

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИОННОПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТАЛЬ 65X13

*И. ЧЖЭ<sup>1</sup>, И.Э. ВАСИЛЬЕВА<sup>2</sup>, О.Ю. ВАУЛИНА<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Шеньянский политехнический университет

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет

[kolgay@tpu.ru](mailto:kolgay@tpu.ru)

**Введение.** В настоящее время покрытия широко используются не только для повышения износостойкости и коррозионной стойкости металлорежущего и деформирующего инструмента [1], но и для повышения усталостной прочности в разных областях техники.

Традиционный метод повышения режущих свойств инструмента легированием в настоящее время сдерживается в связи с дефицитом ряда легирующих элементов. Поэтому важной задачей становится поиск режимов дополнительной обработки инструмента. Ионно-плазменные покрытия на поверхности режущего инструмента позволяют повысить его сопротивление износу при эксплуатации, расширить границы технологических возможностей и уменьшить расход дорогостоящих легирующих элементов [2].

**Материалы и методы исследования.** Образцы исследования представляли собой пластинки размером 10×15×1 мм<sup>3</sup>. Поверхность стали готовили механической шлифовкой и полировкой. Затем поверхность образцов насыщали азотом (N) и послойно нитридом титана и нитридом циркония (TiN+ZrN) – восемь слоев. Интересны в исследовании были многослойные покрытия (TiN+ZrN – 8 слоев), где «твердый слой – TiN» будет отвечать за твердость и высокую износостойкость, а «мягкий – ZrN» за релаксацию напряжений [2, 3].

Структурные исследования выполняли на металлографическом лабораторном микроскопе ЛабОмет–И. Микротвердость измеряли на микротвердомере ПМТ-3М. Нанотвердость была измерена на наноинденторе MTS G200. Испытания на износ проводили на стандартной лабораторной установке.

**Результаты исследования.** Исследования проводили на инструментальной стали 65X13. Структура в исходном состоянии (состоянии поставки) представляет собой зернистый перлит с включениями карбидов. Средняя микротвердость составляла 220...240 Н/мм<sup>2</sup>.

Микротвердость образцов, с нанесенными покрытиями измеряли на торцевой поверхности от поверхности к сердцевине образца, по несколько дорожек для одного покрытия. Графики зависимости микротвердости по глубине образца приведены на рисунке 1. Для напыляемых композиций видно, что насыщенный поверхностный слой обладает большей микротвердостью, чем сердцевина. Микротвердость у поверхности по торцу обработанных образцов составляет от 320 Н/мм<sup>2</sup> для азотированных образцов до 420 Н/мм<sup>2</sup> для образцов с многослойным покрытием, снижается на расстоянии 400...600 мкм к сердцевине до 200...220 Н/мм<sup>2</sup>. Таким образом, микротвердость увеличилась от 1,5 (для N-покрытий) до 2-х раз (для (TiN+ZrN) – покрытия (восемь слоев)) в сравнении с микротвердостью исходной стали. Характер переходной зоны имеет плавный переход от упрочненного слоя к основному металлу. Толщина модифицированного слоя во всех случаях примерно одинаковая ~ 500 мкм.

Измерения твердости тонкого поверхностного слоя при малых нагрузках для всех образцов проводили на наноинденторе MTS G200. Для каждого покрытия сделано несколько измерений, построены графики зависимости нанотвердости от силы проникновения индентора, рисунок 2.

Технология определения нанотвердости также позволяет автоматически рассчитать модуль Юнга, который характеризует свойства материала сопротивлению упругой деформации. Полученные значения средней нанотвердости и значения модуля Юнга представлены в сводной таблице 1. Видно, что наибольшей нанотвердостью обладают образцы с многослойными покрытиями.

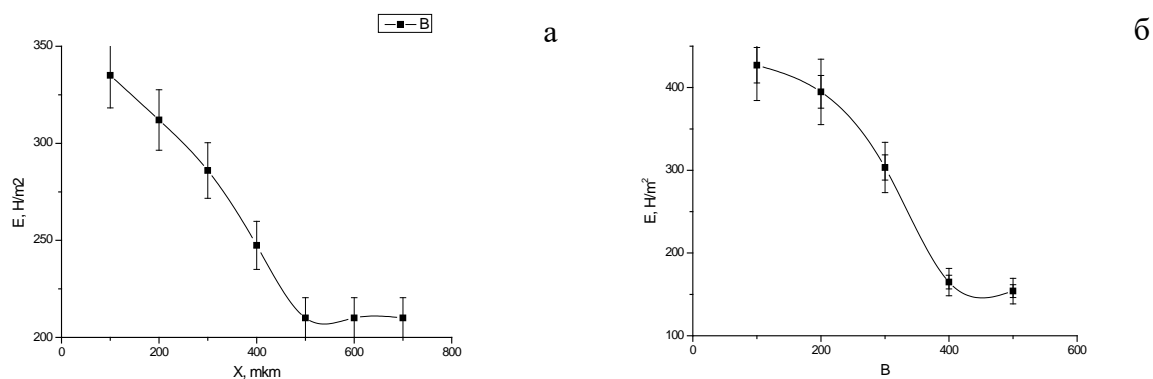


Рисунок 1 - Зависимость микротвердости (E) по толщине образцов с покрытиями (x):  
а) N; б) TiN+ZrN

Коррозионные испытания проводили в 10%-растворе азотной кислоты в воде. Схема испытания: окунание и выдержка в атмосфере. Испытания азотистых покрытий на коррозионную стойкость проводили согласно ГОСТ 9.308-85. Полученные результаты отражены в сводной таблице 1.

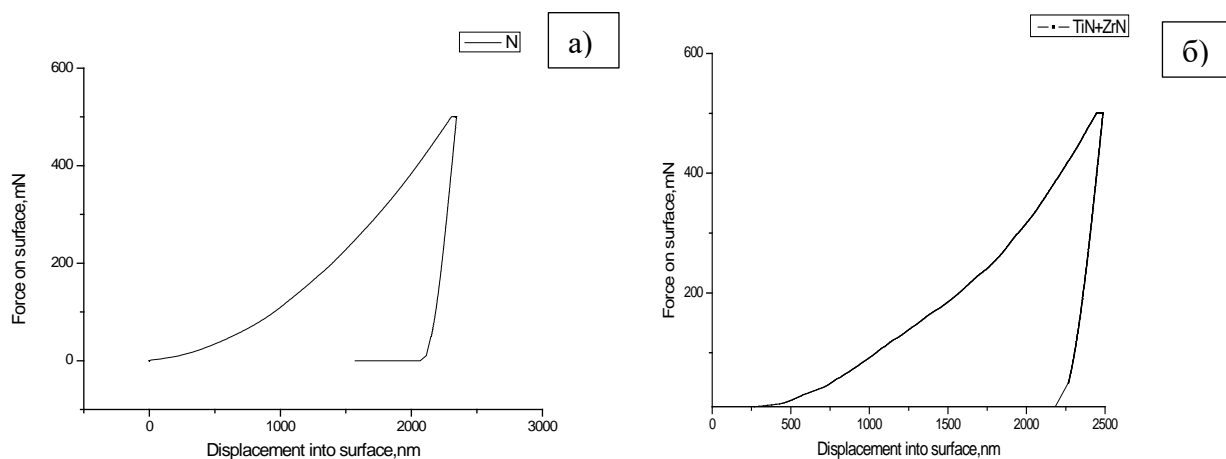


Рисунок 2 – Зависимость нанотвердости от силы проникновения индентора в образец:  
а) N; б) TiN+ZrN

Нержавеющая сталь 65X13 из исследованных материалов показала средние коррозионные свойства между азотированными образцами и образцами со сложным покрытием. Эта сталь известна своей высокой способностью сопротивляться воздействию различных коррозионных сред, в том числе и воздействию азотной кислоты [5]. Лучший результат коррозионных испытаний показало многослойное покрытие TiN+ZrN, которое за общее время коррозионных испытаний практически не потеряло массу. Азотированные образцы показали коррозионную стойкость в водном растворе азотной кислоты несколько ниже исходной стали, таблица 1.

Износостойкость на абразивное изнашивание материала в работе определяли при трении о нежестко закреплённые абразивные частицы. Дорожки износа азотированных образцов демонстрируют схожий характер с исходной сталью. Поверхность дорожек имеет «ручьеобразное» строение, обладает металлическим блеском, что характерно хрупкому излому. Дорожки износа для TiN+ZrN-покрытий отличаются от выше описанных: обнаруживается характерное «чашечное» строение, матовый характер без металлического блеска, что присуще вязкому излому, это объясняется наличием в этих покрытиях пластичных составляющих.

Полученные результаты испытаний на износостойкость представлены в виде гистограмм на рисунке 3 и в таблице 1. Видно, что лучшие результаты на износостойкость показало сложное восьмислойное покрытие TiN+ZrN.

Таблица 1 – Сводные данные, полученные в результате исследований

Материал	$E_{cp}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$H_{cp}$ , Н/мм <sup>2</sup>	$K_{и}$	$h_i$
65X13	232024	4066	1.1	0,33
N	232111	4352	1.3	1,92
TiN+ZrN	<b>235983</b>	<b>5935</b>	<b>4,2</b>	<b>0,03</b>

( $E_{cp}$  – модуль Юнга;  $H_{cp}$  – средняя нанотвердость;  $K_{и}$  – относительный износ;  $h_i$  – относительное изменение массы в результате коррозии через  $\Delta t_i=60$ мин)

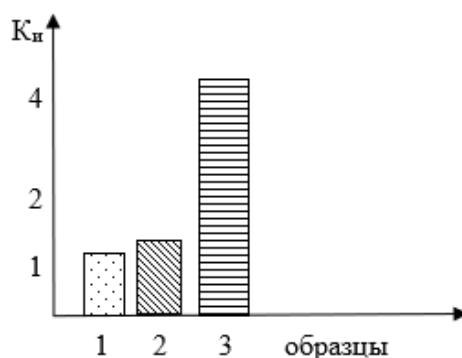


Рисунок 3 - Коэффициент износостойкости ( $K_{и}$ ) исследуемых образцов:  
1 – 65X13, 2 – азотированный; 3 – TiN+ZrN (8 слоев)

**Заключение.** Возможные пути повышения твердости, износостойкости и коррозионной стойкости инструментальных материалов за счет легирования имеют существенный недостаток в связи с дефицитом и дороговизной легирующих элементов и в значительной мере исчерпали свои возможности. В работе показано, что применение новых прогрессивных технологий ионно-плазменного нанесения покрытий может существенно повысить служебные характеристики инструментальных материалов и получить значительный экономический эффект.

В работе исследовали покрытия N и многослойное – TiN+ZrN (8 слоев), нанесенные на сталь 65X13 ионно-плазменным методом. Установлено, что азотирование и ионноплазменное многослойное покрытие позволяют повысить физико-механические характеристики инструментальной стали 65X13 в несколько раз. Лучшие значения эксплуатационных свойств показало сложное покрытие TiN+ZrN (8 слоев). Хуже проявили себя азотированные образцы.

*В работе применялось оборудование ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710».*

#### Список литературы

1. Табаков В.П., Чихранов А.В. Определение механических характеристик износостойких ионно-плазменных покрытий на основе нитрида титана // Изв. Самарского НЦ Росс.академии наук, Т. 12, №4. – 2010. – С.292–297.
2. Циркин А.В. Разработка многослойного покрытия для торцовых фрез //Вестник Ульяновского государственного технического университета (Вестник УлГТУ). – 2003. – № 3–4. – С. 33–35.
3. Васильев В.Ю., Пустов Ю.А. Коррозионная стойкость и защита от коррозии металлических, порошковых и композиционных материалов. Учебное пособие – Москва: МИСиС. – 2005. – 130 с.