

Материаловедение

УДК 620.178.1

ПОЛУЧЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ, НАНЕСЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СВС-ПРЕССОВАННЫХ КАТОДОВ НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ Ti-V-Si

**С.И. Алтухов¹, А.Н. Асмолов², В.И. Богданович², А.А. Ермошкин¹,
Е.И. Латухин¹**

¹ Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

² Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королёва
443086, Самара, Московское ш., 34

E-mail: Altuhov_serg@mail.ru

Представлены результаты исследований свойств ионно-плазменных покрытий, полученных с использованием многокомпонентных катодов состава $40\%TiV+40\%Ti_5Si_3+20\%Ti$ и $30\%TiV+50\%Ti_5Si_3+20\%Ti$ на установках «Юнион» и ННВ-6.6, в сравнении с базовым покрытием TiN. Показано, что по совокупности свойств покрытия, полученные с использованием многокомпонентных катодов на установке ННВ-6.6, превосходят аналогичные покрытия, полученные на установке «Юнион».

Ключевые слова: многокомпонентные катоды, трибологические свойства, покрытия.

Одним из основных направлений улучшения свойств тонкопленочных материалов является формирование многокомпонентных упрочняющих покрытий вакуумно-дуговым распылением в среде азота катодов из композиций на основе титана, легированного кремнием, бором, хромом и другими элементами [1]. Многокомпонентные покрытия могут быть получены двумя способами: одновременным испарением отдельных однокомпонентных катодов, что осложняется трудоемким подбором технологических режимов испарения каждого из катодов, или одного многокомпонентного катода, что позволяет повысить надежность его работы и однородность генерируемой плазмы. Перспективным методом получения многокомпонентных ка-

Сергей Игоревич Алтухов, аспирант кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы».

Антон Николаевич Асмолов, инженер кафедры «Производство летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении».

Валерий Иосифович Богданович (д.т.н.), профессор кафедры «Производство летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении».

Андрей Александрович Ермошкин (к.т.н.), старший преподаватель кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы».

Евгений Иванович Латухин (к.т.н.), доцент «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы».

тодов является метод самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) [2].

В этой связи представляет интерес изучение состава, структуры и свойств покрытий, получаемых на вакуумно-дуговых установках «Юнион» и ННВ-6.6 с использованием многокомпонентных СВС-прессованных катодов системы Ti-B-Si.

Покрытия на плоских цилиндрических образцах диаметром 15 мм и высотой 5 мм из быстрорежущей стали Р6М5, термообработанной на твердость HRC 64...65 Р6М5, получали с использованием вакуумно-дуговых установок «Юнион» и ННВ-6.6. Плоскую поверхность образцов подвергали шлифованию и полированию до $R_a = 2$ мкм. Образцы располагали плоской поверхностью фронтально относительно плазменного потока.

Процесс осуществлялся в следующих режимах. Для установки «Юнион»: катодный ток – 125...130 А, температура подложки – 150...200 °С, давление реакционного газа – азота 0,2...0,27 Па. Для установки ННВ-6.6: катодный ток – 80 А, температура подложки – 250...300 °С, давление реакционного газа – азота 0,25...0,27 Па.

Ионно-плазменный поток формировался при использовании многокомпонентных СВС-прессованных катодов состава 40%TiB+40%Ti₅Si₃+20%Ti и 30%TiB+50%Ti₅Si₃+20%Ti при электродуговом испарении.

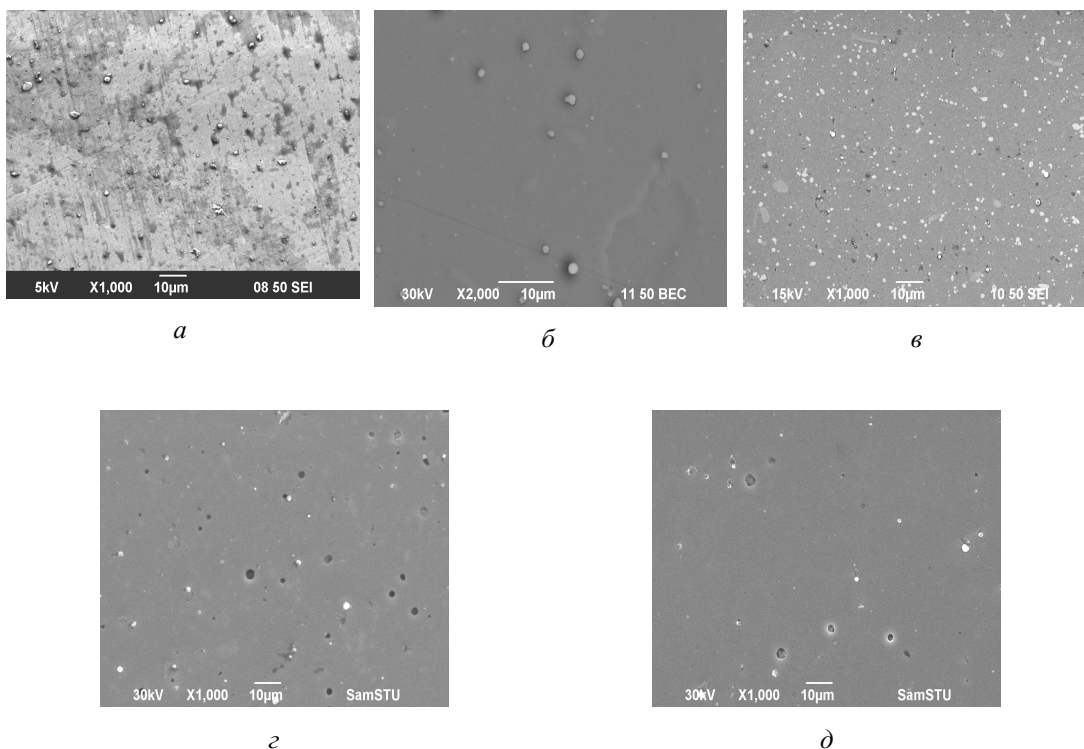
Следует отметить, что реализация ионной очистки ионами металлической плазмы вследствие сильного разогрева катода на вакуумно-дуговой установке «Юнион» оказалась практически невозможной даже при увеличении тока дуги испарителя до критических значений, а в связи с конструктивными особенностями данной установки использование дополнительного испарителя не представлялось возможным. В результате для очистки образцов из стали Р6М5 использовали вакуумную очистку и активацию поверхности потоком ускоренной низкотемпературной газовой плазмы. При получении покрытий на установке ННВ-6.6 ионная очистка осуществлялась ионами металлической плазмы используемого катода.

Металлографический анализ, а также исследование характера распределения частиц капельной фазы на поверхности полученных покрытий осуществлялись на растровом электронном микроскопе JEOL JSM-6390A. Результаты исследований приведены на рисунке.

Количественные характеристики капельной фазы на поверхности покрытий определялись на участке размером 8×8 мкм. Согласно полученным результатам капельная фаза для всех типов покрытий имеет примерно одинаковые средние размеры. Вместе с тем количество капельной фазы на поверхности покрытий, полученных из многокомпонентных СВС-прессованных катодов, в 2-3 раза меньше, чем на покрытии TiN, что положительно влияет на качество покрытий.

Измерение нанотвердости покрытий Н и модуля упругости Е проводилось при помощи наноиндентора Agilent G200. Твердость и модуль упругости определяли по методике Оливера – Фарра с использованием пирамиды Берковича. Результаты измерений приведены в табл. 1 .

Результаты исследований показывают, что значения нанотвердости покрытий, полученных с использованием СВС-прессованных катодов на установке «Юнион», ниже, чем покрытий, полученных на установке ННВ-6.6, и покрытия TiN. Модуль упругости покрытий, полученных с использованием СВС-прессованных катодов, в 1,7-2,5 раза меньше по сравнению с его величиной для покрытия TiN при соизмеримых значениях твердости и имеют, таким образом, преимущество по параметру Н/Е, который служит сравнительной характеристикой сопротивления деформации.



Морфология поверхностей покрытий TiN(Юнион) (а) и покрытий, полученных с использованием катодов 30%TiB+50%Ti₅Si₃+20%Ti (Юнион) (б); 40%TiB+40%Ti₅Si₃+20%Ti (Юнион) (в); 30%TiB+50%Ti₅Si₃+20%Ti (ННВ-6.6) (г); 40%TiB+40%Ti₅Si₃+20%Ti (ННВ-6.6) (д)

Таблица 1

Механические свойства покрытий

Состав катода (тип установки)	Твердость H , ГПа	Модуль упругости E , ГПа	H/E
Ti (покрытие TiN) (Юнион)	28 ÷ 30	540 ÷ 570	0,052 ÷ 0,053
30%TiB+50%Ti ₅ Si ₃ +20%Ti (Юнион)	11 ÷ 13	170 ÷ 220	0,059 ÷ 0,063
30%TiB+50%Ti ₅ Si ₃ +20%Ti (ННВ-6.6)	28 ÷ 31	300 ÷ 320	0,093 ÷ 0,096
40%TiB+40%Ti ₅ Si ₃ +20%Ti (Юнион)	9,5 ÷ 10	180 ÷ 210	0,048 ÷ 0,053
40%TiB+40%Ti ₅ Si ₃ +20%Ti (ННВ-6.6)	29 ÷ 33	320 ÷ 340	0,09 ÷ 0,097

Выполнены сравнительные исследования трибологических свойств покрытий, полученных из СВС-прессованных катодов, и покрытия TiN. Изучение характеристик трения и износа осуществлялось на машине трения по схеме «шарик – диск» при нагрузке 15 Н.

Экспериментально определяли коэффициент трения $f_{тр}$, а также время работы покрытия до образования первых очагов износа $t_{пр}$. Коэффициент трения $f_{тр}$ опреде-

лялся как отношение силы трения к величине нормальной нагрузки на контртело. Контртело представляло собой твердосплавный зубок с диаметром сферы 10 мм из твердого сплава марки ВК16 твердостью HRA 86. Процесс изнашивания проводили на воздухе в условиях сухого скольжения со скоростью 580 об/мин относительно вращающегося образца при нагрузке 15 Н, приложенной по нормали к поверхности покрытия. Обработка экспериментальных данных осуществлялась при помощи компьютера с использованием программы Power Graph 3.0, определялось время работы покрытия до появления первых очагов износа.

Результаты обработки экспериментальных данных и искомые трибологические свойства покрытий приведены в табл. 2.

Таблица 2

Трибологические свойства покрытий

Состав катода (тип установки)	$f_{тр}$	$t_{пр}$, с
BT1-00 (Юнион)	0,2-0,23	260
30%TiB+50%Ti ₅ Si ₃ +20%Ti (Юнион) №1	0,28-0,37	55
30%TiB+50%Ti ₅ Si ₃ +20%Ti (Юнион) №2	0,28-0,37	30
30%TiB+50%Ti ₅ Si ₃ +20%Ti (ННВ-6.6) №1	0,16-0,33	350
30%TiB+50%Ti ₅ Si ₃ +20%Ti (ННВ-6.6) №2	0,16-0,33	146
40%TiB+40%Ti ₅ Si ₃ +20%Ti (Юнион) №1	0,17-0,37	320
40%TiB+40%Ti ₅ Si ₃ +20%Ti (Юнион) №2	0,17-0,37	30
40%TiB+40%Ti ₅ Si ₃ +20%Ti (ННВ-6.6) №1	0,16-0,33	300
40%TiB+40%Ti ₅ Si ₃ +20%Ti (ННВ-6.6) №2	0,16-0,33	210

Следует отметить, что образцы с покрытиями, полученными из многокомпонентных катодов на установке «Юнион», характеризуются практически полным отсутствием покрытия на дорожке трения, что позволяет говорить о низких значениях адгезии. Вероятно, это связано с использованием активации поверхности потоком ускоренной низкотемпературной газовой плазмы. В случае с покрытиями, полученными на установке ННВ-6.6, покрытие на дорожке трения отсутствовало лишь частично, что позволяет сделать вывод о более высоких значениях адгезии для данных покрытий.

Таким образом, сравнение приведенных результатов показывает, что наибольшее время работы образцов с покрытиями зарегистрировано для покрытия, полученного из СВС-катодов состава 30%TiB+50%Ti₅Si₃+20%Ti на установке ННВ-6.6. Данное покрытие характеризуется наилучшим сочетанием механических свойств. В целом многокомпонентные покрытия, полученные на установке ННВ-6.6, обладают лучшим сочетанием механических свойств, чем традиционное покрытие TiN и многокомпонентные покрытия, полученные на установке «Юнион», что связано с более стабильной работой испарителя при нанесении покрытий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нанокompозитные и наноструктурные сверхтвердые покрытия системы Ti-Si-B-N / А.Д. Коротаев, Д.П. Борисов, В.Ю. Мешков, С.В. Овчинников и др. // Известия вузов. Физика. – 2007. – Т. 50. – № 10. – С. 13-23.

2. Многофункциональные наноструктурированные пленки / Е.А. Левашов, Д. В. Штанский // Успехи химии. – 2007. – Т. 76. – № 5. – С. 501-509.

Статья поступила в редакцию 1 ноября 2013 г.

SYNTHESIS AND RESEARCH OF PVD-COATINGS OBTAINED USING MULTICOMPONENT SHS-PRESSED CATHODE BASED SYSTEM TI-B-SI

S.I. Altukhov¹, A.N. Asmolov², V.I. Bogdanovich², A.A. Ermoshkin¹, E.I. Latukhin¹

¹ Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

² Samara State Aerospace University
34, Moskovskoye Shosse, Samara, 443123

The results of studies of the properties of PVD-coatings obtained using multicomponent cathodes of 40% TiB +40% Ti₅Si₃ +20% Ti and 30% TiB +50% Ti₅Si₃ +20% Ti on the "Union" and "HHB-6.6" in compared with the base coating TiN. It is shown that the combined properties of the coatings obtained using multicomponent cathodes on the "HHB-6.6" outperform similar coatings obtained at the "Union".

Keywords: *multi-cathodes, tribological properties, coatings.*

Sergey I. Altukhov, Postgraduate Student.

Anton N. Asmolov, Engeneer.

Valery I. Bogdanovich (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.

Andrey A. Ermoshkin (Ph.D. (Techn.)), Senior Lecture.

Evgeny I. Latukhin (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.