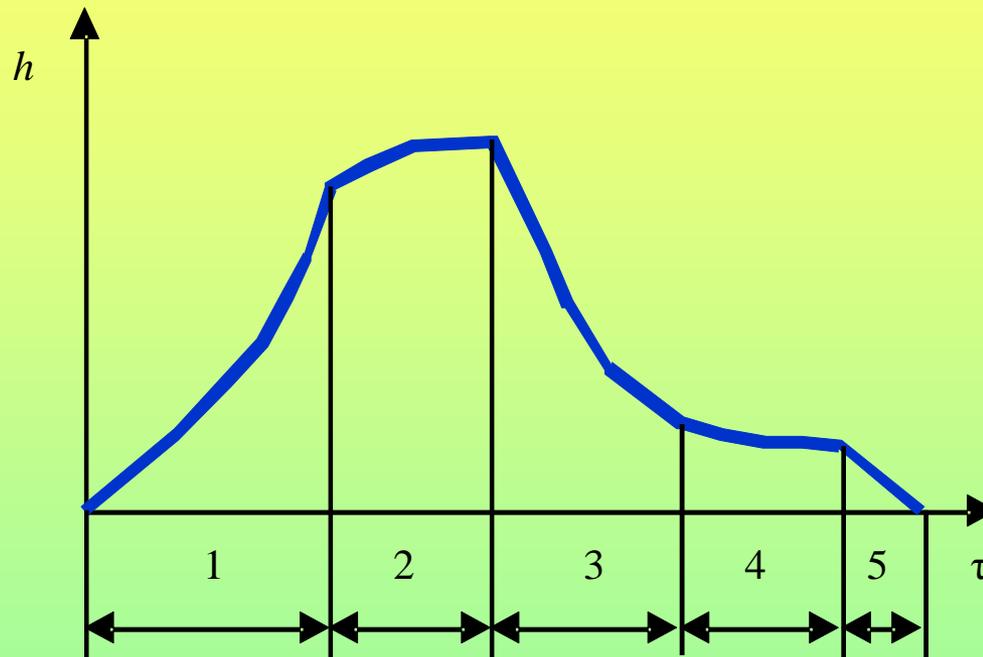
Каждому участку (1–5) диаграммы индентирования должна строго соответствовать кинетика внедрения индентора, которая описывается схемой



Кинетика изменения нагрузки на индентор на каждом типовом участке диаграммы индентирования, задаваемая прибором

Диаграмма индентирования

Кинетика изменения глубины внедрения индентора примерно описывается схемой

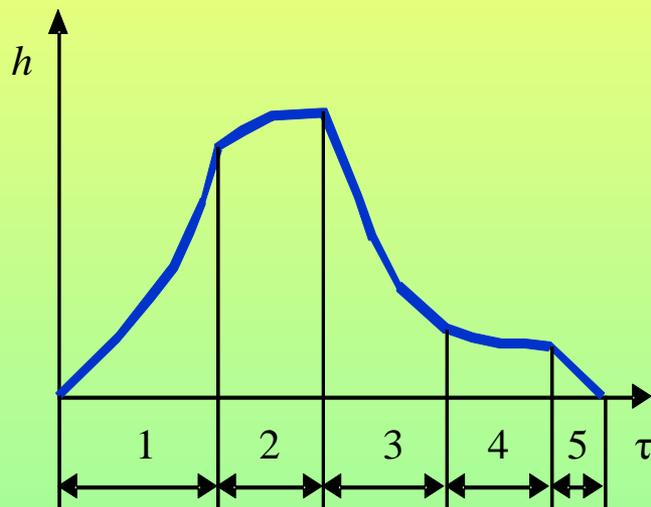


Кинетика изменения глубины внедрения индентора в исследуемый материал на каждом типовом участке диаграммы индентирования, определяемая способностью материала сопротивляться внедрению индентора

Диаграмма индентирования

Как следует из этих рисунков, если нагрузка на индентор задается прямолинейной зависимостью во времени на разных этапах нагружения и разгрузки, то получаемая глубина внедрения индентора имеет криволинейные участки на всех этапах диаграммы.

И именно по глубине внедрения индентора, определяемой в данном случае свойствами исследуемого материала, можно судить о характере сопротивления материала внедрению индентора.



Способности материала сопротивляться внедрению индентора соответствует именно кинетика изменения глубины внедрения индентора.

Кинетика изменения глубины внедрения индентора – это характеристика именно сопротивления материала внедрению индентора.

Диаграмма индентирования

Характер изменения кривой 1 индентирования в процессе нагружения описывает зависимость нагрузки от диаметра отпечатка **Мейера**:

$$P = ad^n \quad (1)$$

где a , n – константы, зависящие от формы применяемого индентора и свойств материала; d – диаметр отпечатка.

Зависимость, аналогичную (1), но уже для глубины восстановленного отпечатка, В. К. Григорович, С.И. Булычев, В.П. Алехин предлагают выразить следующим уравнением

$$P = a_1 h^n,$$

где a_1 , n – константы, зависящие от формы применяемого индентора и свойств материала; h – глубина отпечатка.

В то же время Матсумура еще в 1932 г. при определении твердости шариковым индентором, диаметром 4 мм, экспериментально установил, что зависимость глубины отпечатка от нагрузки представляет собой полином 2 порядка

$$P = a_1 h + bh^2$$

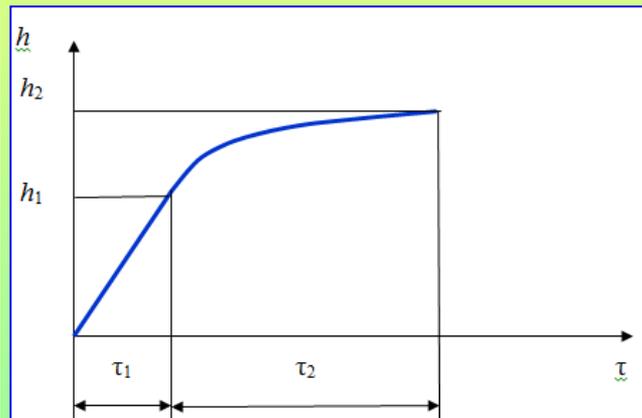
На этот факт почти не обратили внимания, и в дальнейшем все оперировали формулой, получившей название закона Мейера.

4.2. Ползучесть

Ползучесть материала – это изменение деформации при постоянной нагрузке. Ползучесть при индентировании представляет собой относительное изменение глубины внедрения индентора при постоянной (преимущественно максимальной) нагрузке и определяется следующим образом

$$C_{IT} = \frac{h_2 - h_1}{h_1} 100$$

где h_1 – глубина внедрения индентора в момент достижения нагрузкой своего заданного, как правило, максимального значения;



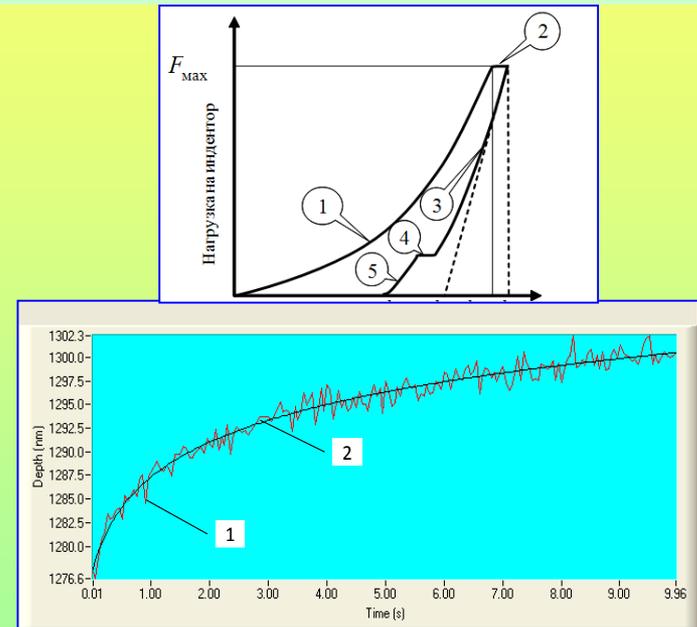
h_2 –глубина внедрения индентора за время выдержки при постоянной, как правило, максимальной нагрузке индентирования.

Схема определения ползучести материалов при индентировании: τ_1 – время нагружения до достижения максимальной нагрузки; τ_2 – период ползучести

Ползучесть

Изменение кривой индентирования при выдержке под постоянной нагрузкой характеризует такое важнейшее свойство материалов, как ползучесть.

Участок 2 диаграммы индентирования представляет собой зависимость глубины внедрения индентора от времени выдержки под постоянной нагрузкой и обычно имеет вид, представленный на рисунке.



Типовая зависимость глубины внедрения индентора от времени выдержки под постоянной, максимальной нагрузкой индентирования:

- 1 – глубина внедрения индентора Берковича в образцовую меру твердости 103HV при постоянной нагрузке 155,22 мН и выдержке в течение 10 с;
- 2 – тренд этих же значений

4.3. Работа индентирования

Одним из новых и недостаточно исследованных критериев оценки твердости является работа индентирования, которая определяется по формуле

$$W_{\text{общ}} = \int_0^h F dh$$

где F – нагрузка индентирования;
 h – глубина внедрения индентора.



Соотношение между пластической и упругой деформациями при индентировании

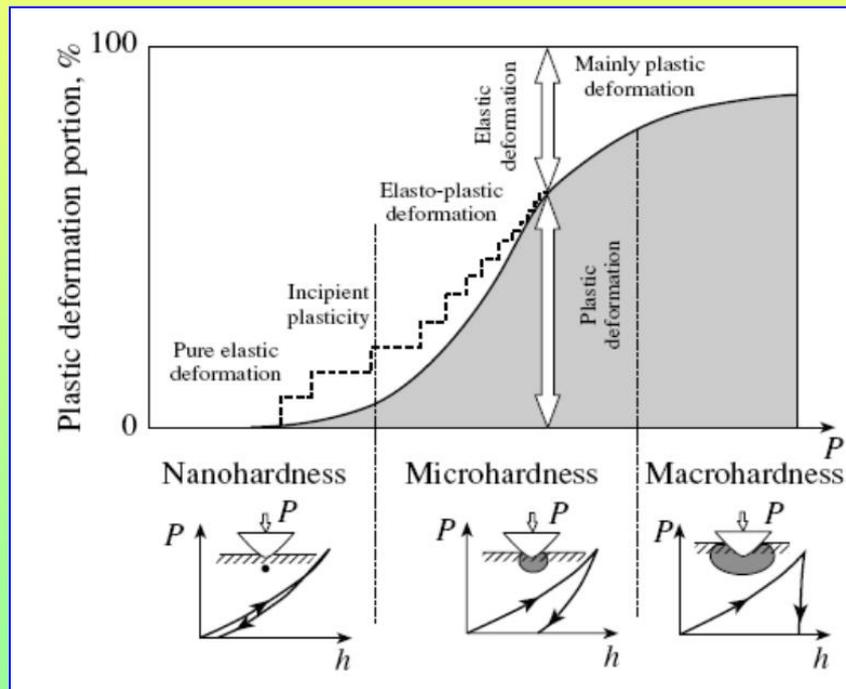
Общая работа индентирования, затраченная на процесс внедрения индентора в исследуемый материал, состоит из работы, расходуемой на упругую и пластическую деформации материала.

Работа, затрачиваемая на упругую деформацию, исчезает после снятия нагрузки. Соотношение между пластической и упругой деформациями при индентировании представлено на рисунке.

Работа индентирования

При такой огромной упругой деформации в области малых h доля пластической деформации ничтожно мала и **отпечатка не наблюдается**, поэтому метод оценки твердости по восстановленному отпечатку здесь не работает.

Если проанализировать соотношение упругой и пластической деформации по размерным диапазонам измерения твердости,



То это соотношение выглядит следующим образом:

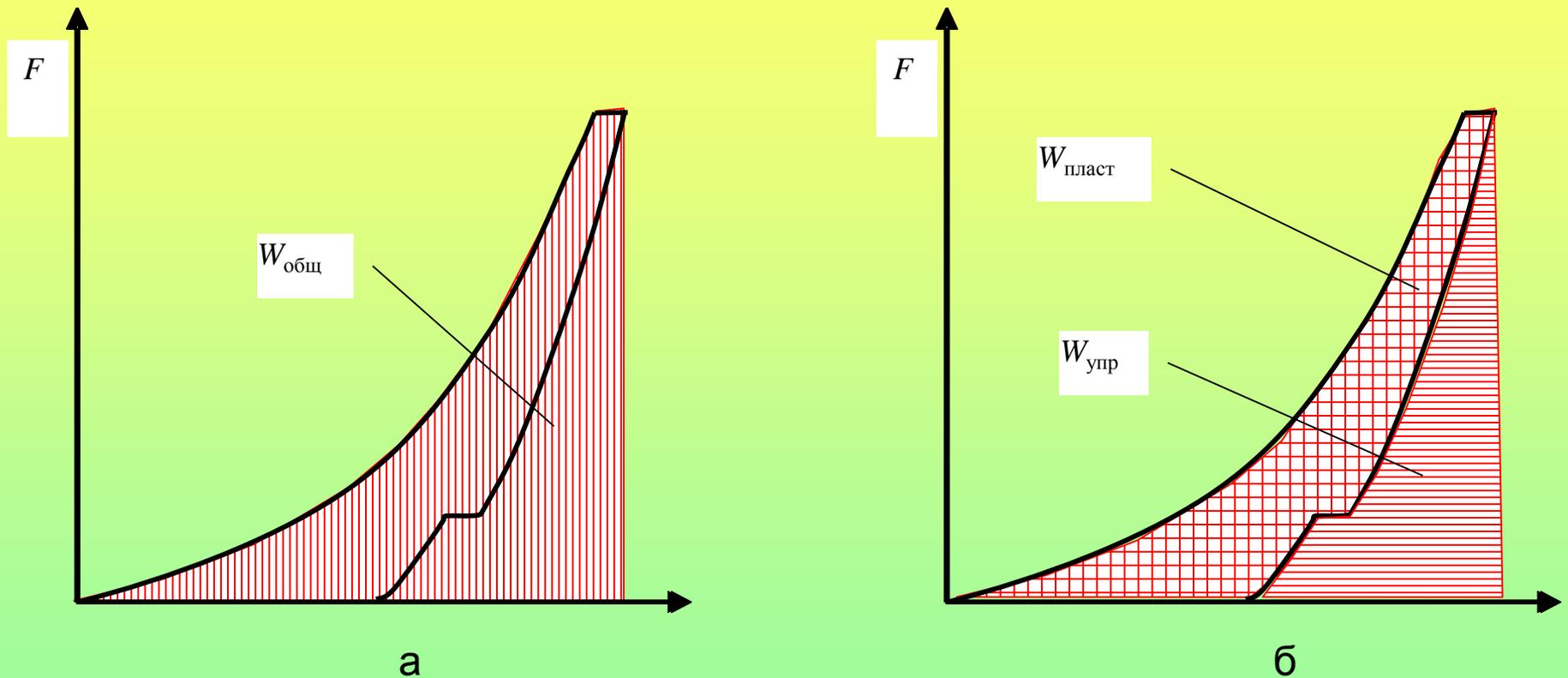
$$W_{\text{общ}} = W_{\text{упр}} + W_{\text{пласт}}$$

где $W_{\text{упр}}$ – упругая часть общей работы; $W_{\text{пласт}}$ – пластическая часть общей работы индентирования.

Соотношение между пластической и упругой деформациями при индентировании в зависимости от диапазона измерения твердости

Работа индентирования

Графически общая работа индентирования представлена на рисунке.



Общая работа индентирования (а), упругая и пластическая (б) составляющие

Работа индентирования

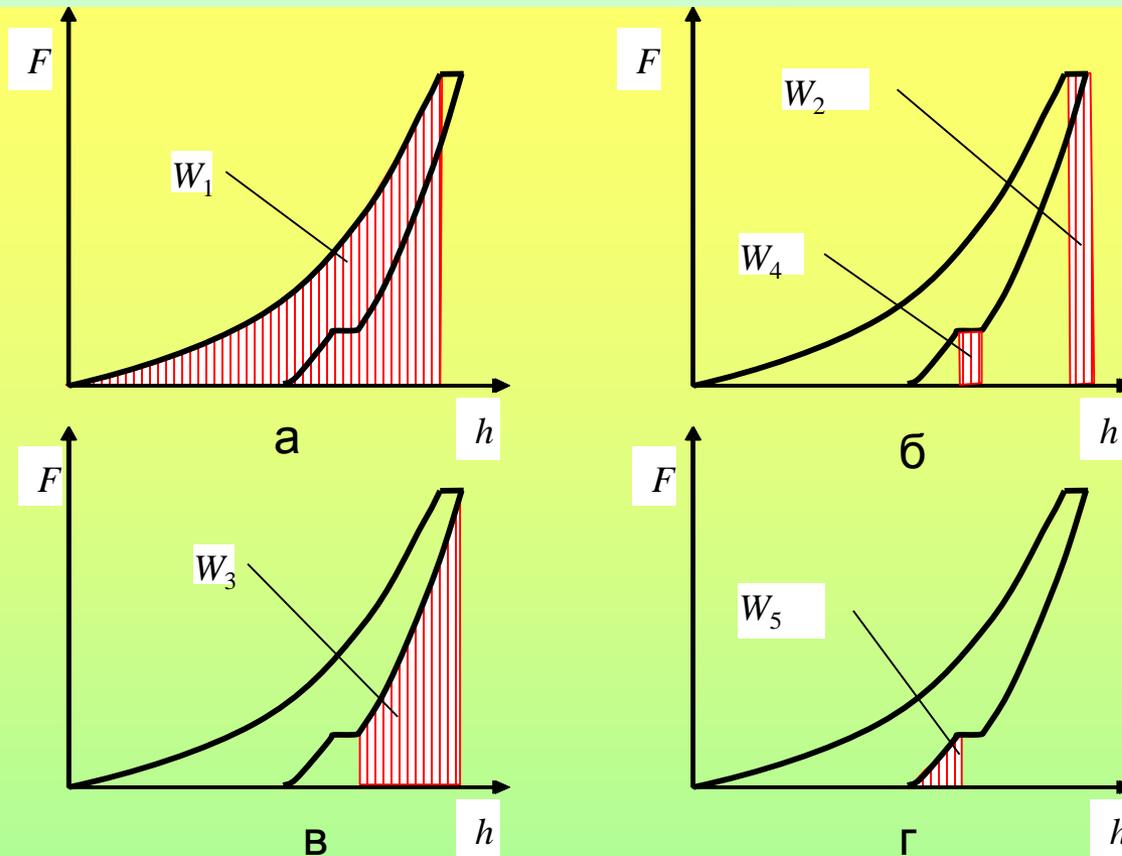


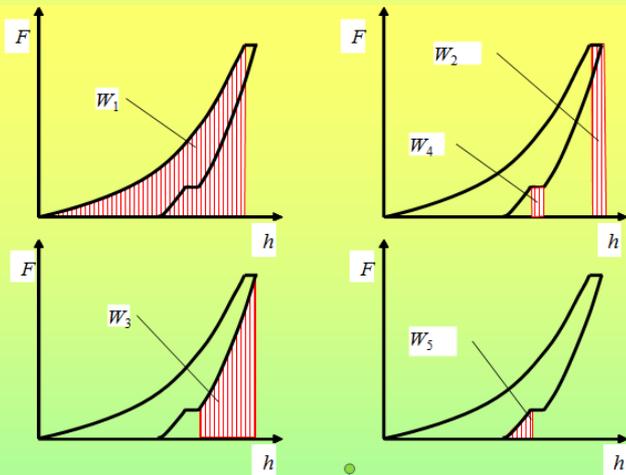
Схема разложения общей работы индентирования на составляющие: а – W_1 – работа индентирования; б – W_2 – работа индентирования при выдержке под постоянной нагрузкой; W_4 – работа вязкоупругого восстановления отпечатка при выдержке в процессе разгрузки с нагрузкой, равной 10 % от максимальной нагрузки индентирования; в – W_3 – основная часть упругой составляющей работы индентирования; г – W_5 – дополнительная часть упругой составляющей работы индентирования

Работа индентирования

Пластическая составляющая работы индентирования будет равна

$$W_{\text{пласт}} = W_1 + W_2 - W_3 - W_4 - W_5$$

Численно значения составляющих работы индентирования можно получить, определив площадь, ограничиваемую каждым участком диаграммы индентирования и осью абсцисс.



При этом полную величину работы, затраченную на вытеснение материала индентором, можно использовать для определения механических свойств новых материалов с различными типами структурного состояния.

Между работой, затрачиваемой на деформацию, и вытесненным объемом существует такая же взаимосвязь, как при определении твёрдости материалов. Поскольку международным стандартом ISO 14577 подобная методика не регламентирована, то необходимы дальнейшие исследования по использованию работы индентирования для оценки твердости материалов.

Список литературы к лекции 4

1) Мощенок В.И. Новые методы определения твердости материалов : монография / В.И. Мощенок. – 2-е изд. доп. и перераб. – Х. : ХНАДУ, 2013. – 324 с.

2) ISO 14577-1:2002. Metallic materials — Instrumented indentation test for hardness and materials parameters — Part 1: Test method



Контрольные вопросы

4. Назовите типовые участки диаграммы индентирования.

5. Из каких составляющих состоит работа индентирования?

Задания для самостоятельной работы

1. Изучить области применения диаграммы индентирования для определения различных характеристик.



Кафедра технології металлов и матеріалознавства

Лалазарова Наталиа Алексеевна

E-mail: lalaz1991@mail.ru

г. Харьков, ул. Петровского, 25, ХНАДУ, КАФЕДРА ТМ и М

Tel.(8-057)707-37-92

