

УДК 620.178.1

## ВАКУУМНО-ДУГОВЫЕ ПОКРЫТИЯ ИЗ СВС-ПРЕССОВАННЫХ КАТОДОВ СИСТЕМЫ Ti-B-Si НА РЕЖУЩИЙ ИНСТРУМЕНТ И ИХ СВОЙСТВА

© 2013 С.И. Алтухов<sup>1</sup>, А.П. Амосов<sup>1</sup>, А.Н. Асмолов<sup>2</sup>, В.И. Богданович<sup>2</sup>,  
А.А. Ермошкин<sup>1</sup>, Д.А. Захаров<sup>1</sup>, В.Г. Круцило<sup>1</sup>, Е.И. Латухин<sup>1</sup>, А.Ф. Федотов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Самарский государственный технический университет

<sup>2</sup>Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва  
(национальный исследовательский университет)

Поступила в редакцию 02.12.2013

Исследованы режущие свойства пятигранных неперетачиваемых твердосплавных пластин и концевых твердосплавных фрез с нанесенными вакуумно-дуговыми покрытиями TiN и покрытиями, полученными с использованием СВС-прессованных катодов состава 40%TiB + 40%Ti<sub>3</sub>Si<sub>3</sub> + 20%Ti.

Ключевые слова: СВС-прессование, многокомпонентные катоды, вакуумно-дуговые покрытия, режущие инструменты.

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]. Среди существующих методов наибольшее распространение получил метод нанесения покрытий из потоков металлической плазмы вакуумной дуги. Получение многокомпонентных покрытий вакуумно-дуговым

методом требует осаждения на подложку многокомпонентных потоков плазмы.

Одним из перспективных методов получения многокомпонентных катодов является метод СВС-прессования. Конструктивно СВС-прессованный катод представляет собой четырехслойное функционально-градиентное изделие и состоит из металлического основания и трех слоев продуктов СВС: рабочего слоя, промежуточного слоя и СВС-припоя (рис. 1). Рабочий слой является многокомпонентным испаряемым материалом, СВС-припой обеспечивает соединение продуктов синтеза с металлическим основанием, промежуточный слой имеет повышенную пластичность и соединяет рабочий слой и СВС-припой. Металлическое основание с водоохлаждаемой донной частью изготавливается из нержавеющей стали 12Х18Н9Т [2].

При составлении экзотермических шихт использовали порошки следующих марок: титан ПТС; алюминий ПА-4, медь ПМС-1, никель электролитический ПНЭ-1, кремний КР-0 и бор аморфный коричневый. Дозировка компонентов шихты осуществлялась с точностью 0,1 г. Приготовление экзотермической шихты заданного состава

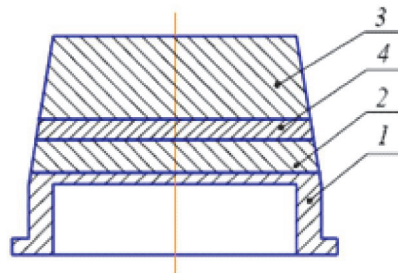


Рис. 1. Конструкция четырехслойного СВС-прессованного катода

1 – металлическое основание; 2 – СВС-припой;  
3 – рабочий слой; 4 – промежуточный слой

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

E-mail: altuhov\_serg@mail.ru

Амосов Александр Петрович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы».

E-mail: mvm@samgtu.ru

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

Богданович Валерий Иосифович, доктор технических наук, профессор кафедры «Производство летательных аппаратов и управления качеством в машиностроении».

E-mail: bogdanovich@ssau.ru

Ермошкин Андрей Александрович, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы».

E-mail: ertandr@yandex.ru

Захаров Дмитрий Александрович, аспирант кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы». E-mail: zaharof\_@mail.ru

Круцило Виталий Григорьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Инструментальные системы и сервис автомобилей». E-mail: vita43@mail.ru

Латухин Евгений Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Металловедение, порошковая металлургия, наноматериалы». E-mail: evgelat@yandex.ru

Федотов Александр Федорович, доктор технических наук, профессор кафедры «Механика».

E-mail: a.fedotov@mail.ru

производилась в шаровой мельнице объемом 1 л при соотношении масс шаров и шихты 3:1. Время смешивания составляло 4 часа.

Из шихтовых смесей односторонним прессованием в цилиндрической матрице получали трехслойные шихтовые заготовки с относительной плотностью 0,5 - 0,55.

Синтез и силовое компактирование горячих продуктов синтеза осуществлялись в цилиндрической пресс-форме-ректоре диаметром 125 мм на гидравлическом прессе модели Д-1932. Силовые параметры процесса во всех экспериментах были неизменными и составляли: давление подпрессовки 18 МПа, максимальное давление прессования 125 МПа. После извлечения из пресс-формы-ректора СВС-прессованные заготовки помещали в печь, предварительно разогретую до температуры 700-750 °С, и затем охлаждали вместе с печью до комнатной температуры.

Покрyтия наносили на пятигранные неперетачиваемые пластины из твердого сплава марки Т5К10, а также твердосплавные 8-миллиметровые концевые фрезы с использованием вакуумно-дуговой установки «ННВ-6.6». Ионно-плазменный поток в случае нанесения покрытия TiN формировался при использовании катода из титанового сплава марки ВТ-00, в случае нанесения многокомпонентного покрытия при использовании СВС-прессованного катода состава 40%TiВ + 40%Ti<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> + 20%Ti при электродуговом испарении.

Процесс осуществлялся в следующих режимах: катодный ток – 80 А, температура подложки – 400...500° С, давление реакционного газа – азота 0,25...0,27 Па.

Сравнительные испытания стойкости неперетачиваемых пятигранных пластин из сплава Т5К10 без покрытия, с покрытием TiN и покрытием из СВС-катода состава 40%TiВ + 40%Ti<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> + 20%Ti осуществлялись при обработке заготовок из стали 45 и величине подачи S=0,12 мм/об. Исследовались влияние времени обработки на износ передней и задней поверхностей пластин, величину нароста, а также шероховатость обработанной поверхности.

В процессе резания срезаемая стружка перемещается по передней поверхности инструмента, а поверхность заготовки (поверхность резания) перемещается относительно задней поверхности инструмента, благодаря чему материал инструмента изнашивается. Износу подвергаются все контактные поверхности режущей части инструмента, однако величина износа в различных точках отличается друг от друга. Точки на контактных площадках, которые находятся под большими нагрузками и более высокими температурами, будут изнашиваться быстрее [3].

Зависимости износа передней и задней поверхностей пятигранных твердосплавных пластин от времени работы представлены на рис. 2 и рис. 3 соответственно.

По результатам испытаний минимальные значения износа по передней и задней поверхностям зарегистрированы для пластины с покрытием из СВС-катода состава 40%TiВ + 40%Ti<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> + 20%Ti. Характер изнашивания свидетельствует о первоначальной стадии приработки инструмента и дальнейшей стабильной работе до момента окончания испытаний. Значения износа пластины с покрытием из СВС-катода состава 40%TiВ + 40%Ti<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> + 20%Ti по передней поверхности (рис. 2, кривая 3) в 10-11 раз, а по задней поверхности (рис. 3, кривая 3) в 3,5-4 раза ниже, чем для пластин с покрытием TiN (рис. 2, кривая 2 и рис. 3, кривая 2) и пластин без покрытия (рис. 2, кривая 1 и рис. 3, кривая 1) соответственно

Процесс деформирования металла при резании происходит при воздействии высоких температур и контактных давлений (напряжений).

При резании пластичных материалов у лезвия инструмента перед его передней поверхностью образуется нарост. Причиной возникновения нароста являются трение и притормаживание поверхностного слоя сходящей стружки о переднюю поверхность резца. Наростообразование находится в тесной взаимосвязи с условиями

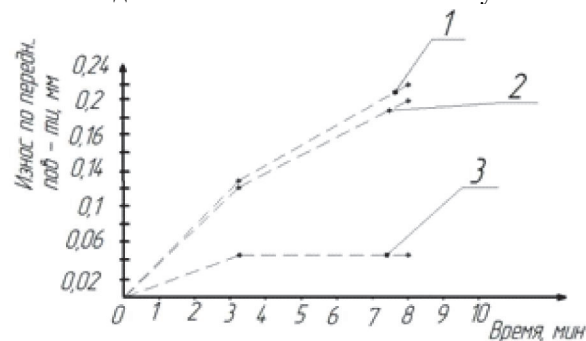


Рис. 2. Зависимость износа передней поверхности от времени работы пластины без покрытия (1), с покрытием TiN (2), с покрытием из СВС-катода состава 40%TiВ + 40%Ti<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> + 20%Ti (3)

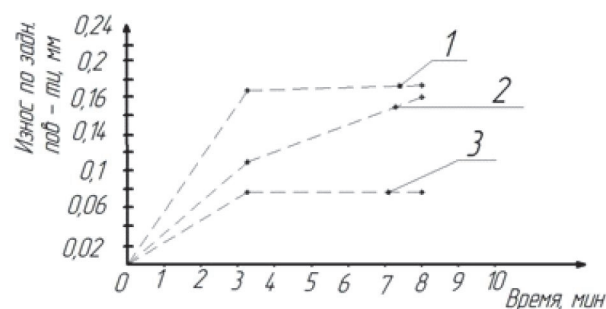
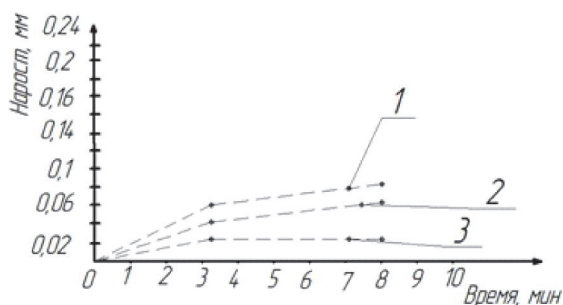


Рис. 3. Зависимость износа задней поверхности от времени работы пластины без покрытия (1), с покрытием TiN (2), с покрытием из СВС-катода состава 40%TiВ + 40%Ti<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> + 20%Ti (3)

трения, высокими контактными температурами и давлениями. Наиболее вероятной причиной является возникновение несимметричной клинообразной застойной зоны упрочненного материала впереди режущего клина, а также торможение (схватывание) тонких контактных слоев стружки на шероховатой передней поверхности инструмента вследствие наличия чистого трения, высоких коэффициентов трения и значительной реальной площади контакта.

Зависимость величины нароста от времени работы твердосплавных пятигранных пластин показана на рис. 4. Наименьшими величинами износа характеризуются пластины с покрытием из СВС-катода состава  $40\%TiB + 40\%Ti_5Si_3 + 20\%Ti$ . В процессе испытаний величина нароста изменяется, достигая максимального значения на третьей минуте работы, и затем снижаясь до окончания испытаний (кривая 3). В то же время величины наростов пластин без покрытия (кривая 1) и с покрытием TiN (кривая 2) изменяются в процессе испытаний, достигая максимального значения по окончании испытаний.



**Рис. 4.** Зависимость величины нароста от времени работы пластины без покрытия (1), с покрытием TiN (2), с покрытием из СВС-катода состава  $40\%TiB + 40\%Ti_5Si_3 + 20\%Ti$  (3)

На поверхностях деталей, обработанных режущим инструментом на металлорежущих станках, всегда остаются неровности. Совокупность неровностей, образующихся на поверхности детали, называют шероховатостью поверхности. Величина и характер неровностей зависят от обрабатываемого материала, режимов резания, геометрии режущих кромок инструмента и других параметров. Неровности на поверхности деталей в большинстве случаев являются следами режущих кромок инструмента, расположение которых зависит от величины подачи. При обработке деталей изношенным инструментом возникает брак, который проявляется в виде ухудшения качества обработанной поверхности, выходом размера за поле допуска, сильным нагревом обрабатываемой детали вследствие высокого трения,

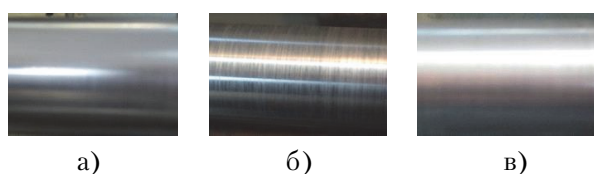
который может привести к структурным изменениям поверхностного слоя изделия.

Приведенные в табл. 1. значения шероховатости поверхности заготовок из стали 45, обработанных пятигранными твердосплавными пластинами, а также на рис.5. фотографии обработанной поверхности свидетельствуют о следующем.

**Таблица 1.** Шероховатость обработанной поверхности

Тип используемой пластины	$R_a$ , $\mu m$	$R_z$ , $\mu m$	$S_m$ , $\mu m$	$S_m$ (20%), $\mu m$
без покрытия	2,78	16,29	84	278
с покрытием TiN	2,57	11,11	85	467
с покрытием из СВС-катода состава $40\%TiB + 40\%Ti_5Si_3 + 20\%Ti$	1,44	8,23	92	297

Лучшей чистотой поверхности обладают заготовки, обработанные пластинами с покрытиями из СВС-катода состава  $40\%TiB + 40\%Ti_5Si_3 + 20\%Ti$ , их поверхность равномерная, матовая (рис. 5 в). Так, значение  $R_a$  в 1,8-1,9 раз, а  $R_z$  в 1,3-1,9 раз ниже, чем для заготовок, обработанных пластинами с покрытием TiN и без покрытия соответственно. Чистота поверхности заготовок, обработанных пластинами с покрытием TiN (рис. 5 б) и без покрытия (рис. 5 в) визуально заметно хуже.



**Рис. 5.** Фотографии поверхности заготовки после обработки пластиной без покрытия (а), с покрытием TiN (б), с покрытием из СВС-катода состава  $40\%TiB + 40\%Ti_5Si_3 + 20\%Ti$  (в)

Сравнительные испытания стойкости 8-миллиметровых твердосплавных концевых фрез (рис.6) без покрытия, с покрытием TiN и покрытием из СВС-катода состава  $40\%TiB + 40\%Ti_5Si_3 + 20\%Ti$  проводили при фрезеровании вольфрам-медного сплава ВМ-15 с твердостью HRA 62 на вертикальном обрабатывающем центре MCV-500 при следующих условиях: скорость резания – 80 м/мин; подача – 0,47 мм/об, глубина резания 1,3 ч 1,5 мм. Максимальные обороты шпинделя при испытаниях составляли 3200 об/мин.

Максимальные значения подачи до 1500 мм/мин<sup>1</sup>, при обычных подачах 800 мм/мин<sup>1</sup>. Об износе фрезы судили по величине съема стружки с заготовки. Когда фреза давала малый съем, ее снимали с испытаний. Оценка износостойкости велась по машинному времени работы фрезы в минутах.

Испытания показали следующие результаты. Стойкость фрез с покрытием, полученным из СВС-катода состава 40%TiB + 40%Ti<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> + 20%Ti оказалась максимальной и составила 800, 1050 и 1100 мин. Среднее значение стойкости составило 983 мин.



Рис. 6. Твердосплавная концевая фреза

У всех испытанных фрез наблюдали одинаковый характерный износ задней грани при сохранении покрытия на передней грани. Среднее время работы до критического износа фрез с традиционным покрытием TiN составило 300 мин, фрез без покрытия – 100 мин.

Таким образом, приведенные результаты испытаний режущих инструментов без покрытий, а также с вакуумно-дуговыми покрытиями TiN и покрытиями из СВС-катода состава 40%TiB +

40%Ti<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> + 20%Ti позволяют сделать следующие выводы.

В условиях испытаний при токарной обработке заготовок из стали 45 неперетачиваемыми пятигранными твердосплавными платинами, а также при фрезеровании заготовок из вольфрамомедного сплава ВМ-15 неперетачиваемыми твердосплавными фрезами, наилучшие результаты зарегистрированы для режущих инструментов с покрытиями из СВС-катода состава 40%TiB + 40%Ti<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> + 20%Ti. По всем измеряемым показателям, таким как стойкость, износ по передней и задней поверхностям, величина нароста, шероховатость обработанной поверхности режущие инструменты с данными покрытиями превосходят аналогичные инструменты без покрытий, а также с традиционным покрытием TiN.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нанокompозитные и наноструктурные сверхтвердые покрытия системы Ti-Si-B-N /А.Д. Коротяев, Д.П. Борисов, В.Ю. Мешков, С.В. Овчинников и др.// Известия вузов. Физика. 2007. Т. 50. № 10. С.13-23.
2. Исследование процесса СВС-прессования многокомпонентных катодов на основе системы Ti-B для нанесения вакуумно-дуговых покрытий/ С.И.Алтухов, А.П.Амосов, А.А. Ермошкин и др.// Известия Самарского научного центра РАН. 2011. №4. Том 13. С. 77-83.
3. Попов С.А. Заточка режущего инструмента. Учеб. Пособие для проф.-техн. училищ. М.: Высшая школа, 1970. 320 стр.

### CATODIC ARC DEPOSITION OF THE SHS-COMPACTING TARGETS BASED ON Ti-B-Si FOR CUTTING TOOLS

© 2013 S.I. Altoukhov<sup>1</sup>, A.P. Amosov<sup>1</sup>, A.N. Asmolov<sup>2</sup>, V.I. Bogdanovich<sup>2</sup>, A.A. Ermoshkin<sup>1</sup>, D.A. Zaharov V.G. Krutsilo<sup>1</sup>, E.I. Latukhin<sup>1</sup>, A.F. Fedotov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Samara State Technical University

<sup>2</sup>Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov (National Research University)

Cutting properties of pentahedral nonresharpened carbide plates and carbide mills with cathodic arc deposition TiN and deposition produce with using SHS-compacting targets 40%TiB + 40%Ti<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> + 20%Ti has been investigated.

Key words: SHS-compacting, multicomponent targets, cathodic arc deposition, cutting tools.

Sergey Altukhov, Graduate Student at the Metal Science, Powder Metallurgy, Nanomaterials Department.

E-mail: altuhov\_serg@mail.ru

Aleksander Amosov, Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Head at the Metal Science, Powder Metallurgy, Nanomaterials Department. E-mail: mvm@samgtu.ru

Anton Asmolov, Engineer at the Manufacture of aircraft and management of quality in machine building Department.

Valeriy Bogdanovich, Doctor of Technics, Professor at the Manufacture of Aircraft and Management of Quality in Machine Building Department. E-mail: bogdanovich@ssau.ru

Andrey Ermoshkin, Candidate of Technics, Associate Professor at the Metal Science, Powder Metallurgy, Nanomaterials

Department. E-mail: ermandr@yandex.ru

Dmitriy Zaharov, Graduate Student at the Metal Science, Powder Metallurgy, Nanomaterials Department.

E-mail: zaharov\_@mail.ru

Vitaly Krutsilo, Candidate of Technics, Associate Professor at the Tools Systems and Automobile Service Department.

E-mail: vita43@mail.ru

Evgeniy Latukhin, Candidate of Technics, Associate Professor at the Metal Science, Powder Metallurgy, Nanomaterials Department. E-mail: eogelat@yandex.ru

Aleksander Fedotov, Doctor of Technics, Professor at the Mechanics Department.

E-mail: a.fedotov@mail.ru