

Ф.И. Пантелеенко¹, А.М. Столин², Л.В. Маркова³,
 В.В. Саранцев¹, П.М. Бажин², Е.Л. Азаренко¹
 (¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск,
²Учреждение РАН Институт структурной макрокинетики
 и проблем материаловедения РАН, г. Черногловка,
³Институт порошковой металлургии, г. Минск)
 E-mail: BNTU_MTF@MAIL.RU

Нанесение карбидных покрытий на режущий инструмент с использованием самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и электроискрового легирования

Приведены исследования работоспособности покрытий на основе TiN, Cr с ультрадисперсными алмазами, TiC–Ni, нанесенных на сверла диаметрами 8 и 12 мм, при обработке вязких материалов. Установлена целесообразность использования технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и электроискрового легирования для создания композиционных покрытий TiC–Ni, представляющих собой металлическую матрицу в виде твердого раствора Fe–Ni с достаточно равномерным распределением дисперсных карбидов титана по всему объему. Созданные композиционные покрытия на режущем инструменте работают по принципу пилообразования, что позволяет повысить скорость резания вязких материалов.

Ключевые слова: электроискровое легирование, режущий инструмент, самораспространяющийся высокотемпературный синтез, композиционное покрытие, состав, структура, свойства.

The work is devoted to studying of working capacity the coats: TiN, Cr with superdispersed diamond, TiC–Ni, to coat on drills with diameters 8 and 12 mm at machining of ductile steel. The expediency use of technology self-propagating high-temperature syn thesis and electrospark discharge processing of producing composite coatings TiC–Ni formed from disperse carbides titanium and solid solution of nickel in iron is determined. Producing composite coatings on cutting tool work by a principle saw-shape, that allows to raise velocity of cutting of ductile steel.

Keywords: electrospark discharge processing, cutting tool, self-propagating high-temperature synthesis, composite coating, composition, structure, property.

Введение

На сегодняшний день проблема увеличения эксплуатационных характеристик различных деталей машин и режущего инструмента (РИ), подвергающихся интенсивному изнашиванию, решается различными способами. Одним из наиболее экономически выгодных и технологически перспективных методов для локальной обработки является электроискровое легирование (ЭИЛ).

Немаловажным является решение задачи по увеличению скорости резания при обработке вязких материалов (коррозионно-стойкая сталь, многие цветные металлы и сплавы). Как известно, при обработке вязких материалов образуется нарост на режущей кромке инструмента, что увеличивает передний угол и, как следствие, уменьшает режущую способность.

Для снижения наростообразования на режущей кромке инструмента используют различные методы:

- уменьшение значения переднего угла за счет заточки;
- введение СОЖ, снижающих адгезию обрабатываемого материала к материалу инструмента;

– нанесение покрытия для снижения коэффициента трения и легкого схода стружки.

В качестве покрытий, наносимых на РИ, наиболее успешно используемых в производстве, можно выделить: нитрид титана, хром, сложные керамические материалы. В качестве способов нанесения покрытий применяются катодно-ионная бомбардировка (КИБ), гальваническое осаждение (ГО), ЭИЛ.

Постановка задач. Увеличение стойкости РИ является одной из актуальных проблем, так как режущие части быстро затупляются вследствие больших удельных нагрузок и температур, а также образования нароста на передней поверхности и их приходится часто перетачивать. Работа же с затупленными резцами связана с ухудшением качества обработки материалов и дополнительными энергозатратами. Образование нароста на передней части инструмента наблюдается зачастую при обработке вязких материалов.

В работе [1] было предложено создать композиционные покрытия (КП), работающие по принципу пилообразования затачивающихся лезвий, согласно которым зубцы на лезвии формируются автоматически при изнашивании зернистого материала режущего слоя (рис. 1).

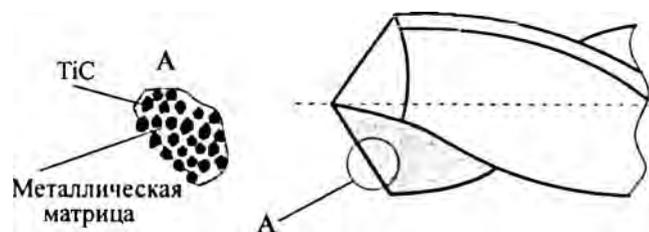


Рис. 1. Сверло с КП

При работе РИ с такими КП будет происходить постоянное возобновление режущей способности за счет износа металлической матрицы и выпадения тугоплавких зерен, что постоянно поддерживает на режущей кромке пилообразную схему. Это позволит снизить наростообразование, а следовательно, и энергосиловые затраты при резании.

Методика проведения исследований

Для исследований эффективности резания вязких материалов была подготовлена опытная партия инструмента, состоящая из сверл диаметром 8 и 12 мм из стали Р18 с покрытиями: TiN, Cr с ультрадисперсными алмазами (УДА), TiC–Ni.

1. Для нанесения покрытий TiN методом КИБ использовали вакуумное осаждение с использованием установки ННВ-6.6-И1 [2]. Толщина напыленного покрытия составляла 8...12 мкм. Контроль толщины покрытия производили на магнитном толщиномере МТЦ-2М.

2. Нанесение покрытий на основе хрома с добавками УДА проводили ГО [3, 4]. В качестве наполнителя для гальванической ванны использовали алмазно-графитную шихту УДАГ (ТУ РБ 28619110.001–95) производства НПО "Синта" (Беларусь) с соотношением алмазной и неалмазной форм углерода 75:25. Размерность зерен порошков составляла соответственно 1...5 и $(4...6) \cdot 10^{-3}$ мкм.

3. Нанесение покрытий 90TiC–10Ni проводили по технологии ЭИЛ по слою СВС-реагентов, состоящих из смеси порошков титана, сажи и никеля (рис. 2). Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) проходил в межэлектродном промежутке в виде теплового взрыва с образованием на поверхности КП [5, 6].

Покрытие наносили с помощью медного электрода, который в процессе электроискровой обработки практически не плавился (медь обнаруживается в поверхностном слое в количестве не более 5 % [5]). Микроструктуру КП исследовали на образцах, полученных на подложках из инструментальных сталей У8 и 9ХСА.

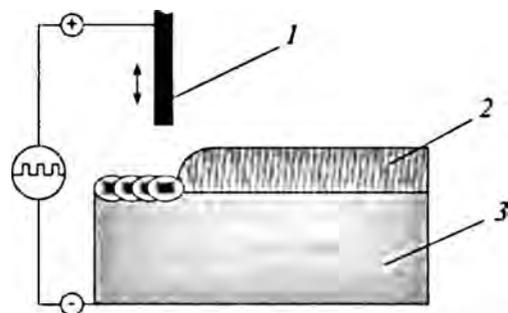


Рис. 2. Схема процесса нанесения КП СВС с ЭИЛ: 1 – электрод; 2 – слой СВС-реагентов; 3 – основа

Микроструктурный анализ покрытий проводили на поперечных шлифах с помощью сканирующего электронного микроскопа высокого разрешения "Mira" фирмы Tescan (Чехия) с микрорентгеноспектральным анализатором "INCA Energy 350". Исследования выполняли как по точкам (точечный микрорентгеноспектральный анализ) с концентрационными кривыми распределения, так и съемкой в характеристическом рентгеновском излучении, что позволило определять характер распределения элементов по сечению.

Результаты исследований и их обсуждение

На рис. 3 представлены микроструктура и концентрационные кривые распределения элементов в поперечном сечении покрытия, сформированного на стали марки 9ХСА. Из полученных результатов видно, что в данном случае формируется плотное беспористое мелкозернистое покрытие.

Макроструктура покрытия по всей толщине однородна: в легированной матрице присутствуют дисперсные частицы карбида титана. Точечный микрорентгеноспектральный анализ (МРСА) показал, что в точках, где наблюдалось уменьшение содержания титана, увеличивается концентрация железа и никеля.

Это говорит о том, что материал подложки и никелевая добавка образуют металлическую матрицу в виде твердого раствора и не образуют соединений с карбидом титана. Присутствие железа в покрытии свидетельствует об оплавлении части материала основы.

Детальное изучение КП (рис. 4) выявило наличие нескольких участков. В верхней части (1) присутствуют карбиды с дендритообразной структурой, вытянутой в направлении охлаждения, т.е. к поверхности. Ниже (2) карбиды имеют округлую мелкозернистую форму (1...3 мкм). В средней части (3, 4) наблюдается скопление крупных карбидов (~ 10 мкм) с небольшим количеством металлической матрицы вокруг них. В приграничной с основой зоне находятся карбиды

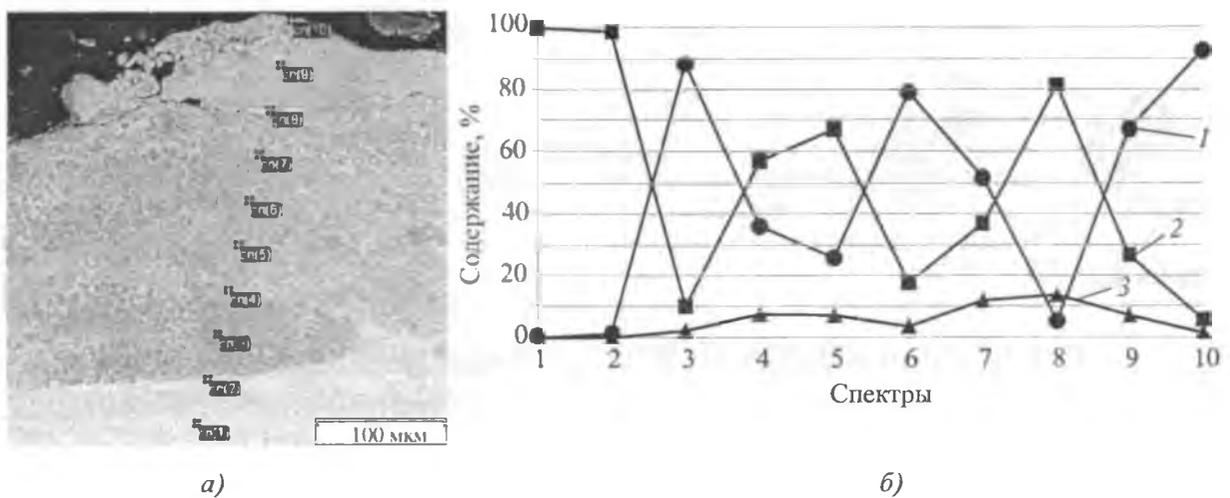


Рис. 3. Микроструктура (а) и концентрационные кривые распределения элементов (б) в КП (основа – сталь 9ХСА)

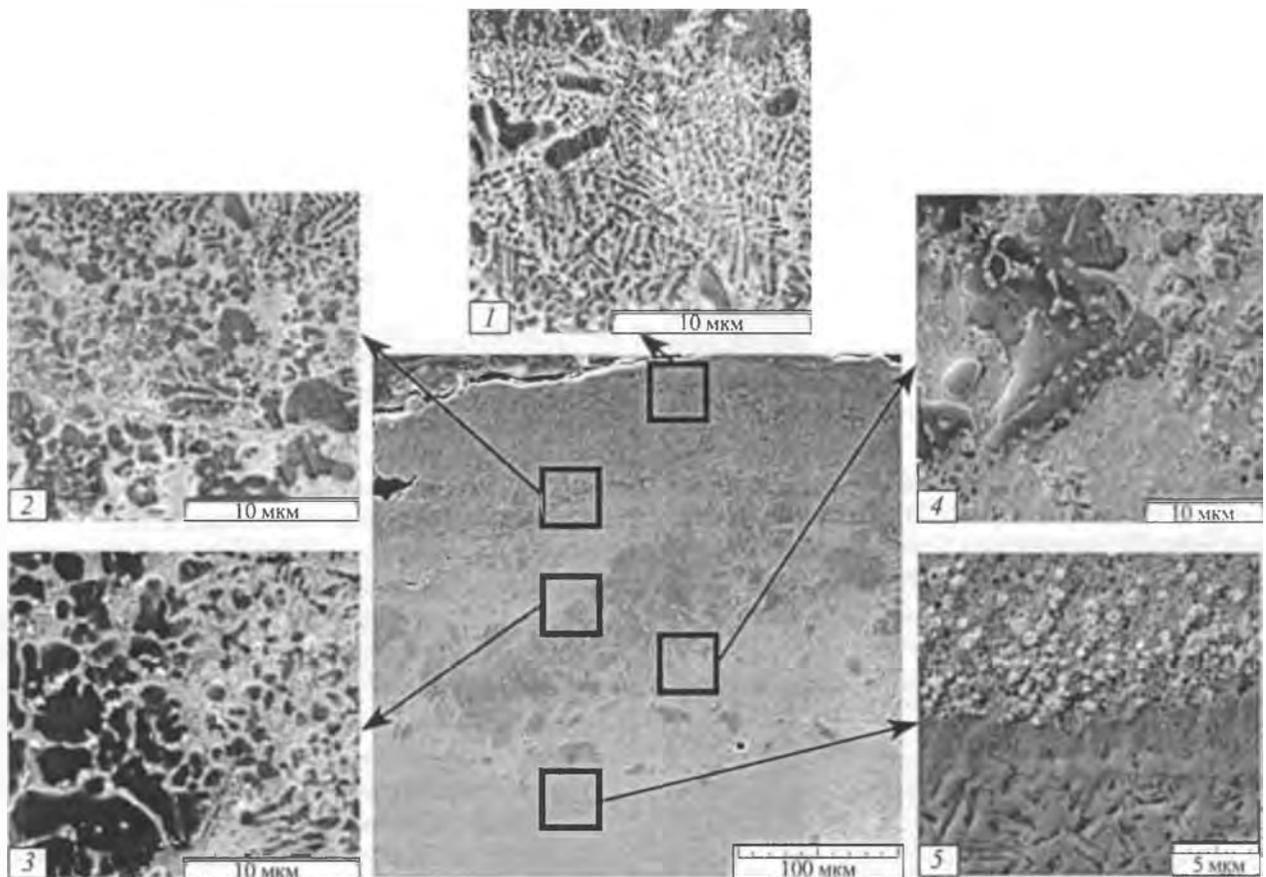


Рис. 4. Микроструктура КП (основа – сталь 9ХСА)

округлой формы, равномерно распределенные по металлической матрице.

Рост зерен в центральной части КП связан с особенностью кристаллизации покрытия из расплава. Укрупнение зерна происходит из-за более медленной скорости охлаждения центральной части расплава по отно-

шению к периферии. Мелкозернистая структура образуется в поверхностном слое за счет ускоренного теплоотвода в окружающую среду, а также в приповерхностном слое детали за счет теплоотвода в глубь изделия.

Однако в верхней зоне (1) структура представлена коллективизированными зёрнами карбида титана, вы-

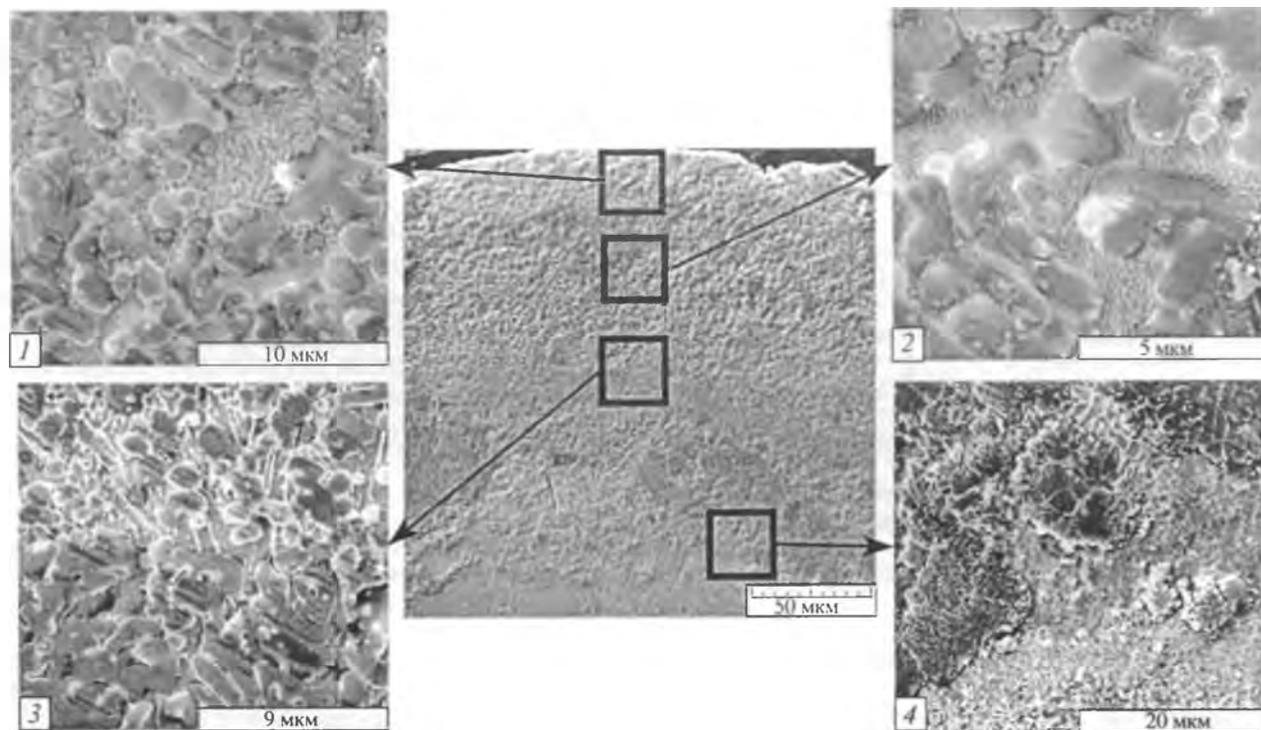


Рис. 5. Микроструктура КП (основа – сталь У8)

тянутыми к поверхности. Объединение зерен происходит при наличии небольшого количества жидкой фазы (не более 10 %) (см. рис. 3). В условиях наличия обильного расплава зерна TiC не коллективизируются и распределены равномерно по металлической матрице Fe–Ni. Такая структура характерна для пограничной с основной зоной (5), где находится большое количество железа, попавшее при оплавлении подложки.

Исследование КП, нанесенного на сталь марки У8, с характерными участками представлено на рис. 5. Видно, что в центральной (3) части КП наблюдается коллективизация зерен карбида титана. Крупнозернистая структура наблюдается также на границе покрытие–основа (4).

Полученные данные исследований структуры в характерном рентгеновском излучении поперечного сечения покрытия свидетельствуют о том, что границы зерен карбида титана не ярко выражены. При наложении распределения Fe и Ti видно, что по краям зерен присутствует железо (рис. 6, см. с. 2 обложки). Границы карбидов размыты и наблюдается частичная диффузия Fe в карбиды Ti.

При рассмотрении картины распределения углерода видно, что края зерен карбида титана более светлые, а это означает, что концентрация углерода по краям несколько ниже.

Металлическая матрица, в которой располагаются карбиды, напоминает перлитную структуру в сталях

(см. рис. 5, 1). Исходя из полученных данных, можно сделать вывод, что и C, и Ni, которые не участвуют в формировании карбидов, образуют твердый раствор с железом.

Между зернами карбида наблюдается мелкодисперсная структура твердого раствора Fe с Ni (см. рис. 6 с. 2 обложки). Образование металлической матрицы в виде твердого раствора подтверждается также распределением Ni и Fe. В процессе исследований установлено, что распределение никеля полностью повторяет распределение железа, что свидетельствует о том, что данные элементы образуют твердый раствор. Диффузия никеля в карбиды титана отсутствует.

Эксплуатационные испытания

Испытания эффективности резания вязких материалов проводили на образцах из коррозионно-стойкой стали 12Х18Н10Т по числу просверленных отверстий до последующей переточки и средней силе резания при сверлении. Результаты испытаний приведены в таблице.

Очевидно, что нанесение покрытий повышает стойкость инструмента и снижает энергозатраты при обработке вязких сталей. Однако характер поведения инструмента при обработке неоднозначный. Наибольшая стойкость получена у сверл с покрытиями, сформированными при ГО хрома с введенным УДА.

Таблица

Результаты испытаний режущей способности сверл с разными типами покрытий

Покрытие	Способ нанесения	Число отверстий до переточки, шт.	Усилие резания, Н	Скорость резания, м/мин
—	—	280/320	390/440	15/12
TiN	КИБ	290/340	360/400	16/13
Cr+УДА	ГО	620/890	240/260	17/14
90TiC–10Ni	ЭИЛ+СВС	560/800	270/300	24/21

Примечание. В числителе приведены значения для сверла $d = 8$ мм, в знаменателе – для сверла $d = 12$ мм.

Частицы УДА, в отличие от обычных мелкодисперсных порошков, являются структурообразующими элементами. В связи с тем что их размеры чрезвычайно малы (1...6 нм), содержание их в покрытии обычно невелико – 0,1...1,5 %. Частицы нанонаполнителя являются при осаждении хрома центрами кристаллизации. В результате покрытие формируется мелкодисперсным и плотным. Недостатком данных покрытий является их высокая стоимость.

Покрытия из TiN обладают пониженным коэффициентом трения, в результате чего уменьшается значение нароста по передней поверхности и, как следствие, снижается усилие резания в сравнении со сверлами без покрытия. Однако толщина покрытий невелика (не более 8 мкм) и оно быстро изнашивается до основы.

Снижение усилия резания у инструмента с покрытиями 90TiC–10Ni, полученными при ЭИЛ и СВС, обусловлено геометрией режущей кромки, которая имеет пилообразный профиль, позволяющий повысить скорость резания. Также данный тип покрытия

при выкрашивании из более мягкой никелевой матрицы зерен TiC постоянно обновляется и не требует частых переточек.

Заключение

Совместное использование технологии СВС и ЭИЛ позволяет сформировать покрытие, представляющее собой металлическую матрицу в виде твердого раствора с достаточно равномерным распределением дисперсных карбидов титана по всему объему.

Созданные КП на РИ работают по принципу пилообразования, что позволяет повысить скорость резания вязких материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Саранцев В.В. Технология получения композиционных покрытий электроискровой обработкой обмазок из СВС-реагентов // Ремонт, восстановление, модернизация. 2007. № 2. С. 13–17.
2. Карпенко Г.Д., Лойко В.А. Исследование структуры покрытий на основе нитрида титана // Известия АН БССР. Сер. физ.-техн. наук. 1986. № 1. С. 31–34.
3. Витязь П.А., Жорник В.И. Перспективы применения нанокристаллических алмазов при создании машин и технических систем // Материалы Междунар. науч.-техн. конф. "Надежность машин и технических систем": в 2-х т. Минск: ИТК НАНБ, 2001 (1). С. 30–34.
4. Формирование композиционных покрытий на основе железа при электрохимическом осаждении из растворов-электролитов с керамическими наполнителями / Ф.И. Пантелеенко и др. // Упрочняющие технологии и покрытия. 2009. № 4 (52). С. 27–33.
5. Реут О.П. и др. Применение самораспространяющегося высокотемпературного синтеза и электроискровой обработки для нанесения композиционных покрытий // Упрочняющие технологии и покрытия. 2007. № 12. С. 49–56.
6. Способ электроэрозионного упрочнения: пат. 10997 Респ. Беларусь, МПК В 23 Н 9/00 / Саранцев В.В., Маркова Л.В.; заявитель БНТУ – № а20060508; заявл. 25.05.06; опубл. 22.05.08 // Афицыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. 2008.

