



«Новые методы определения твёрдости материалов»

Лекция 42

Lec_42_metod_opr_tverd_3MC_LNA_15_04_2016

**Перспективы развития техники
определения свойств в
нанообъёмах. Методика
определения поверхностной
нанотвердости.**

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

Содержание



42.1. Перспективы развития техники определения свойств в нанобъёмах



42.2. Методика определения поверхностной нанотвёрдости.



Список литературы



Контрольные вопросы



Задания для самостоятельной работы

42.1. Перспективы развития техники определения свойств в нанобъёмах

- растёт число схем и методов испытаний;
- очевидно стремление к соединению возможностей НИ, атомно-силовой и электронной микроскопии и микродифракции, микрорамановской спектроскопии, акустических методов исследования (акустическая AFM, кварцевый микробаланс, непрерывное измерение контактной жесткости и др.) в интересах получения комплексной и более надёжной количественной информации о физической природе процессов, протекающих в наноконтактах;
- множится число методик обработки первичных данных с привлечением подходов разного масштабного уровня (от квантовых атомно-молекулярных до континуальных и эмпирических инженерных);
- совершенствуются аппаратно-программные средства реализации методов НИ и извлечения данных о физико-механических свойствах испытываемых материалов;

Перспективы развития техники определения свойств в нанобъёмах

- растёт реальное пространственное и временное разрешение создаваемой аппаратуры;

- улучшаются методы "очистки" первичных данных от погрешностей и артефактов.

В результате углубления этих тенденций можно ожидать в ближайшие годы развития НИ по следующим направлениям:

- создание многофункционального гибридного оборудования для профессиональных физических исследований и промышленных приложений; в последнем случае актуально увеличение производительности тестирования;

- разработка недорогих приборов для оснащения учебных лабораторий наноматериаловедения, которые должны быть созданы в ближайшее время;

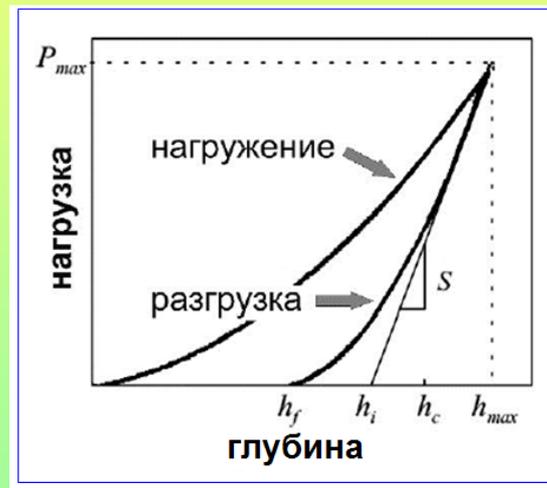
Перспективы развития техники НИ

- совершенствование методов обработки первичных данных, часть из которых должна быть стандартизована и войти в национальные стандарты наномеханических испытаний;
- разработка средств и протоколов метрологического обеспечения НИ;
- развитие физических представлений об атомных механизмах процессов, протекающих в динамических наноконтактах;
- освоение диапазона толщин, приповерхностных слоев (пленок, адсорбционных образований) 0,1...10 нм, что позволит получить надежные количественные данные о механических и служебных свойствах наноматериалов, наноструктур, биообъектов с такими характерными размерами.

42.2. Методика определения поверхностной нанотвёрдости.

Одним из перспективных направлений развития способа наноиндентирования является совершенствование методов обработки первичных данных. Все рассмотренные выше методики оценки нанотвёрдости (Оливера и Фарра, среднего контактного давления, конечных элементов) имеют свои достоинства и недостатки.

Самый большой минус этих методик – это определение глубины контакта индентора с материалом.



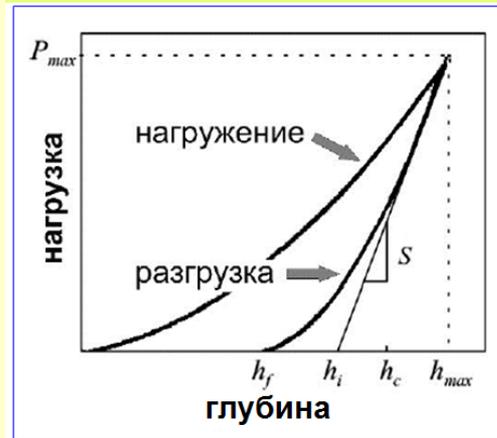
Приборы измеряют глубину внедрения индентора, а глубину контакта определяют достаточно сложными расчётами.

Поэтому разработка методики, в которой будет использоваться глубина внедрения индентора, является перспективным направлением.

Методика определения поверхностной нанотвёрдости

Была предложена методика определения поверхностной нанотвёрдости материалов, которая основана на использовании глубины внедрения индентора.

Поверхностную твёрдость определяют для всего интервала нагружения индентора как отношение силы сопротивления вдавливанию индентора к площади его внедрённой части.



Предложенный способ оценки твёрдости лишен недостатков методики ОиФ и позволяет получать значения нанотвёрдости с учётом упругой и пластической составляющей деформации.

Определение поверхностной нанотвёрдости осуществляется по глубине внедрения индентора, которая измеряется прибором.

Методика определения поверхностной нанотвёрдости

Для индентора Берковича поверхностная твёрдость определяется по формулам

$$HB_{нов} = \frac{F}{A} = \frac{F}{26,3673 \cdot h^2}$$

(угол при вершине 65°)

$$HB_{нов} = \frac{F}{A} = \frac{F}{26,4342 \cdot h^2}$$

(угол при вершине $65^\circ 03'$)

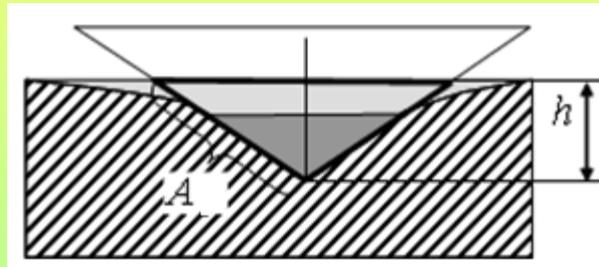
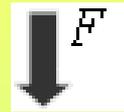


Схема определения
поверхностной
твёрдости:

$$HB_{нов} = \frac{F}{A} = \frac{F}{26,968 \cdot h^2}$$

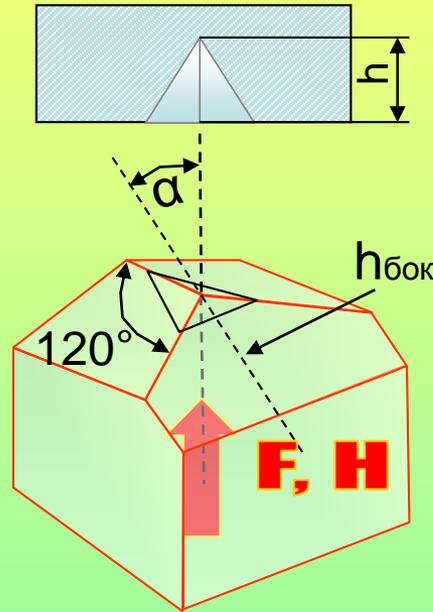
(угол при вершине
 $65^\circ 27'$)

F – сила сопротивления индентору, Н; A – площадь поверхности внедренной в материал части индентора, мм^2 ; h – глубина внедрения индентора от поверхности материала до его вершины, мм

Методика определения поверхностной нанотвёрдости

Площадь A рассчитывается по глубине внедрения пирамиды Берковича h , которая измеряется прибором. Поверхностная твёрдость может быть определена для любых материалов во всём интервале нагружения.

Наиболее часто в качестве индентора используют пирамиду Берковича.



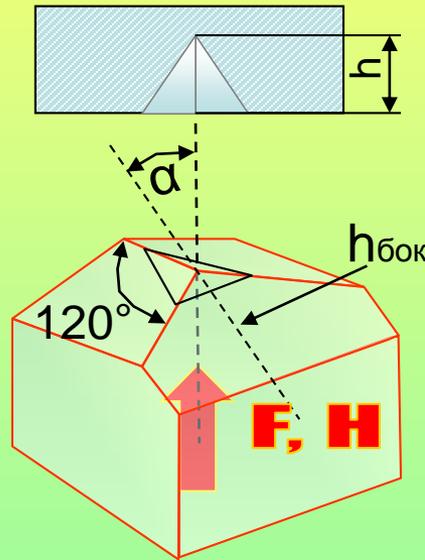
Индентор Берковича представляет собой пирамиду с притуплением вершины в виде сферы радиусом от 50 до 500 нм, то есть это сферопирамидальный индентор.

По мере развития технологий изготовления алмазных инденторов и прецизионных станков значения радиуса притупления вершины пирамиды постоянно уменьшаются, а форма – приближается к идеально острой.

Методика определения поверхностной нанотвёрдости

Однако, не смотря на постоянно совершенствующиеся технологии изготовления инденторов, добиться получения идеально острой формы не удаётся, так как по мере эксплуатации появляется дополнительное притупление вершины и линий пересечения её граней,

которые с трудом поддаются измерению и математическому описанию, что снижает точность полученных результатов.



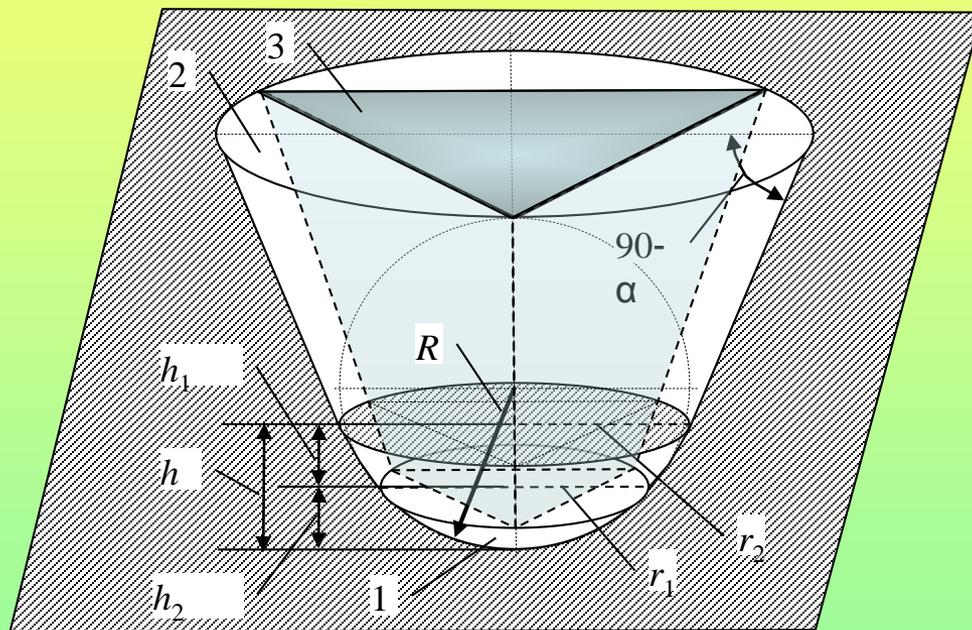
Лишены вышеуказанных недостатков инденторы в виде сферы или конуса с известным радиусом закругления вершины, геометрические параметры которых легко вычисляются по формулам.

Сферические или сфероконические инденторы не нашли до сих пор широкого применения, что обусловлено сложностью изготовления из алмаза сферических или сфероконических поверхностей.

Методика определения поверхностной нанотвёрдости сфероконическим индентором

Для определения площади боковой поверхности пирамиды Берковича при любом радиусе притупления вершины и глубине его внедрения создана геометрическая и математическая модели пирамиды Берковича с учётом износа его вершины.

Данная модель представляет собой пирамиду Берковича с радиусом закругления вершины R , которая внедрена в образец на глубину h , равную сумме глубин внедрения сферической (h_2) и пирамидальной (h_1) частей пирамиды.



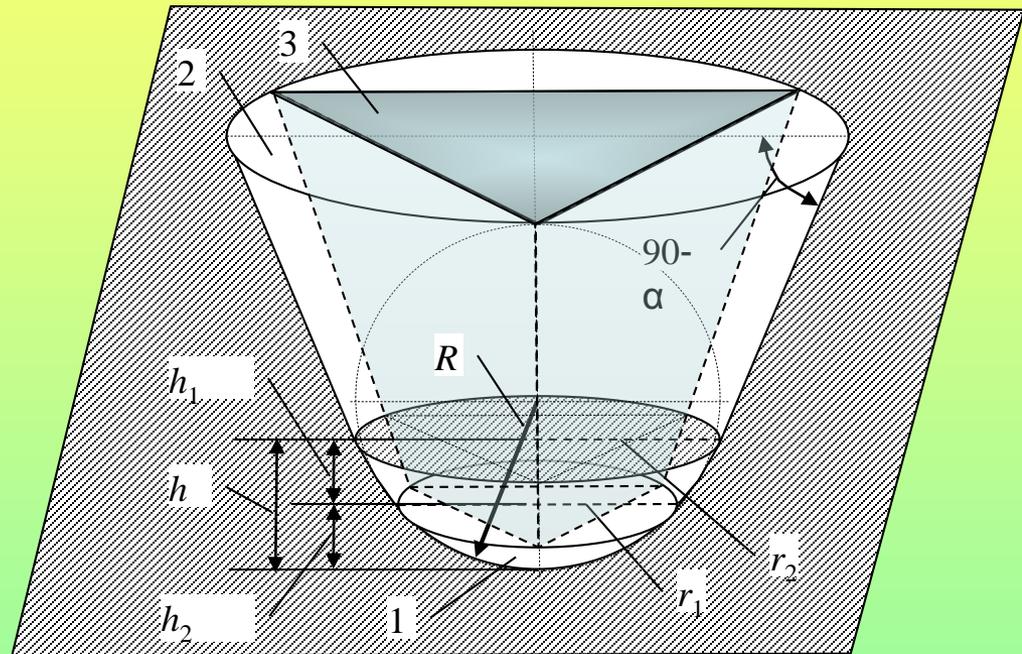
Вокруг боковых граней пирамиды опишем конус 2 с радиусом r_2 , показывающим площадь поперечного сечения внедренной в образец части конуса. Конус 2 плавно сопрягается с притупленной сферической частью 1 пирамиды Берковича.

Методика определения поверхностной нанотвёрдости сфероконическим индентором

Такая геометрическая модель позволит нам очертить границы от идеально острой пирамиды Берковича до максимально затупленной не только при вершине 1, но и при линиях пересечения боковых граней.

По мере притупления боковых граней последние преобразуются в описанный вокруг пирамиды конус 2.

По мере притупления боковых граней последние преобразуются в описанный вокруг пирамиды конус 2.



Сфероконическая и сферопирамидальная геометрические модели пирамиды Берковича: 1 – притупленная вершина индентора в виде шарового сегмента; 2 – описанный конус вокруг пирамиды; 3 – пирамида без притупленной вершины

Методика определения поверхностной нанотвёрдости сфероконическим индентором

Данная модель пирамиды Берковича позволит рассмотреть границы возможных изменений геометрических параметров пирамиды по мере ее притупления в процессе эксплуатации либо при недостаточно высокой точности ее изготовления. В общем виде для любого радиуса притупления вершины пирамиды Берковича получаем

$$\begin{aligned} S^{65,27} &= S_1^{65,27} + S_2^{65,27} = \\ &= 29,684R^2 - 2\pi R^2 + 29,684h^2 - 278,196R + 278,196h - \\ &\quad - 59,368R^2 \cos \varphi + 2\pi R^2 \cos \varphi + 278,196R \cos \varphi + \\ &\quad + 29,684R^2 \cos^2 \varphi - 59,368Rh + 2\pi Rh + 59,368Rh \cos \varphi \end{aligned}$$

где h – глубина внедрения индентора;

R – радиус закругления вершины индентора;

α – угол при вершине конуса, описанного вокруг пирамиды Берковича,

$S^{65,27}$ - площадь боковой поверхности реальной пирамиды Берковича;

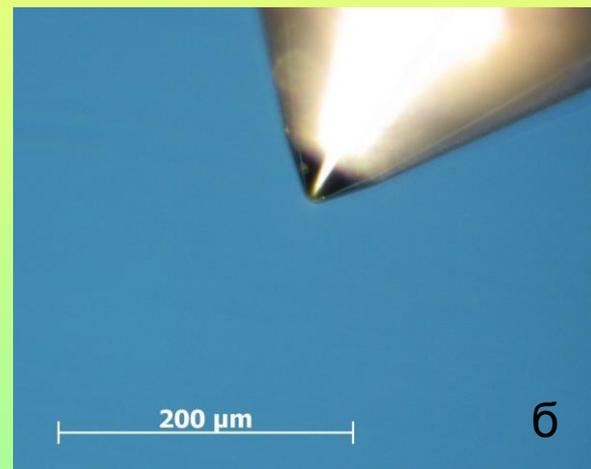
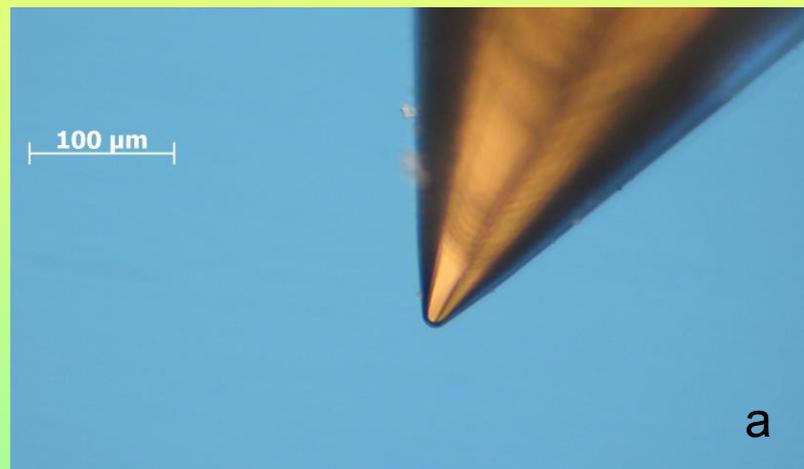
$S_1^{65,27}$ - площадь боковой поверхности усечённой пирамиды Берковича;

$S_2^{65,27}$ - площадь боковой поверхности притуплённой вершины.

$$\varphi = \left(90 - \frac{\alpha}{2}\right)$$

Методика определения поверхностной нанотвёрдости сфероконическим индентором

Исследования нанотвёрдости проводились на твердомере NanoTest фирмы Micro Materials Ltd (Англия) сфероконическим индентором с радиусом скругления вершины – 8600 нм и высотой сферической части – 4300 нм с углом при вершине 60° и 90° , что позволяло использовать сферическую часть во всем нанодиапазоне глубин внедрения.



Рабочая часть сфероконических алмазных инденторов с различными геометрическими параметрами: а – сфероконический индентор с радиусом скругления вершины $R = 8600$ нм и углом конуса при вершине $\alpha = 60^\circ$; б - сфероконический индентор с радиусом скругления вершины $R = 8600$ нм и углом конуса при вершине $\alpha = 90^\circ$

Методика определения поверхностной и объёмной нанотвёрдости сфероконическим индентором

Если наноиндентирование выполняется сферической частью индентора, то поверхностная нанотвёрдость определяется по формуле

$$HB = \frac{F}{S} = \frac{F}{2\pi Rh}$$

где S – площадь боковой поверхности внедренной сферической части индентора;

F – нагрузка в любой точке нагрузочной ветви диаграммы индентирования;

R – радиус закругления вершины индентора;

h – глубина внедрения индентора.

Объёмная нанотвёрдость для сферического индентора равна

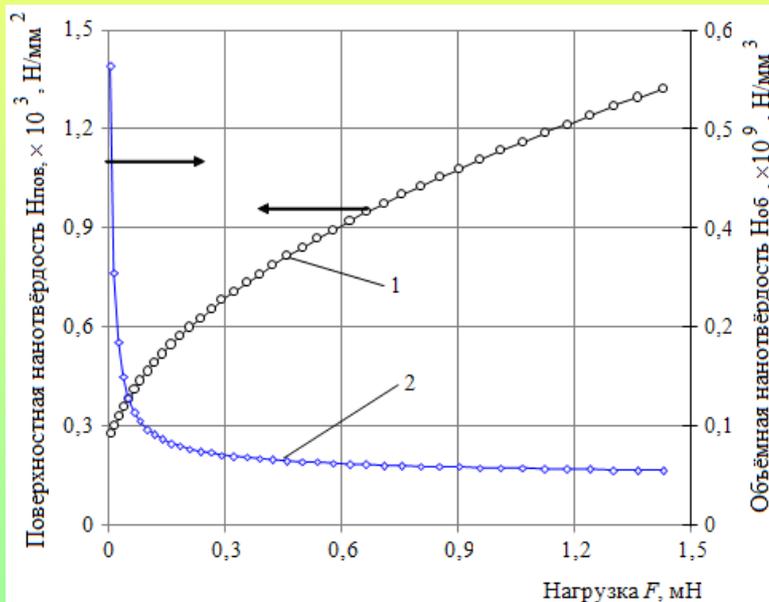
$$HB = \frac{F}{V} = \frac{F}{1,047 \cdot h^2(3R - h)}$$

Объёмная нанотвёрдость позволяет более информативно оценить изменение механических свойств материалов в локальных нанобъёмах.

Методика определения поверхностной и объёмной нанотвёрдости сфероконическим индентором

Как следует из приведенных зависимостей с увеличением нагрузки поверхностная нанотвёрдость увеличивается. Такое явление в современной литературе получило название «обратного размерного эффекта», объёмная же нанотвёрдость с увеличением нагрузки всегда уменьшается – имеет место «прямой размерный эффект».

Характер изменения твёрдости с увеличением нагрузки (размерный эффект) определяется геометрией индентора



и для поверхностной твёрдости может изменяться в зависимости от геометрии индентора, а для объёмной – всегда одинаков.

Постоянство характера зависимости объёмной нанотвёрдости от нагрузки имеет важное значение в том случае, если необходимо сравнивать результаты измерений нанотвёрдости инденторами с различной геометрией.

Список литературы к лекции 42

1) Гоголинский К.В. Средства и методы контроля геометрических параметров и механических свойств твердых тел с микро- и нанометровым пространственным разрешением / дисс... докт. техн. наук 05.11.13. – М., 2015. – 264 с.

2) Усеинов С.С., Соловьев В.В., Гоголинский К.В. и др., Особенности применения метода наноиндентирования для измерения твердости на наномасштабе, Нанотехника, №1(13).-2008. -С.111-115.

3) Головин Ю.И. Исследование механических свойств материалов методами наноиндентирования (обзор) / Ю.И. Головин // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2009. – Т. 75. – Вып. 2. – С. 37-53

4) Белоус В.А. Наноиндентирование поверхностных слоев материалов / В.А. Белоус, В.С. Павлов, Г.Н. Толмачева // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники (18). – 2009. – №6. – С. 146-148.

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

Контрольные вопросы

1) Назовите перспективы развития наноиндентирования.

2) Как определить поверхностную нанотвёрдость пирамидальным индентором?

3) Как определить поверхностную нанотвёрдость сфероконическим индентором?

4) Как определить поверхностную и объёмную нанотвёрдость сферическим индентором?

4) Каков характер зависимости поверхностной и объёмной нанотвёрдости от нагрузки?

Задания для самостоятельной работы

1. Сравнить методики определения нанотвёрдости, объяснить достоинства и недостатки.



Кафедра технології металлов и матеріалознавства

г. Харьков, ул. Петровского, 25, ХНАДУ, КАФЕДРА ТМ и М
Tel.(8-057)707-37-92

