

Повышение износостойкости поверхности наноструктурными покрытиями

Е. К. Севидова, Ю. Г. Гуцаленко, Н. В. Крюкова

*Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»,
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002, Украина, e-mail: grinko@kpi.kharkov.ua*

Проведены сравнительные испытания абразивно-эрозионной стойкости поверхности с различными видами наноструктурных покрытий, в том числе ионно-плазменных нанослойных TiN/ZrN и гальванических хромовых с добавками ультрадисперсных алмазов (УДА), полученных детонационным синтезом. Установлено, что наиболее эффективно поверхность стали 12X18H10T от износа защищают нанослойные покрытия TiN/ZrN ($h = 5$ мкм, $n = 50$ слоев), стойкость которых в 2–3,3 раза выше показателя монослойных покрытий TiN и ZrN и в 2,3 раза – стойкости хромовых с добавками УДА.

Ключевые слова: нанослойное покрытие, ультрадисперсные алмазы, абразивно-эрозионная стойкость, микротвердость, нитрид титана.

УДК 621.793:620.178.16

Повышение износостойкости поверхностей с помощью специальных покрытий по-прежнему представляет собой один из наиболее эффективных методов улучшения функционально-эксплуатационных характеристик изделий и деталей различного назначения. Новые перспективы развития данного направления раскрываются в связи с появлением нанотехнологий – их реализация позволяет получать покрытия с уникальными свойствами.

В общем случае покрытия, один из определяющих параметров которых находится в размерном масштабе «нано» (≤ 100 нм), можно условно разделить на три группы: покрытия с нанотолщиной или нанослойные; покрытия с нанокристаллической структурой; композиционные покрытия на основе металлической или органической связки и наночастичек наполнителя (алмаза, оксидов, карбидов, металлов и т.д.). На практике наноструктурированные покрытия чаще всего используют в виде многослойных конструкций, состоящих из совокупности чередующихся слоев соответственно перечисленных типов покрытий или их комбинаций. Рядом исследователей [1, 2] было установлено, что формирование именно многослойной наноразмерной структуры приводит к возникновению качественно новых свойств по сравнению с однослойными покрытиями, в частности возрастанию твердости и прочности.

Цель настоящей работы – оценка эффективности применения различных наноразмерных покрытий на поверхностях, подвергающихся в процессе эксплуатации абразивно-эрозионному износу. Примером деталей с такими поверхностями могут служить лопадки компрессоров га-

зотурбинных двигателей, шнеки механических мельниц и т.д.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для исследования были выбраны два типа наноразмерных покрытий – ионно-плазменные нанослойные с периодически чередующимися слоями TiN и ZrN (TiN/ZrN) и композиционное хромовое с наночастицами алмазов, сформированное электрохимическим методом. Для сравнения параллельно оценивали износостойкость монослойных ионно-плазменных покрытий TiN и ZrN аналогичной толщины и хромовых осадков без дисперсионной фазы.

В качестве подложек использовали пластины $16 \times 16 \times 2$ мм из нержавеющей стали 12X18H10T с полированной до $R_a = 0,16$ поверхностью.

Толщины ионно-плазменных покрытий и рациональные режимы их осаждения выбирались на основе многолетнего опыта работы в области технологий нанесения покрытий на объекты с подложкой из нержавеющей стали, в том числе применительно к изделиям стоматологии. В частности, было установлено, что износостойкость монослойных покрытий TiN на стали 12X18H10T, основанная на сочетании определенных значений физико-механических свойств – твердости, внутренних напряжений, максимальной адгезионной прочности, обеспечивается при толщине ~ 5 мкм и следующих режимах напыления на установке Булат 6: опорное напряжение на подложке $U_{оп} = 200–220$ В; ток дуги $I_d = 75–90$ А; давление азота в камере $P_{N_2} = 0,4$ Па. Перед нанесением покрытий поверхность образцов подвергалась очистке иона-

ми титана в импульсном режиме при $U_{\text{оп}} = 1100$ В.

Композиционное хромовое покрытие формировали из стандартного электролита [3] с добавкой ультрадисперсных алмазов (УДА), полученных детонационным синтезом [4] в количестве 15 г/л. Данная концентрация была принята как оптимальная на основе анализа литературных данных [5] и результатов предварительных исследований. Параллельно при аналогичных режимах получали хромовые покрытия без включений частиц УДА. Осаждение осадков вели при 50°C и плотности тока 50 А/дм². Толщина осадков составляла 20 мкм.

Микротвердость покрытий определяли на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке 20 г. Для расчета усредняли пять измерений.

Оценку износостойкости многослойных ионно-плазменных и композиционных покрытий производили на специальном стенде (рис. 1), разработанном с учетом конструкторской схемы и режимов испытаний, приведенных в работе [6]. В качестве эрозионной среды использовали кварцевый песок со средним размером частиц $300\text{--}350$ мкм. Скорость частиц в потоке составляла ~ 80 м/с, расход эрозионной среды ~ 200 г/мин, время испытаний – 5 мин. Экспозиции подвергалась одна сторона плоского образца.

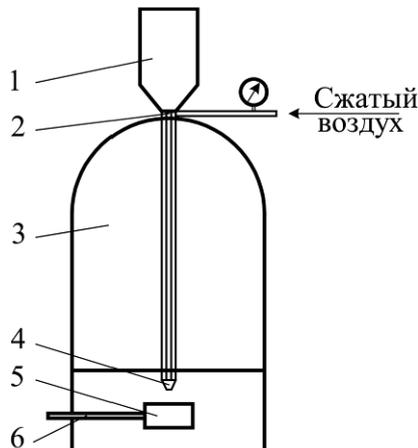


Рис. 1. Стенд: 1 – бункер с кварцевым песком; 2 – дозатор; 3 – рабочая камера; 4 – сопло; 5 – исследуемый образец; 6 – держатель.

Износ покрытий определяли гравиметрическим методом. Стойкость покрытий оценивалась визуально и по данным весовых измерений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Измерения микротвердости (см. таблицу) показали, что для ионно-плазменных покрытий она увеличивается в ряду $\text{ZrN} < \text{TiN} < \text{TiN/ZrN}$. Полученные значения $H_{\text{ц}}$ меньше, чем известные из литературных данных для исследуемых нитридов [7], что можно объяснить, прежде всего, влиянием

относительно мягкой подложки из нержавеющей стали на показания при исследуемой толщине.

Микротвердость поверхности исследуемых образцов

Образец	$H_{\text{ц}}$, ГПа
12X18H10T	2,7
ZrN	15,2
TiN	21,6
TiN/ZrN	33,2
Cr _{6n}	7,6
Cr+УДА	10,3

Корректные значения $H_{\text{ц}}$ можно было бы получить, используя нанотвердомер с индентором Берковича. Но даже с учетом указанной некорректности очевидно преимущество этого показателя многослойной системы покрытий по сравнению с однослойными в $1,5\text{--}2$ раза.

Полученные нами результаты коррелируют с известными [1, 2], которые достаточно широко интерпретированы. В частности, в [2] высокую твердость нанослойных композиционных покрытий, состоящих из периодически повторяющихся двух высокопрочных материалов, объясняют в том числе и тем, что чередующиеся поля напряжений в нанослоях являются барьерами для любого движения дислокаций.

Наблюдаемое повышение микротвердости хромового композиционного покрытия с частицами УДА по сравнению с хромом без дисперсной фазы в наших исследованиях можно отнести к прогнозируемому результату, поскольку он согласуется с известными выводами [8] о положительном влиянии наночастичек алмаза, точнее, их агломератов на физико-механические свойства покрытий.

В данном случае повышение $H_{\text{ц}}$ связывают со структурообразующей ролью УДА, которая обеспечивает формирование мелкозернистой структуры самого металлического осадка. Кроме того, частицы УДА, включенные в покрытие по границам зерен, также являются дополнительным барьером на пути микротрещин, дефектов и дислокаций, что приводит к упрочнению материала.

Испытания на абразивно-эрозионный износ не только подтвердили, но и усилили преимущество наноразмерных покрытий по сравнению с традиционными (рис. 2). Согласно результатам гравиметрических измерений износ I (мг/час) нанослойного покрытия TiN/ZrN в 2 и $3,3$ раза меньше, чем монослойных TiN и ZrN соответственно. Следует заметить, что этот результат занижен, так как он снивелирован потерями нержавеющей стали во всех трех случаях, поскольку взвешивание образцов с исследуемыми покрытиями происходило уже при частично обнаженной подложке. Визуальный осмотр поверхности показал,

что минимальная площадь повреждения наблюдалась для нанослойного покрытия, максимальная – для однослойного ZrN. Усиление эффекта преимущества нанослойных покрытий по отношению к монослойным при абразивно-эрозионных испытаниях вполне объяснимо, поскольку износостойкость покрытия зависит не только от его твердости, но и от ряда других физико-механических характеристик, в частности внутренних напряжений, когезионной и адгезионной прочности, влияющих на механизм разрушения субстанции последнего. Согласно выводам авторов [1, 2] объяснение эффекта сверхтвердости таких композиций, а следовательно, и повышение их износостойкости может трактоваться несколькими причинами, в том числе распределением деформации внутри нанослоев, различием модуля упругости, несоответствием решеток нанослоев и т.п.

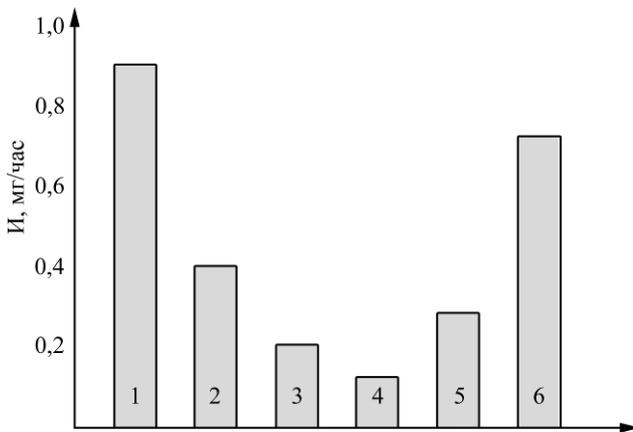


Рис. 2. Износ поверхности с различными покрытиями: 1 – без покрытия; 2 – ZrN; 3 – TiN; 4 – TiN/ZrN; 5 – Cr+УДА; 6 – Cr_{бл.}

Абразивно-эрозионный износ композиционных хромовых покрытий с УДА (см. рис. 2) более чем в 2,5 раза был меньше потерь хромового покрытия без дисперсной фазы. С учетом того, что показатель износостойкости очень сильно зависит от метода испытаний и характера воздействия на поверхность, результаты, полученные различными исследователями, трудно сопоставлять. Тем не менее можно утверждать, что наши результаты вписываются в общую интерпретацию положительного влияния наноразмерных частиц, в том числе ультрадисперсного алмаза, на микротвердость и износостойкость электрохимических хромовых покрытий [8]. Правомочно ожидать, что их использование на деталях, подвергающихся абразивному износу, могут существенно улучшить функционально-эксплуатационные характеристики последних.

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что нанослойные покрытия TiN/ZrN толщиной 5 мкм ($n_{сл} = 50$) в 2–3,3 раза повышают стойкость поверхности в условиях

абразивно-эрозионного износа по сравнению с монослойными покрытиями TiN и ZrN.

2. В аналогичных условиях испытаний гальванические композиционные хромовые покрытия с добавкой УДА менее эффективно защищают поверхность нержавеющей стали 12X18H10T от износа, чем ионно-плазменные покрытия TiN/ZrN, однако по сравнению с покрытиями без дисперсной фазы их износостойкость более чем в 2,5 раза выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шпак А.П., Майборода В.П., Куницкий Ю.А. и др. *Нанослоистые композиционные материалы и покрытия*. Киев: Академперіодика, 2004. 164 с.
2. Шейнман Е. Сверхтвердые покрытия из нанокм-позитов. *Металловедение и термическая обработка металлов*. 2008, (12), 41–46.
3. Черкез М.Б., Богорад Л.Я. *Хромирование*. Л.: Машиностроение, 1978. 104 с.
4. Долматов Ю.В., Буркат Г.К. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза как основа нового класса композиционных металл-алмазных гальванических покрытий. *Сверхтвердые материалы*. 2000, (1), 84–95.
5. Исаков В.П., Лямкин А.И., Никитин Д.Н., Шалимова А.С., Солнцев А.В. Структура и свойства композиционных электрохимических покрытий хрома с наноалмазами. *Физикохимия поверхности и защита металлов*. 2010, 46(15), 506–509.
6. Мубояджян С.А. Эрозионно-стойкие покрытия для лопаток компрессора ГТД. *Металлы*. 2009, (3), 3–20.
7. Табаков В.П., Чихранов А.В. *Износостойкие покрытия режущего инструмента, работающего в условиях непрерывного резания*. Ульяновск: УлГТУ, 2007. 255 с.
8. Винокуров Е.Г., Арсенкин А.М., Григорович К.В., Бондарь В.В. Электроосаждение модифицированных дисперсными частицами хромовых покрытий и их физико-механические свойства. *Защита металлов*. 2006, 42(3), 312–316.

Поступила 11.03.13

После доработки 19.09.13

Summary

Comparative tests are carried out of the abrasive-erosion resistance of surfaces with different kinds of nanostructured coatings, including the ion-plasma TiN/ZrN nanolayers and chrome platings with addition of ultradispersed diamonds (UDD) obtained by the detonation synthesis. It is found that the best wear protection of the 12X18H10T steel surface is ensured by the TiN/ZrN nanolayer coating ($h = 5 \mu\text{m}$, $n = 50$ layers), whose resistance is 2–3.3 times higher than that of the TiN and ZrN monolayer coatings and 2.3 times higher than that for chrome ones with addition of UDD.

Keywords: nanolayer coating, ultradispersed diamond, abrasive-erosion resistance, microhardness, titanium nitride.