

## СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАКРО-, МИКРО- И НАНОТВЕРДОСТИ МАТЕРИАЛОВ

В настоящее время все чаще возникает необходимость в оценке свойств тонких поверхностных слоев, свойств материалов в микро- или нанобъемах. Практически единственным методом оценки свойств является метод нанотвердости.

В основе способа измерения нанотвердости лежит метод непрерывного индентирования, при котором фиксируется перемещение индентора и нагрузка. На основе измерений этих параметров получают диаграммы индентирования, которые затем обрабатываются различными способами, и рассчитывают значения нанотвердости (микро-, макро- твердости).

Наиболее распространенный метод оценки нанотвердости – это метод Оливера и Фарра, при котором твердость определяется по глубине контакта индентора с материалом [1]. Метод достаточно трудоемкий и твердость определяется только для максимального значения нагрузки.

В Харьковском Национальном автодорожном университете разработан метод поверхностной (универсальной) и объемной (истинной) нанотвердости, которая определяется по глубине внедрения пирамиды Берковича расчетным методом по формулам для всего интервала нагрузок.

Для модифицированного индентора Берковича поверхностную микро- или нанотвердость определяют по формуле [2]

$$H_{\text{пов}}^{\text{ПБ } 65,27^\circ} = \frac{F}{26,97 \cdot h^2}, \quad (1)$$

где  $F$  – сила сопротивления внедрению пирамиды, Н;  
 $h$  – глубина внедрения индентора.

Объемную микро- или нанотвердость находят по формуле [2]:

$$H_{\text{об}}^{\text{ПБ } 65,27^\circ} = \frac{F}{10,54 \cdot h^3} \quad (2)$$

При проведении исследований твердость оценивают по нескольким измерениям, то есть для каждого измерения (индентирования) строят диаграмму нагружения индентора и для каждой точки диаграммы рассчитывают значения твердости. Возникает вопрос: как по нескольким измерениям найти среднее значение твердости?

Для того чтобы дать ответ на данный вопрос, были проведены исследования твердости в микро- и нанодиапазонах образцовых мер твердости HV<sub>30</sub> из стали У12А на твердомере *NanoTest* фирмы *Micro Materials Ltd* (Англия) трехгранной пирамидой Берковича (Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук).

По результатам измерений в окне прибора появляется изображение кривых индентирования (рис. 1).

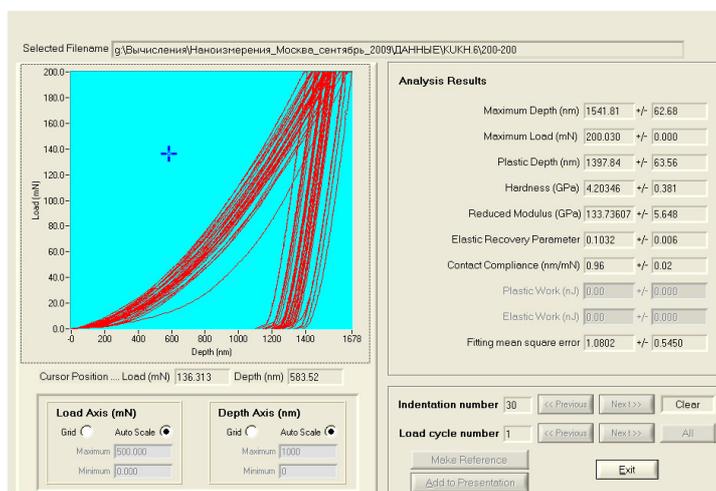


Рисунок 1 – Окно отчета о результатах измерений

Образцы размером 1x1x0,5 см подготавливали методом механической полировки с последующим глубоким травлением. Индентирование проводили в диапазоне нагрузок от 0,5 до 200 мН. Твердость определяли по 30 индентированиям. Ниже приведена методика определения среднего значения твердости образцовой меры твердости HV<sub>30</sub> из стали У12А.

1. По результатам измерений в программе *Excel* строим график зависимости нагрузки от глубины внедрения индентора  $P = f(h)$  (рис. 2) для каждого из 30 индентирований. Добавляем линию тренда, то есть описываем кривую индентирования полиномом. Формулу размещаем на графике.

2. Задаем значения глубины с определенным шагом и рассчитываем величины силы для каждого из 30 индентирований по полученным формулам.

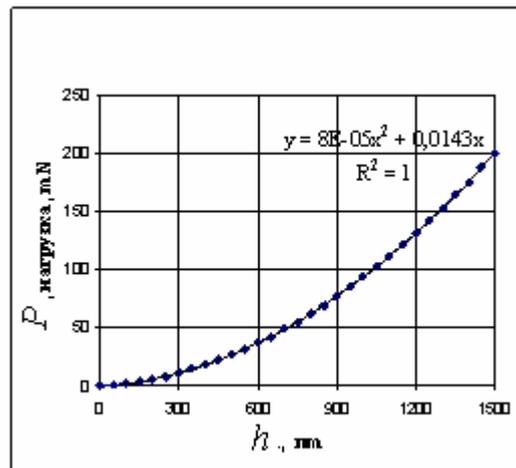


Рисунок 2 – Пример зависимости нагрузки от глубины внедрения индентора Берковича при индентировании меры твердости HV<sub>30</sub> (кривая 1)

3. Рассчитываем среднее значение силы  $P_i$  по  $n$  точкам ( $n = 30$ ) для каждого заданного значения глубины:

$$P_{cp_i} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} . \quad (3)$$

4. По рассчитанным средним значениям силы и заданным значениям глубины строим среднюю кривую нагружения  $P_{cp} = f(h)$ .

5. Наносим на один график кривые для всех 30 точек. Выделяем среднюю, верхнюю (максимальные значения нагрузки) и нижнюю (минимальные значения нагрузки) кривые (рис. 3).

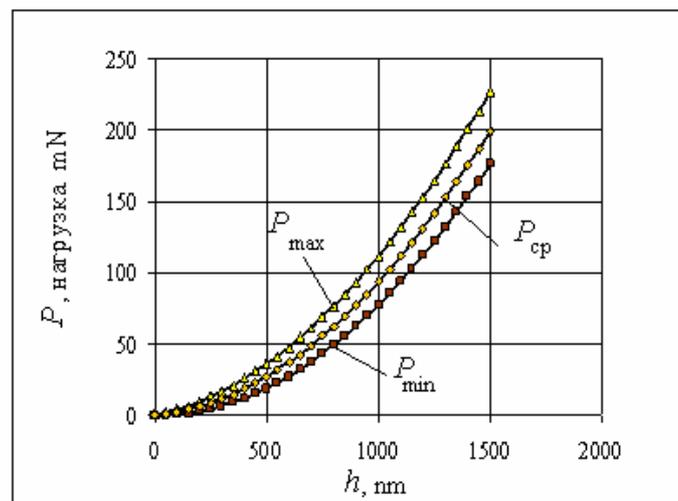


Рисунок 3 – Кривые нагружения: максимальная, средняя и минимальная

6. Для средней, максимальной и минимальной кривых нагружения рассчитываем величину поверхностной и объемной твердости во всем диапазоне нагрузок по формулам 1 и 2 [2].

7. Строим зависимость поверхностной и объемной твердости от глубины внедрения индентора. Обозначаем диапазон разброса (верхняя и нижняя кривые) твердости (разброс обозначен на рис. 4 серым цветом).

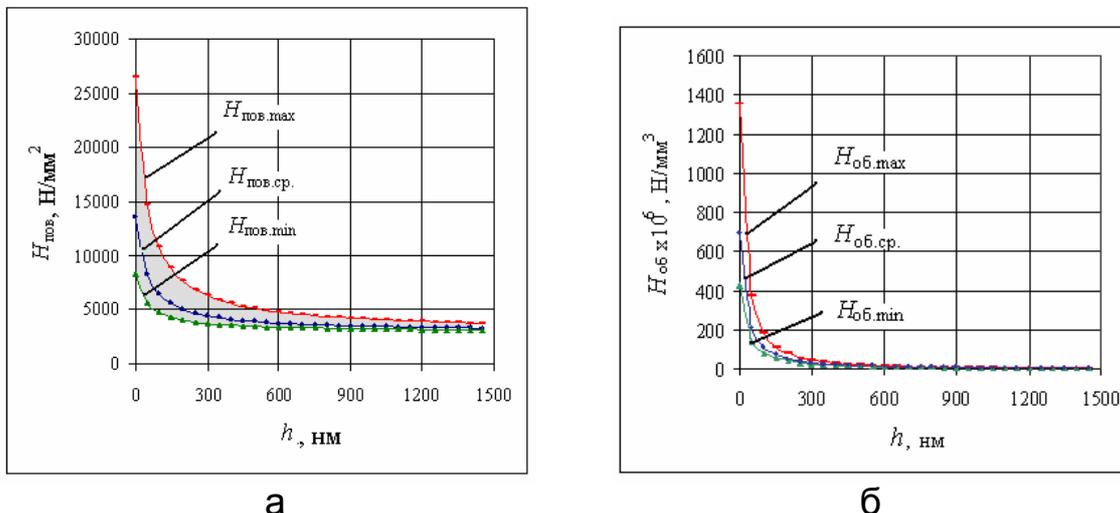


Рисунок 4 – Зависимость максимальной, средней и минимальной поверхностной (а) и объемной (б) твердости от нагрузки

Таким образом, на основании 30 измерений твердости получено среднее значение и разброс – максимальное и минимальное значения твердости.

### Выводы

1. Метод поверхностной (универсальной) и объемной (истинной) нано-, микро- и макротвердости позволяет определять твердость по глубине внедрения пирамиды Берковича расчетным методом по формулам для всего интервала нагрузок.

2. Предложенная методика обработки результатов измерений позволяет повысить точность определения твердости.

### Список использованных источников

1. Дуб С.Н. Испытания твердых тел на нанотвердость / С.Н. Дуб, Н.В. Новиков // Сверхтвердые материалы. – 2004. – № 6. – С.16–33.

2. Мощенок В.И. Определение универсальной и истинной нанотвердости материалов / В.И. Мощенок, Н.А. Лалазарова // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2008. – Вып. № 2 (53). – С. 87–92.

*Поступила в редакцию 01.03.2010 г.*

*Рецензент: канд. техн. наук, проф. Н.И. Семишов,  
Национальный аэрокосмический университет  
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков*