

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 HV₃₀ 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).

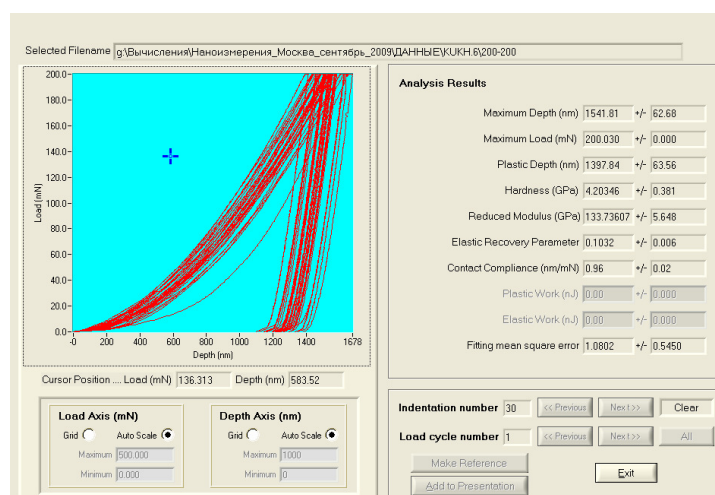


Рисунок 1 – Окно отчета о результатах измерений

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 HV₃₀ 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.

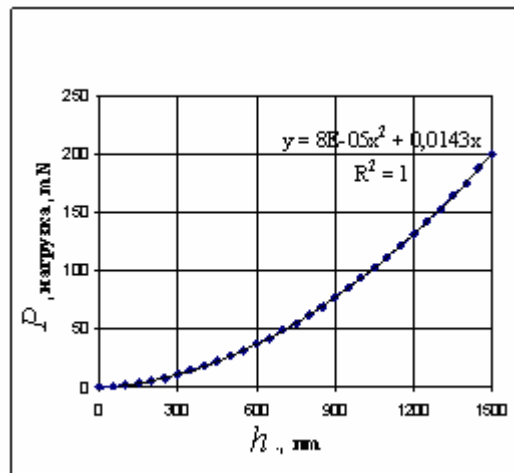


Рисунок 2 – Пример зависимости нагрузки от глубины внедрения индентора Берковича при индентировании меры твердости HV₃₀ (кривая 1)

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).

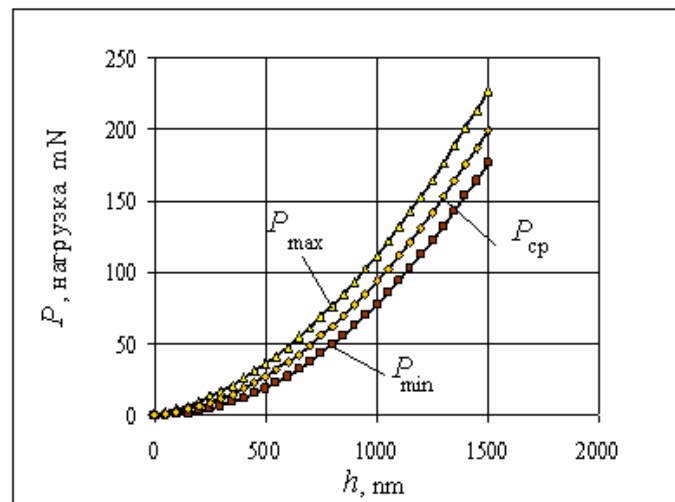


Рисунок 3 – Кривые нагружения: максимальная, средняя и минимальная

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).

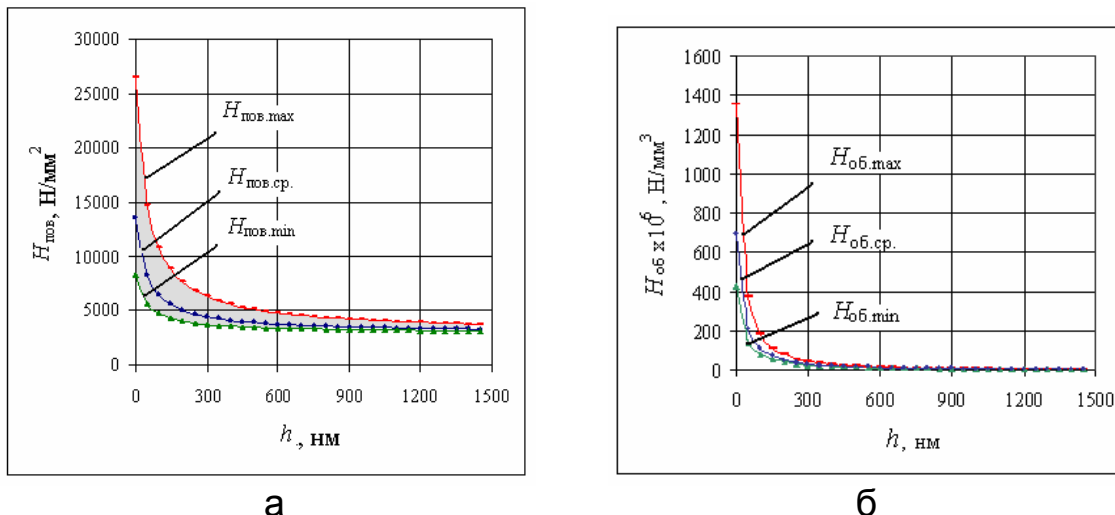


Рисунок 4 – Зависимость максимальной, средней и минимальной поверхностной (а) и объемной (б) твердости от нагрузки

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*