



# «Новые методы определения твёрдости материалов»

## Лабораторная работа №19

Lab\_19\_metod\_opr\_tverd\_3MC\_LNA\_12\_02\_2016

2016

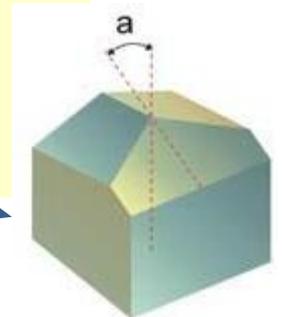
## Лабораторная работа №19

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАНОТВЁРДОСТИ И ДРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ ПО МЕТОДИКЕ ОЛИВЕРА И ФАРРА

Цель работы - овладеть методикой определения нанотвёрдости и других характеристик материалов на приборе Nano Test компании Micro Materials Ltd.

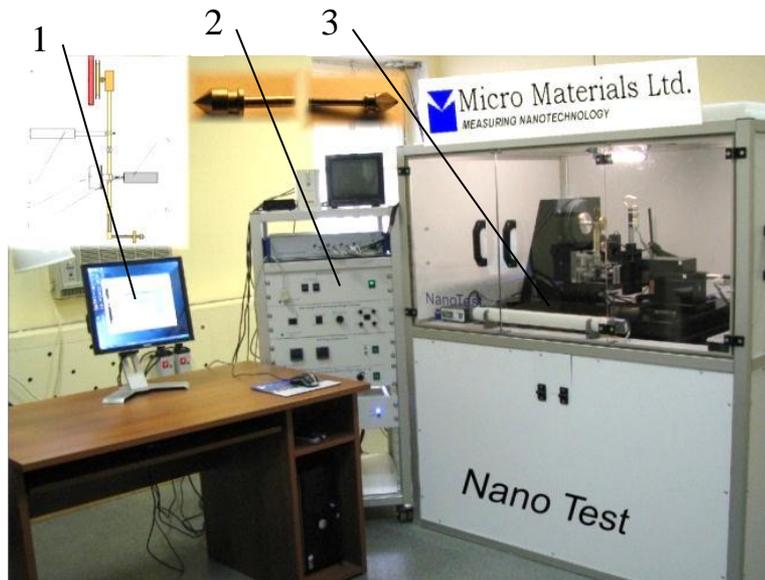
### Приборы и материалы:

1. Нанотвердомер Nano Test.
2. Эталон твёрдости 103НВ.
3. Пирамида Берковича.

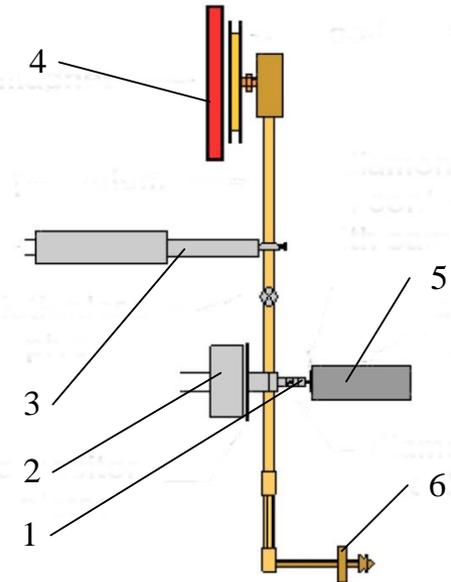


# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ ПРИБОРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАНОТВЁРДОСТИ

Проведенные в работе исследования выполнены на приборе Nano Test (Micro Materials Ltd., Англия).



Принципиальная схема прибора Nano Test представлена на рисунке.



Внешний вид прибора Nano Test с горизонтальным расположением шпинделя и индентора: 1 – монитор; 2 – блок управления; 3 – нанотестер

Принципиальная схема прибора Nano Test (Micro Materials Ltd., Англия): 1 – индентор; 2 – шпиндель; 3, 6 – привод перемещения индентора в горизонтальной плоскости; 4 – привод перемещения индентора в вертикальной плоскости; 5 – предметный столик с наклонным образцом

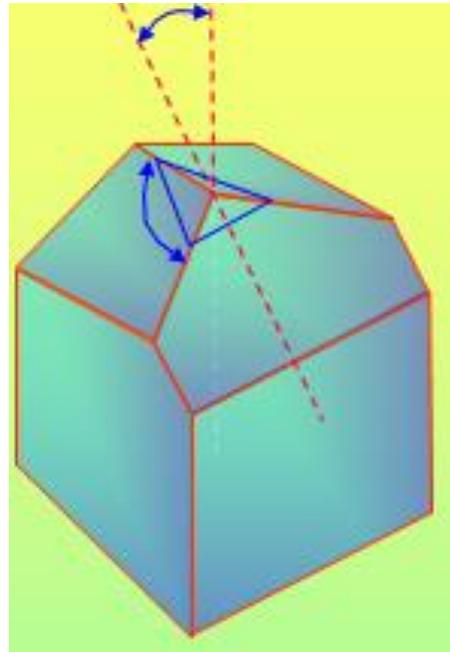
# Основные характеристики прибора

Наименование параметра	Величина параметра для наноголовки	Величина параметра для микроголовки
Диапазон изменения нагрузки, Н	0,1–500 мН	0,1–20 Н
Типы применяемых инденторов (вес, мг)	пирамида Берковича модифицированная (141,3 мг), сфероконический индентор с углом при вершине 60° (116,2 мг), и 90° (128,1 мг)	пирамида Берковича модифицированная (141,3 мг), сфероконический индентор с углом при вершине 60°(116,2 мг), и 90° (128,1 мг)
Выдержка при постоянной нагрузке	100% от $F_{\max}$ в процессе нагружения; 20% от $F_{\max}$ в процессе разгружения	100% от $F_{\max}$ в процессе нагружения; 20% от $F_{\max}$ в процессе разгружения
Наименование параметра	Величина параметра для наноголовки	Величина параметра для микроголовки
Дискретность отсчета нагрузки, мН	0,1 мН	0,1 мН
Дискретность отсчета глубины внедрения индентора, нм	0,1 нм	0,1 нм

# ИНДЕНТОРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАНОТВЁРДОСТИ

Для определения нанотвердости материалов используют в качестве инденторов чаще всего пирамиды Берковича.

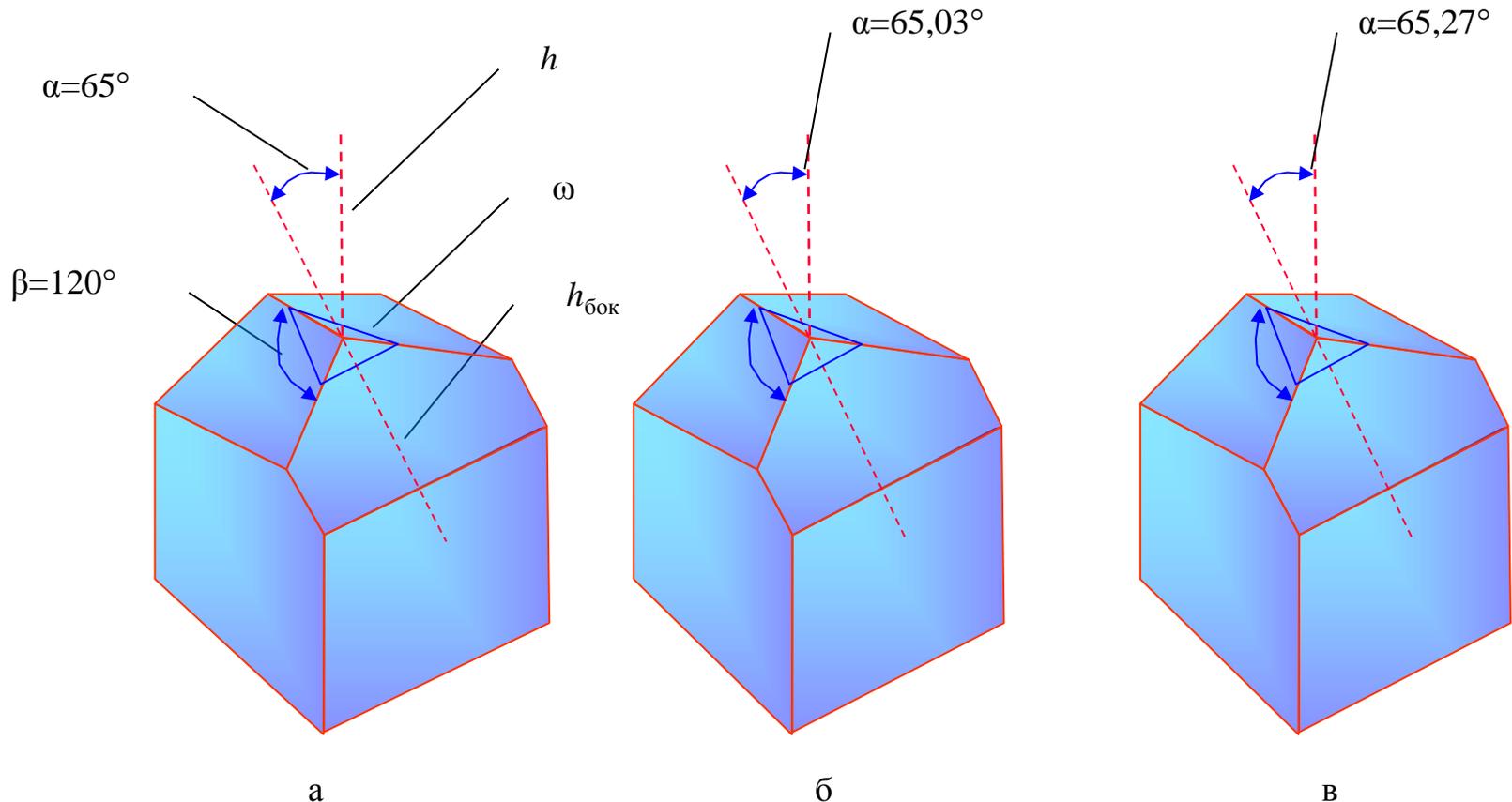
В настоящее время различают три основных типа пирамид Берковича: 1 – обычная пирамида с углом между высотой и апофемой боковой поверхности  $\alpha=65^\circ$ ;



2 – стандартная пирамида с углом между высотой и апофемой боковой поверхности  $\alpha=65,03^\circ$ ;

3 – модифицированная пирамида с углом между высотой и апофемой боковой поверхности  $\alpha=65,27^\circ$ .

# ИНДЕНТОРЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАНОТВЁРДОСТИ



**Геометрические параметры пирамид Берковича:**  $\beta$  – угол между ребрами пирамиды;  $\alpha$  – угол между высотой и апофемой боковой поверхности пирамиды;  $h$  – линия высоты пирамиды;  $\omega$  – след проекции отпечатка при максимальном углублении пирамиды;  $h_{\text{бок}}$  – апофема боковой поверхности пирамиды; а – пирамида с  $\alpha = 65^\circ$ ; б – пирамида с  $\alpha = 65,03^\circ$ ; в – модифицированная пирамида с  $\alpha = 65,27^\circ$

# МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАНОТВЁРДОСТИ

Индентирование поверхности исследуемого образца осуществляли в равноудаленных точках по осям  $X$  и  $Y$ .

Sample Stage Control

Z (um) 25000.00 Y (um) 25200.00 X (um) 25040.43

Indentation Pattern Grid

Indentation Grid Size      Column Offset      Indentation Offset

Number of Columns (Z) 10      Z (um) 40      Z (um) 0

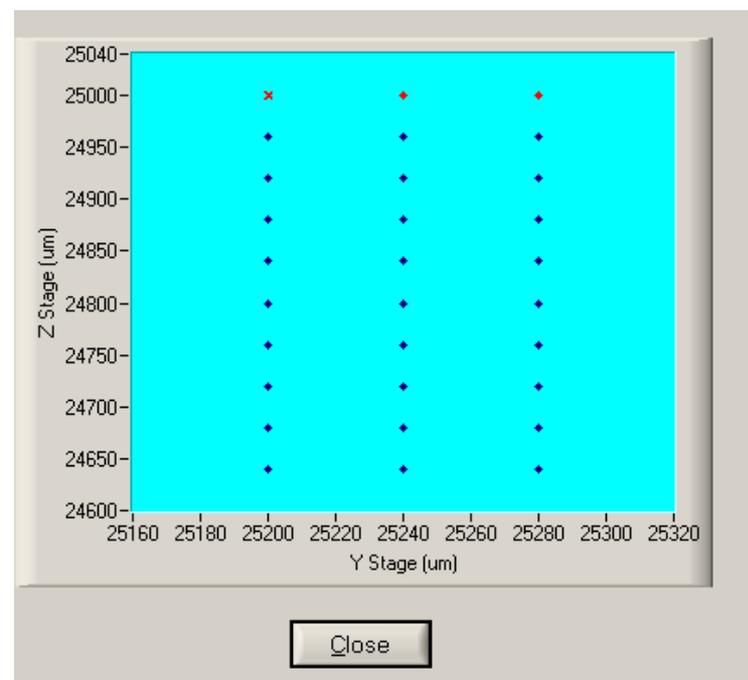
Number of Rows (Y) 3      Y (um) 0      Y (um) 40

Number of Indentations 30      Retraction Distance (um) 20

Data filename

d:\Вычисления\Нанотвердость\Наноизмерения\_Москва\_сентябрь\_2009\ДААННЫЕ\КУ

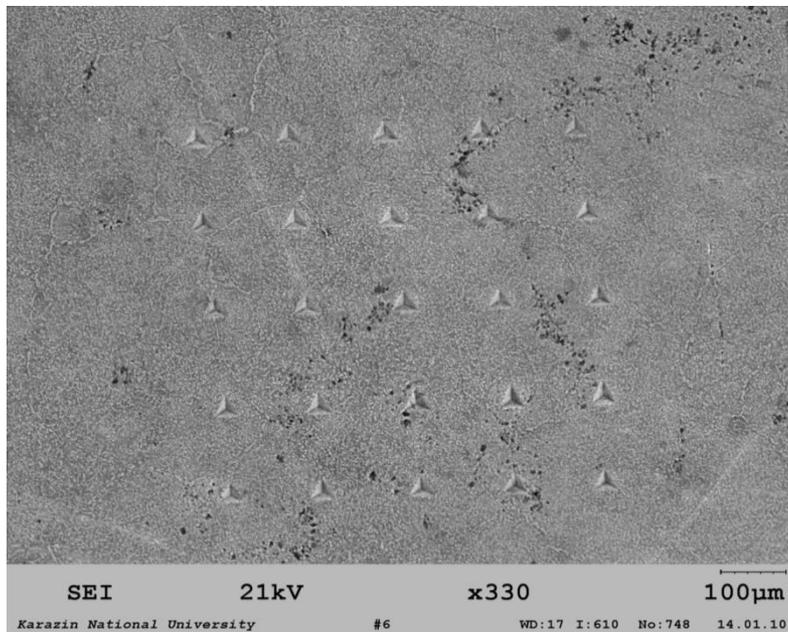
а



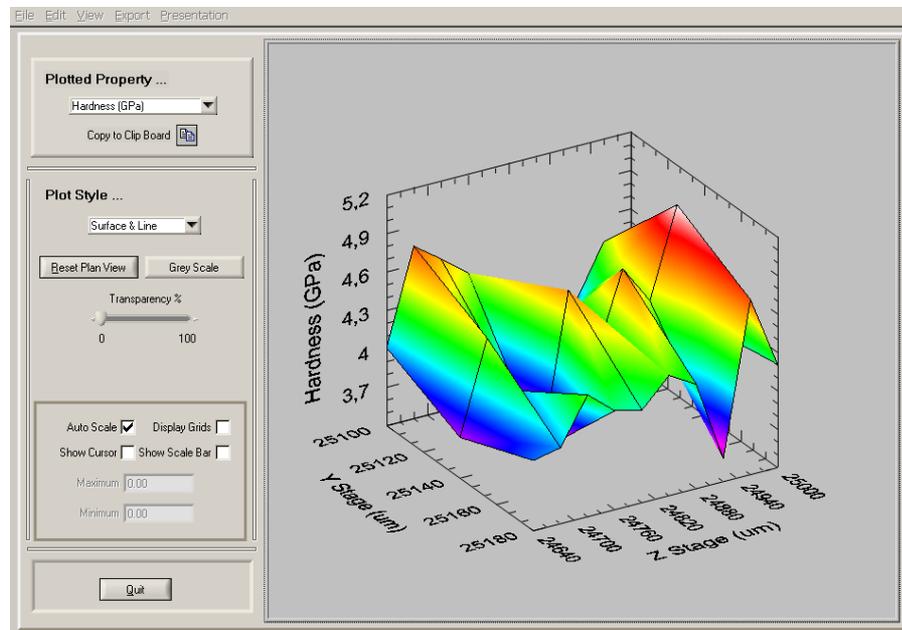
б

Карта индентирования образцов: а – задание координат точек внедрения индентора; б – схема расположения точек внедрения индентора (начало)

# МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАНОТВЁРДОСТИ



В



Г

Карта индентирования образцов: в – отпечатки пирамиды на поверхности образца, г – карта распределения твердости по поверхности образца

# МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАНОТВЁРДОСТИ

При определении нанотвёрдости использована методика Оливера и Фарра. Твёрдость определяется как отношение максимальной нагрузки к площади проекции поверхности контакта индентора с материалом.

Расчет контакта индентора с образцом определяли графоаналитическим методом, представленным на рисунке.

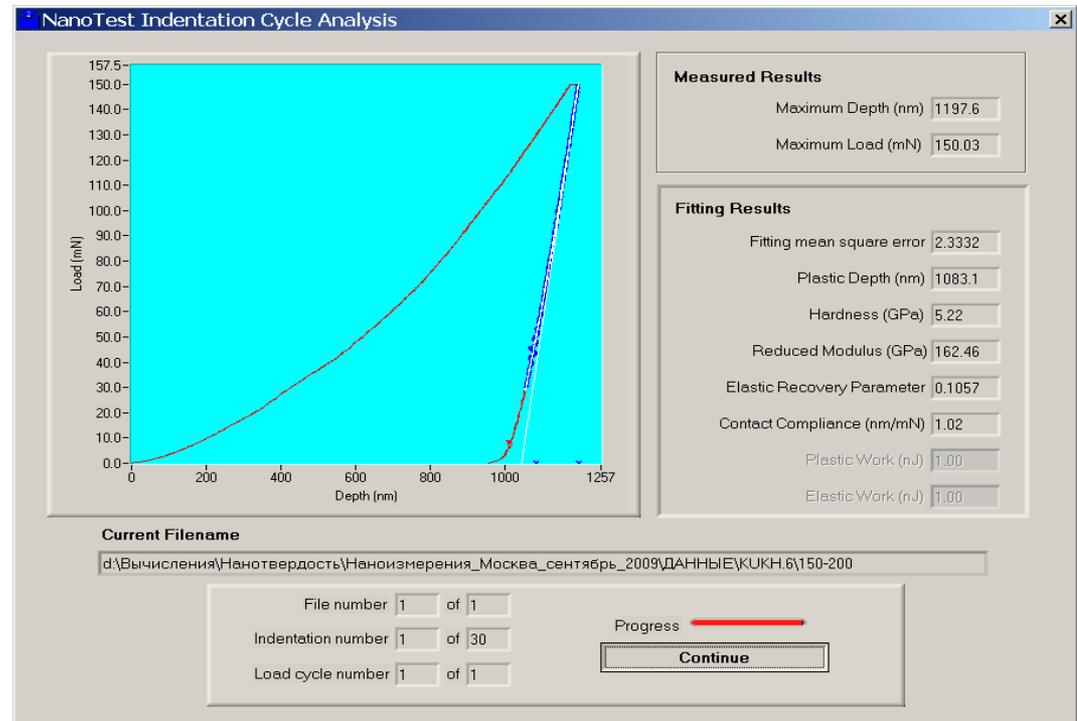


Иллюстрация графоаналитического метода определения глубины контакта индентора с материалом

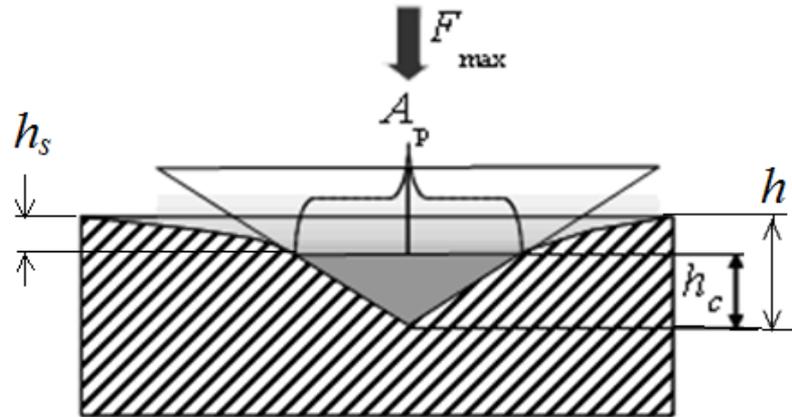
# МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАНОТВЁРДОСТИ

Метод Оливера–Фарра впервые появился в 1992 г. и фактически завоевал лидирующие позиции. Сущность метода заключается в расчете значения нанотвердости путем деления максимальной нагрузки индентирования на площадь проекции контакта индентора с материалом:

$$h_c = h - h_s$$

$$H_{it} = \frac{F}{A_p} = \frac{F}{24,494 \cdot h_c^2}$$

(для индентора Берковича с углом при вершине  $65,27^\circ$ )



**Схема определения твердости по методу Оливера и Фарра:**

$F_{max}$  – максимальная нагрузка индентирования, Н;

$A_p$  – площадь проекции контакта индентора с материалом,  $мм^2$ ;

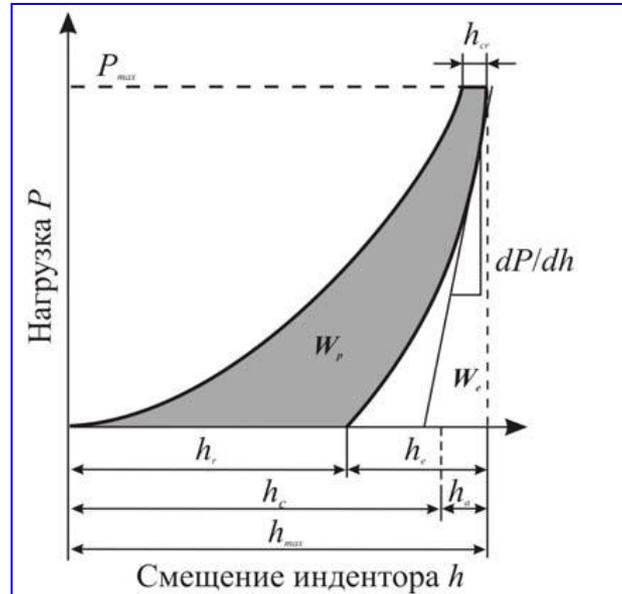
$h_c$  – глубина контакта индентора с материалом, мм

Чтобы оценить  $h_c$  необходимо знать как общее перемещение индентора  $h$ , фиксируемое прибором, так и упругий прогиб поверхности образца на краю контакта  $h_s$ , который нельзя измерить.

# ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЕ ИНДЕНТИРОВАНИЕ

Величина  $h_c$ , необходимая для вычисления твёрдости  $H$ , находится в методике ОиФ из соотношения  $h_c = h_{\max} - \varepsilon_c P_{\max} / S$ , где  $S = dP/dh$  – контактная жесткость на начальном участке ветви разгрузки,

$\varepsilon_c$  – коэффициент, зависящий от геометрии индентора. Для конуса  $\varepsilon_c = 0,72$ ; для параболоида вращения  $\varepsilon_c = 0,75$ ; для плоского поршня  $\varepsilon_c = 1$ .



В стандарте ISO 14577 для индентора Берковича принимается  $\varepsilon_c = 0,75$ . Для больших нагрузок ( $P_{\max} \geq 1$  Н) инденторы Берковича и Виккерса можно считать идеальными и принять  $A_c = 24,5h_c^2$ .

Анализ диаграммы нагружения по методу Оливера–Фарра:

$h_r$  – глубина остаточного отпечатка;  $h_e$  – упругое восстановление;

$h_p$  – контактная глубина отпечатка при максимальной нагрузке на индентор;

$h_a$  – упругий прогиб поверхности образца;

$h_{\max}$  – максимальная глубина отпечатка при максимальной нагрузке  $P_{\max}$ ;

$h_{cr}$  – ползучесть при  $P = \text{const}$ ;

$W_p$  – работа пластической деформации при формировании отпечатка;

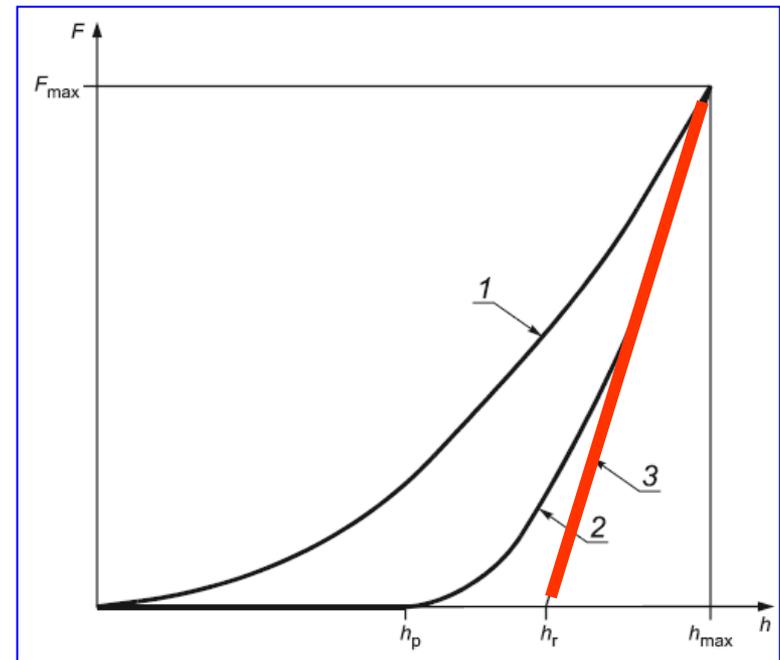
$W_e$  – работа упругой деформации;

$dP/dh = S$  – жесткость в контакте индентор-образец

# МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАНОТВЁРДОСТИ

Для оценки  $h_s$  по методу Оливера и Фарра необходимо произвести сложные и трудоёмкие графоаналитические расчёты контактной жёсткости по наклону касательной к разгрузочной части кривой индентирования в максимальной точке.

Методика испытаний ( $F-h$  - диаграмма - зависимость нагрузки от глубины индентирования): 1 - кривая, соответствующая увеличению испытательной нагрузки, 2 - кривая, соответствующая уменьшению испытательной нагрузки (разгрузка), 3 - касательная к кривой 2 при  $F_{\max}$



Проверить точность этих данных невозможно, следовательно, и к значению твердости индентирования следует относиться с осторожностью.

# МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАНОТВЁРДОСТИ

Недостатки методики Оливера и Фарра:

1) прямыми измерениями фиксируется только нагрузка на индентор, все остальные параметры определяются графоаналитическим методом.

2) метод Оливера-Фарра требует обязательной калибровки на двух эталонах перед началом испытаний в широком диапазоне глубин внедрения индентора. Цель такой калибровки – рассчитать в дальнейшем теоретическую площадь контакта индентора с исследуемым материалом.

3) не пригоден для оценки твердости упругих материалов, контактная площадь которых с индентором предельно мала и приближается к нулевому значению.

**Область применения этого метода –  
упругопластичные и пластичные материалы.**

# МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАНОТВЁРДОСТИ

В окне прибора приводятся показатели: reduce modulus (GPa) – приведенный модуль, elastic recovery parameter – упругое восстановление, plastic depth (nm) – пластическая составляющая деформации,

maximum depth (nm) – максимальная глубина внедрения индентора, maximum load (mN) – максимальная нагрузка.

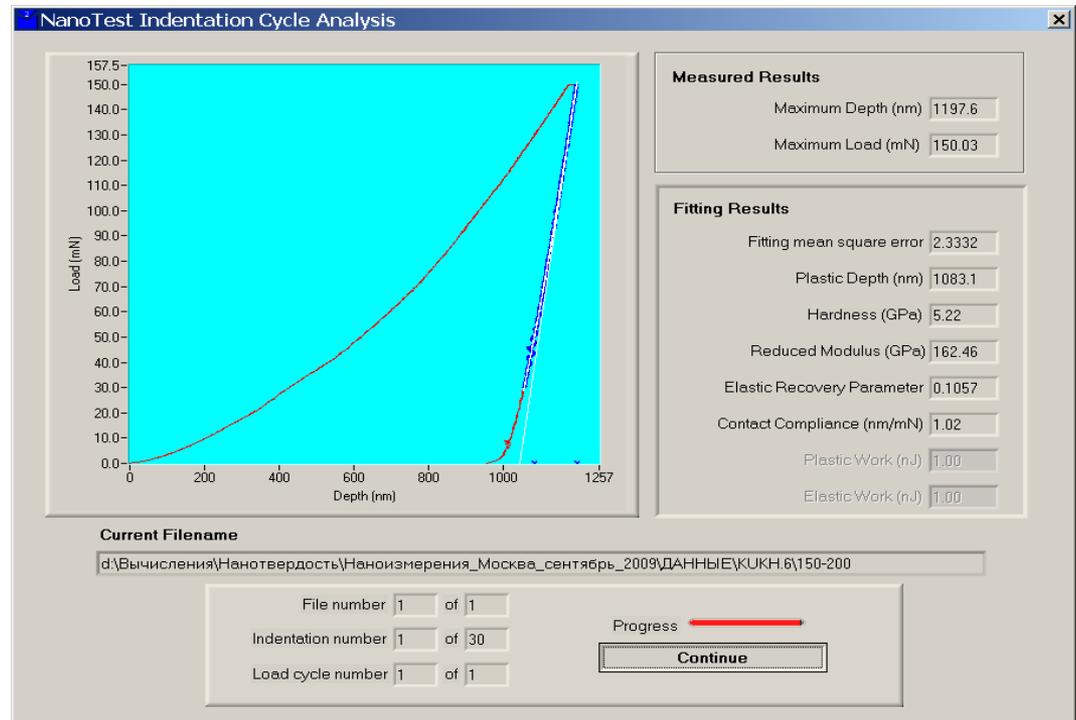


Иллюстрация графоаналитического метода определения глубины контакта индентора с материалом

# ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Привести кривую индентирования эталона твёрдости 103HV индентором Берковича на твердомере Nano Test.

2. Привести численные значения нагрузки и глубины внедрения индентора.

3. Определить величину твёрдости.

4. Определить приведенный модуль упругости.

5. Определить пластическую составляющую деформации.

# ОТЧЁТ О РАБОТЕ

Отчет о работе должен включать:

- 1) Цель работы;
- 2) Краткое изложение теоретических основ работы;
- 3) Формулу для определения нанотвёрдости по методике Оливера и Фарра для индентора Берковича;
- 4) Результаты индентирования эталона твёрдости и полученные характеристики материала.
- 8) Выводы.

# КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1) Что такое нанотвердость?
- 2) Какие методики определения нанотвердости существуют?
- 3) В чем заключается методика Оливера и Фарра?
- 4) В чём недостатки методики Оливера и Фарра?
- 5) По какой формуле определяют нанотвёрдость по методике Оливера и Фарра?

# ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1) Изучить метод конечных элементов определения нанотвёрдости.

2) Изучить существующие приборы для определения нанотвёрдости различных производителей.