

# ПРИМЕНЕНИЕ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ДИФфуЗИОННЫХ ПОКРЫТИЙ

В. С. Максачев

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Беларусь*

Научный руководитель И. А. Панкратов

**Введение.** Современные технологии позволяют получать различные по своим функциональным возможностям упрочненные слои. На свойства покрытий оказывает влияние метод и технология их получения. Одинаковые покрытия, полученные различными способами могут отличаться между собой по свойствам. Поэтому для определения наиболее соответствующих слоев функциональным задачам необходимо определять свойства экспериментально и с большой точностью. Одними из способов, позволяющими определить свойства покрытий являются методы определения динамической микротвердости с записью кривой «нагрузка – глубина внедрения» [1] и наноиндентирование [2]. В настоящее время в Беларуси, широко развиваются технологии позволяющие получать различные по своим свойствам диффузионные покрытия. В этих условиях актуальной становится разработка методик определения свойств диффузионных покрытий с использованием атомно-силовой микроскопии.

**Материалы и методы исследования.** Для определения упругих характеристик покрытий использовали наноизмерительный комплекс (атомно-силовой микроскоп) NT-206 (ОДО «Микротестмашины», Беларусь). В качестве объекта исследований выбрана быстрорежущая сталь Р6М5 с диффузионным упрочнением поверхности. Диффузионное упрочнение поверхности проводили посредством науглероживания в твердом карбюризаторе.

При работе в динамическом режиме генератор генерирует сигнал для возбуждения колебаний пьезоактюатора. Частота колебаний выбирается соответствующей собственной резонансной частоте зонда. Колебания зонда возбуждаются приложе-

нием модулированного напряжения к пьезоактюатору. Модуль упругости определяют по скачкообразному изменению фаз колебаний пьезоактюатора. Изменение разности фаз пропорционально упругим характеристикам исследуемого материала [3]. Модуль упругости определяли на покрытиях на основе TiN и FeV, нанесенных на образцы из быстрорежущей стали Р6М5.

**Результаты и их обсуждение.** Применение изложенной выше методики позволило определить значение модуля упругости покрытий. Модуль Юнга покрытия на основе TiN составил 600 ГПа, что совпадает со справочными данными и показывает действенность метода. На рис. 1 показано трехмерное изображение поверхности диффузионных слоев на основе TiN и FeV, полученное и использованием динамического режима наноизмерительный комплекс (атомно-силовой микроскоп) NT-206 (ОДО «Микротестмашины», Беларусь).

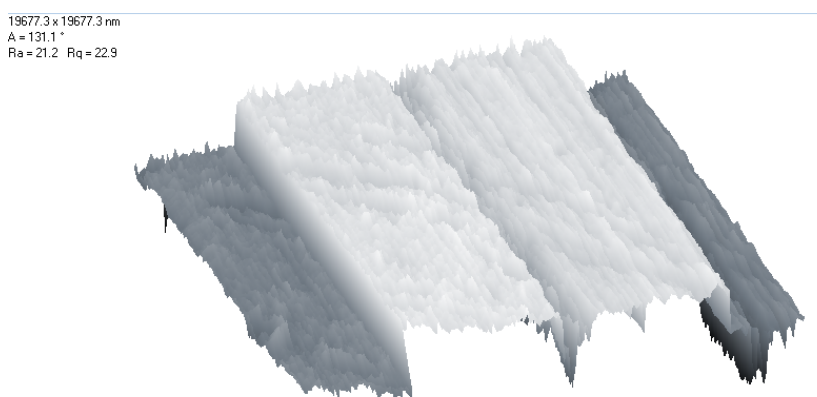


Рис. 1. Трехмерное изображение поверхности диффузионных слоев на основе TiN и FeV

На рис. 2 представлено графическое изображение фазового контраста слоев, на котором отчетливо виден скачек фазы колебаний пьезоактюатора.

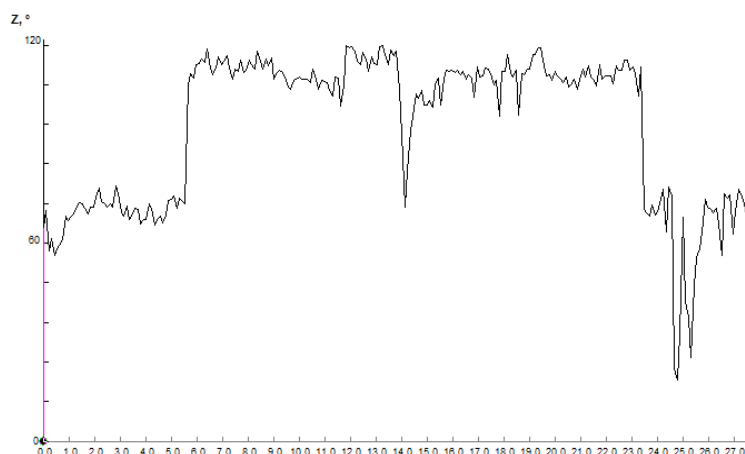


Рис. 2. Графическое изображение фазового контраста слоев

Исходя из того, что модуль упругости прямо пропорционален скачкообразному изменению фаз колебаний пьезоактюатора, получили следующую зависимость изме-

## 112 Секция II. Материаловедение и технология обработки материалов

нения модуля упругости исследованных покрытий. Значения модуля упругости представлены на рис. 3.

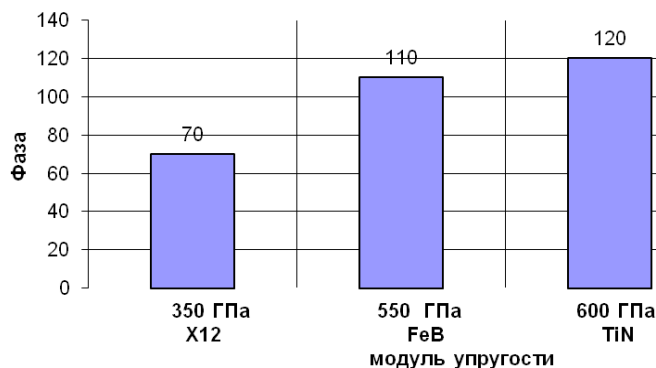


Рис. 3. Модуль упругости исследованных покрытий

**Заключение.** Показано, как с использованием атомно-силовой микроскопии определены модуль упругости покрытий на основе TiN и FeB и стали Р6М5. Модуль упругости покрытия на основе TiN составил порядка 600 ГПа, модуль упругости покрытия на основе FeB составил около 550 ГПа, стали Р6М5 – 350 ГПа, что близко к справочным значениям. Применение представленных методик не требует недоступного дорогостоящего зарубежного оборудования.

### Литература

1. Бульчев, С. И. Испытание материалов непрерывным вдавливанием индентора / С. И. Бульчев, С. И. Алехин. – М. : Машиностроение, 1990. – 224 с.
2. Fischer-Cripps A. C. Nanoindentation, 2nd Ed. – New York, Springer-Verlag, 2004. – 264 p.
3. Чижик, С. А. Трибомеханика прецизионного контакта (сканирующий зондовый анализ и компьютерное моделирование) : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / С. А. Чижик. – Гомель, 1998.