

**Исследование влияния уровня шероховатости поверхности на твердость и модуль Юнга материалов, измеряемые методом инструментального индентирования.**

**А.С. Бирюков<sup>1,3</sup>, И.И. Масленников<sup>1,3</sup>, А.А. Русаков<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Московский Физико-Технический Институт (Государственный Университет)

<sup>2</sup>НИЯУ Московский Инженерно-Физический Институт

<sup>3</sup>ФГБНУ Технологический Институт Сверхтвердых и Новых Углеродных материалов

Метод инструментального индентирования используется для определения механических свойств объемных материалов, приповерхностных слоев и тонких пленок материалов. Измерение представляет собой фиксацию процесса внедрения твердого индентора в поверхность с заданной силой. Твердость определяется с использованием рассчитанной в ходе эксперимента площади проекции отпечатка индентора. В наноиндентировании глубина проникновения индентора может иметь величину порядка нескольких нанометров. Поэтому данный метод предполагает наличие ровной гладкой поверхности [1]. Естественно, что в реальном случае поверхность обладает некоторой шероховатостью и неровностью, однако при углублениях в материал на много превышающих данную величину это оказывается несущественным. В то же время в некоторых случаях измерение требуется проводить именно при малых глубинах и малых нагрузках: например, в очень тонких пленках, микро электромеханических системах, биологических тканях или когда шероховатость поверхности после обработки по-прежнему не пренебрежимо мала по сравнению с максимальной глубиной индентирования [2]. Естественно, шероховатость реальных поверхностей может вызвать значительные ошибки в оценке твердости и модуля Юнга при наноиндентировании. Таким образом, появляется необходимость в создании модели, позволяющей связать измеренные величины с реальной твердостью образца, и понять природу и особенности возникающей погрешности.

В данной работе рассматривается учет влияния шероховатости поверхности на результаты измерений. Была предпринята попытка создания рабочей модели взаимодействия индентора и поверхности и выработки метода получения истинных значений механических свойств материала с шероховатой поверхностью, измеренных с помощью наноиндентирования.

Для исследования влияния шероховатости был проведен эксперимент по измерению твердости и модуля Юнга на модельном материале (поликарбонат), на образцах с разным уровнем шероховатости, а также получены профили поверхности данных образцов. Предложена вероятностная модель, объясняющая разброс значений твердости при наноиндентировании. Данная модель описывает сдвиг при определении контактной глубины в эксперименте. Распределения контактных глубин для образцов с разным уровнем шероховатости и для разных приложенных нагрузок показаны на рис. 1.

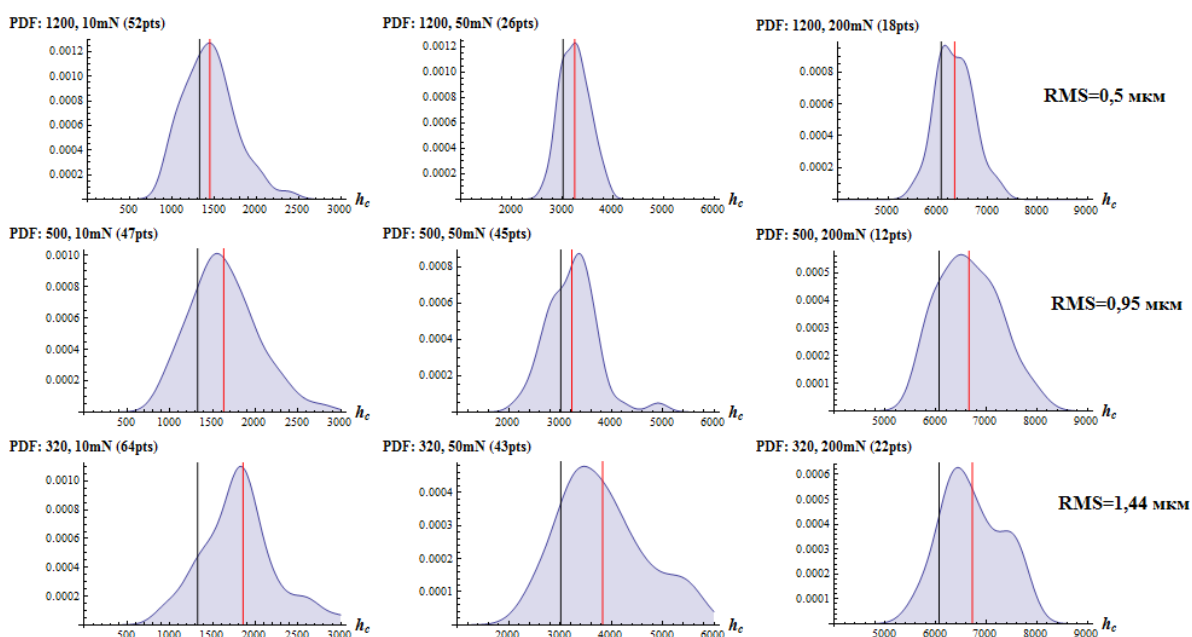


Рис. 1. Распределение контактных глубин для образцов с разным уровнем шероховатости и для разных приложенных нагрузок. Красная линия – центр масс распределения. Черная линия – контактная глубина реальной твердости.

Главным выводом является то, что процесс взаимодействия индентора с шероховатой поверхностью поддается математическому описанию и возможно получение аналитических зависимостей связывающих параметры шероховатости и разброс экспериментальных данных. Использование информации о величине шероховатости позволяет делать оценку величины смещения контактной глубины и проверять ее с помощью экспериментальных данных.

Данная работа выполнена в рамках ФЦП «Исследование и разработки по приоритетным направлениям развития научно технического комплекса России на 2014-2020» по соглашению № 14.577.21.0088 «Разработка специализированного нанотвердомера-профилометра и методов контроля физико-механических свойств

внутренних поверхностей открытых и глухих каналов для применения в машиностроении и авиакосмической отрасли» (уникальный идентификатор проекта RFMEFI57714X0088) и с использованием оборудования ЦКП ФГБНУ ТИСНУМ.

#### Литература

1. *W.C. Oliver and G.M. Pharr*. Measurement of hardness and elastic modulus by instrumented indentation: Advances in understanding and refinements to methodology // *J. Mater. Res.* 19, 3. – 2004.
2. *M.S. Bobji and S.K. Biswas*. Estimation of hardness by nanoindentation of rough surfaces // *Journal of Materials research*. - 1998.
3. *Ju-Young Kim and Jung-Jun Lee*, Surface roughness effect in instrumented indentation: A simple contact depth model and its verification // *Cambridge Journal*. – 2006.
4. *Gelson Biscaia de Souza u Alexandre Mikowski*. Indentation hardness of rough surfaces produced by plasma-based ion implantation processes // *Elsevier*. – 2010.