

трон-молекулярного взаимодействия и сопровождается увеличением степени возбуждения, диссоциации и ионизации азота, что приводит к уменьшению энергии активации, необходимой для синтеза нитрида титана и росту содержания азота в покрытиях [9].

Таким образом, из всего вышеизложенного можно сделать следующие выводы.

1. В результате эксперимента получены зависимости, описывающие влияние давления азота на микротвердость покрытия нитрида титана в условиях магнитного поля и без него.

2. Показано, что при конденсации потока плазмы вакуумной дуги в присутствии реактивного газа наличие магнитного поля, обеспечивающее замагничивание электронов, приводит к интенсификации процессов синтеза нитрида титана. Причиной этого является активация азота электронами.

3. Установлено, что наличие магнитного поля позволяет понизить величину давления азота в вакуумной камере, что дает возможность экономить азот, уменьшать нагрузку на систему откачки, а также получать более твердые покрытия.

#### Библиографический список

1. Андреев А.А. Вакуумно-дуговые износостойкие покрытия // Труды научно-практического

симпозиума, ОТТОМ. – Харьков, 2000. – С.179.

2. Самсонов Г.В., Эпик А.П. Тугоплавкие покрытия. – М., 1973.

3. Аксенов И.И., Брень В.Г. и др. Об условиях протекания химических реакций при конденсации потоков металлической плазмы // ЖТФ. – Т.48. – Вып. 6. – 1978. – С.1165-1169.

4. Барвинок В.А., Богданович В.И. и др. Закономерности формирования покрытий в вакууме // ФИХОМ. – 1986. – №5. – С. 92-97.

5. Андреев А.А., Гавриленко И.В. и др. Исследование некоторых свойств конденсатов Ti-N<sub>2</sub>, Zr-N<sub>2</sub>, полученных осаждением плазменных потоков в вакууме (способ КИБ) // ФИХОМ. – 1980. – №3. – С.64-67.

6. Романов И.Г., Царева И.Н., Кривина Л.А. Структура, механические и фрикционные свойства пленок нитрида титана, подвергнутых облучению непрерывными потоками ионов // Письма в ЖТФ. – 1998. – Т. 24. – №3. – С.64-68.

7. Каширский И.М., Булышев Ю.С., Синицкий В.В. Оптический способ измерения толщины прозрачных и полупрозрачных пленок // ПТЭ. – 1982. – №2. – С.195.

8. Аксенов И.И., Антуфьев Ю.П., Брень В.Г. и др. Влияние давления газа в реакционном объеме на процесс синтеза нитридов при конденсации плазмы металлов // Химия высоких энергий. – 1986. – Т.20. – №1. – С.82-86.

9. Аксенов И.И., Антуфьев Ю.П., Брень В.Г., Падалка В.Г., Попов А.И. и др. Влияние замагниченности электронов плазмы вакуумной дуги на кинетику реакций синтеза нитридосодержащих покрытий // ЖТФ. – 1981. – Т.51. – №2. – С.303-309.

10. Вершина А.К., Пителько А.А. Фотометрические характеристики титановых ионно-плазменных покрытий // ФИХОМ. – № 5. – 1991. – С. 67-70.

УДК 620.1

## ВЛИЯНИЕ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ПРОЧНОСТЬ СТАЛИ 12Х18Н10Т

*И.М. Неклюдов; И.В. Неласов*

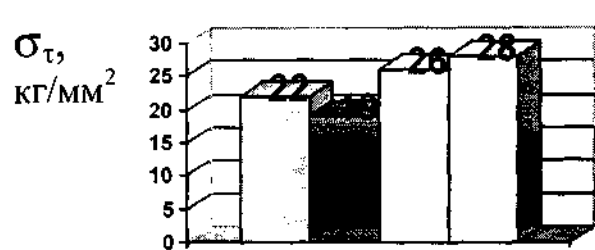
г. Белгород, Белгородский государственный университет

**Введение.** Современное машиностроение требует новых материалов, способных работать в различных агрессивных средах, в условиях высоких температур и давлений, повышенных вибраций. Нужный комплекс свойств можно получить, нанося на материал специальные покрытия, так как многие рабочие параметры изделия определяются состоянием поверхностного слоя материала, из которого оно изготовлено. Прогрессив-

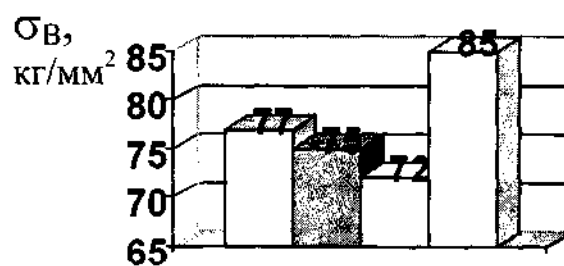
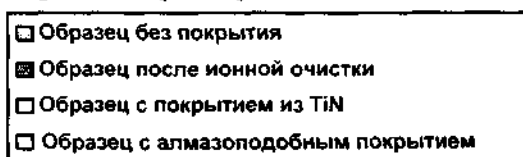
ным технологическим процессом является ионно-плазменное напыление в вакууме [1].

В данной работе исследовалось влияние алмазоподобных покрытий и покрытий из TiN на пределы пропорциональности и прочности, микротвердость образцов из стали 12Х18Н10Т.

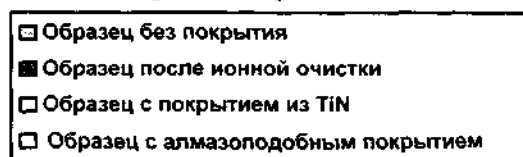
**Методика эксперимента.** Покрытие из TiN наносилось на предварительно очищенную ускоренными ионами титана подложку



Предел пропорциональности



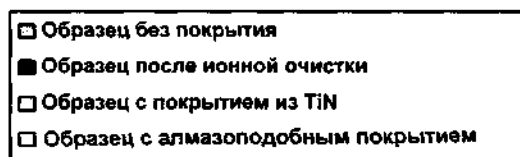
Предел прочности



$H_r$ ,  
МПа



Микротвердость



(давление  $1 \times 10^{-3}$  Па; напряжение на подложке составляло 1500 В). Процесс конденсации плазмы осуществлялся непосредственно после очистки подложки при уменьшении ее потенциала (150 В) и напуске в камеру активного газа (давление азота  $1 \times 10^{-1}$  Па). Дуга горела постоянно, ток дуги составлял 180 А. Время напыления 20 мин. Покрытия наносились на установке напыления УВНИПА-1-002.

Алмазоподобное покрытие наносилось после очистки образцов ионами титана (давление  $1 \times 10^{-3}$  Па; напряжение на подложке – 1500 В), при напряжении на накопителе  $U_n = 300$  В в импульсном режиме (длительность импульса – 1 мс, частота следования импульсов – 10 Гц, производительность за один импульс – 6-7 Å). Покрытия наносились на установке УВНИПА-1-001.

После нанесения ионных покрытий определялись механические свойства из диаграмм растяжения и микротвёрдость определялась на микротвердомере ПМТ-3. Размер рабочей части образцов из стали 12Х18Н10Т – толщина 0,3 мм, длина 12 мм,

ширина 3,55 мм. Толщина покрытий составляла 6-8 нм.

Для каждого покрытия исследовались образцы трёх партий: исходные отожженные образцы; очищенные ионами титана; с покрытием из соответствующего материала.

**Результаты.** В результате определения механических свойств и микротвёрдости получены следующие данные.

Исходные образцы из стали 12Х18Н10Т имели предел пропорциональности, равный 22 кгс/мм<sup>2</sup>, предел прочности – 77 кгс/мм<sup>2</sup>, микротвёрдость – 282 МПа. После ионной очистки, аналогичной как для процесса нанесения покрытия из TiN, так и для процесса нанесения алмазоподобного покрытия микротвёрдость образца равнялась 366 МПа, предел пропорциональности 19 кг/мм<sup>2</sup>, предел прочности 75 кг/мм<sup>2</sup>. При нанесении покрытия из TiN микротвёрдость образцов с покрытием была равна 676 МПа, предел пропорциональности 26 кг/мм<sup>2</sup>, предел прочности 72 кг/мм<sup>2</sup>. При нанесении алмазоподобного покрытия микротвёрдость образцов с покрытием равнялась 3622 МПа,

предел пропорциональности  $28 \text{ кг/мм}^2$ , предел прочности  $85 \text{ кг/мм}^2$ . Сравнительные характеристики представлены на диаграммах.

**Выводы.** Установлено, что обработка поверхности образцов ионно-плазменным методом меняет их механические свойства. Ионная очистка поверхности приводит к снижению предела пропорциональности и предела прочности. Нанесение алмазоподобных покрытий и покрытий из нитрида титана влечёт за собой увеличение пределов пропорциональности образцов. Алмазоподобное покрытие увеличивает предел прочности исследуемых образцов, а покрытие из TiN уменьшает его. Микротвёрдость образцов растёт при всех вариантах обработки поверхности [3].

Полученные результаты позволяют считать, что при ионно-плазменном нанесении покрытий приповерхностный слой образца насыщается атомами покрытия, что и приводит к изменению механических свойств [2].

Понижение предела пропорциональности и предела прочности связано с отжигом дефектов при ионной очистке. Повышение этих параметров при нанесении алмазоподобного покрытия связано с тем, что внедренные в приповерхностный слой материала ионы углерода тормозят движение дислокаций и препятствуют выходу их на поверхность, а, как известно из литературы

[4], разрушение материала начинается с поверхностного слоя. Снижение прочностных характеристик при нанесении TiN покрытия связано с тем, что на ионах титана скапливается большое количество дислокаций, это приводит к появлению микропор и микротрещин и вызывающих снижение прочностных характеристик. Повышение микротвёрдости, в обоих случаях, объясняется тем, что микротвёрдость покрытия более высокая, чем основы.

Из сравнительного анализа влияния алмазоподобных покрытий и покрытий из нитрида титана на механические свойства образцов можно сделать вывод, что алмазоподобные покрытия являются перспективными и заслуживают столь же широкого применения, как и покрытия из нитрида титана.

#### Библиографический список

1. Барвинок В.А. Управление напряженным состоянием. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.
2. Васильев М.А., Панарин В.Е., Ткачук А.А. Покрытия из нитрида титана, осажденные методом вакуумного дугового разряда (обзор) // *Металлофизика и новейшие технологии.* – 2000. – Т. 22. – С. 58-71.
3. Шемегон В.И. Поверхностное упрочнение спиральных свёрл // *Металловедение и термическая обработка металлов.* – 1998. – №6. – С. 23-29.
4. Ажажа В.М., Ковтун Г.П. Влияние твёрдых поверхностных плёнок на механические свойства металлов: Аналитический обзор. – Харьков: Изд-во ХФТИ. – 1976.

УДК 621.793:621.941.0257

### ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСА СИЛЬНОТОЧНОГО ВАКУУМНО-ДУГОВОГО РАЗРЯДА НА ВЕЛИЧИНУ КОЭФФИЦИЕНТА ЭРОЗИИ ГРАФИТОВОГО КАТОДА

*В.М. Никитин, А.Я. Колпаков, И.Ю. Гончаров*

г. Белгород, Белгородский государственный университет

Углеродные алмазоподобные покрытия, полученные импульсным вакуумно-дуговым методом, обладают высокой твердостью, хорошей адгезией к подложке, стойкостью по отношению к абразивному износу и низким коэффициентом трения [1].

При работе с сверхтонкими пленками необходим жесткий контроль параметров технологического процесса, таких как про-

изводительность процесса, энергия ионов, температура подложки и степень ионизации потока углеродной плазмы. Данная работа посвящена исследованию зависимости коэффициента эрозии графитового катода от длительности импульса разряда. Знание этой зависимости позволит связать производительность процесса с параметрами разрядного импульса.