

УДК 621.9.048.4

ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОИСКРОВЫХ ПОКРЫТИЙ ИЗ ТВЕРДОГО СПЛАВА ВК8 С ДОБАВКОЙ Al_2O_3

© 2011 г. С.В. Николенко, С.А. Пячин, А.А. Бурков

Институт материаловедения Хабаровского научного центра (ХНЦ) ДВО РАН, г. Хабаровск

Представлены результаты исследования формирования покрытий методом электроискрового легирования с использованием электродного материала на основе вольфрамсодержащего сплава ВК8 с добавкой нанопорошка оксида алюминия. Показано, что введение Al_2O_3 в твердый сплав способствует повышению коэффициента массопереноса, микротвердости и износостойкости формируемых покрытий. Длительность электрических разрядов оказывает значительное влияние на фазовый состав легированного слоя.

Ключевые слова: электроискровое легирование, электродный материал, упрочняющее покрытие, массоперенос, фазовый состав, микротвердость, износостойкость.

This paper contains the results the formation of coatings by the electrospark alloying using WC-8%Co alloy based electrode material with additive of aluminum oxide nanopowder. Adding Al_2O_3 in the hard alloy is shown to increase the mass transfer coefficient, microhardness, and wear resistance of the coatings to be formed. The duration of electric discharge considerably affects the phase composition of the alloyed layer.

Key words: electrospark alloying, electrode material, hardsurfacing coating, mass transfer, phase composition, microhardness, wear resistance.

ВВЕДЕНИЕ

Создание и фундаментальные исследования наноструктурных материалов — одно из основных направлений развития современных нанотехнологий [1]. Однако получение и промышленное освоение объемных наноструктурных материалов с высокой прочностью и низкой пластичностью затруднены. Весьма перспективным способом улучшения механических свойств металлов и сплавов является формирование в их поверхностных слоях наноструктурного состояния, которое позволяет сдерживать развитие усталостных трещин и, как следствие, повышать прочность материала.

Нанесение износостойких электроискровых покрытий, в том числе наноструктурированных, на поверхность деталей машин и инструмента дает возможность значительно увеличить ресурс их работы [2]. В качестве электродных материалов для создания покрытий широкое распространение получили твердые сплавы на основе карбида вольфрама с кобальтовой связкой [3–5]. Добавки в эти сплавы нанопорошков тугоплавких соединений оказыва-

ют положительное влияние на микроструктуру и трибологические характеристики электроискровых покрытий [6]. В Институте материаловедения ХНЦ ДВО РАН (г. Хабаровск) методом порошковой металлургии был разработан состав электродного материала на основе твердого сплава ВК8 с 1–5 % -ной добавкой нанопорошка Al_2O_3 [7]. Оксид алюминия использовался как ингибитор роста зерна твердого сплава, препятствующий срастанию и перекристаллизации частиц при спекании исходного порошка, что позволило создать твердый сплав с размерами зерна карбида вольфрама < 1 мкм. Предварительные исследования показали, что повышение содержания Al_2O_3 в электродном материале от 1 до 5 % приводит к уменьшению среднего размера зерна с 1,5 до 3 раз, однако при этом снижается однородность структуры твердого сплава, нарушается сплошность кобальтовой связки, увеличивается объем пор. Поэтому в дальнейшем в основном использовались электроды следующего состава: (WC-8%Co)—1% Al_2O_3 .

Николенко С.В. — канд. техн. наук, ст. науч. сотр. Института материаловедения ХНЦ ДВО РАН (680042, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 153). Тел.: (4212) 45-03-68. Факс: (4212) 22-65-98. E-mail: nikola1960@mail.ru.

Пячин С.А. — канд. физ.-мат. наук, и.о. зам. директора по науке этого же института. Тел.: (4212) 72-52-29. E-mail: pyachin@mail.ru.

Бурков А.А. — аспирант этого же института. E-mail: burkovalex@mail.ru.

Целью настоящей работы являлось изучение влияния частоты и длительности электрических разрядов на структуру, состав и свойства покрытий, формируемых на поверхности стали 35 при электроискровом легировании композиционным материалом на основе твердого сплава ВК8 с добавкой Al_2O_3 .

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ

Покрытия были нанесены с помощью электроискровой установки с ручным вибратором. Ток в импульсе составлял 100 А; напряжение разряда – 40 В; частота следования импульсов – $f = 100, 500, 1000$ Гц; длительность импульсов – $\tau = 10 \div 200$ мкс; типичное удельное время электроискровой обработки – 3 мин/см². В качестве анода использовали брусок сечением 4×4 мм² из твердого сплава WC–8%Co с добавкой 1 % Al_2O_3 . Подложкой (катодом) служили цилиндры из стали 35 диаметром 11 мм. В некоторых случаях при электроискровой обработке катод обдувался потоком аргона.

Металлографические исследования проводили на микроскопе МИМ-10 и микротвердоме ПМТ-3М при нагрузке 0,5 Н. Топографию поверхности легированных слоев изучали на атомно-силовом микроскопе.

Фазовый состав покрытий анализировали с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-7 в CuK_{α} -излучении. Износостойкость электроискровых покрытий исследовали по схеме «вал–колодка» на машине трения ИИ 5018 при нагрузке 140 Н.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Массоперенос вещества с анода на катод определялся путем взвешивания электродов через каждую минуту электроискровой обработки. Опыты показали, что у анода масса уменьшается в течение всего времени легирования примерно по линейной зависимости, а у катода она вначале увеличивается, а затем, достигнув определенного порогового значения, который называют порогом хрупкого разрушения, начинает снижаться (рис. 1). Это объясняется накоплением дефектов и разрушением покрытия за счет термомеханических напряжений, возникающих в металле при импульсном воздействии электрических разрядов. С возрастанием длительности разрядов при одной и той же частоте импульсов

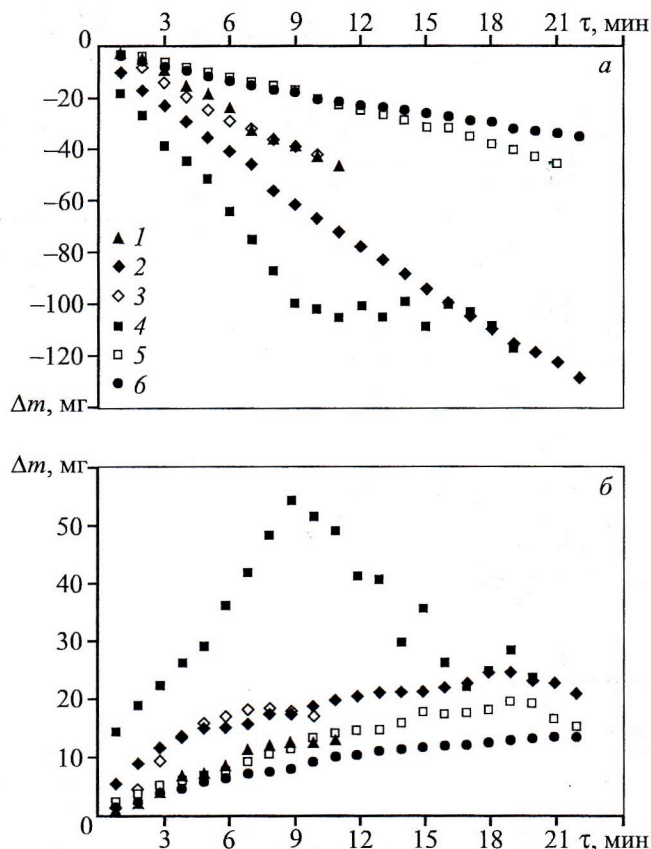


Рис. 1. Убыль массы анода (а) и изменение массы катода (б) в зависимости от времени электроискрового легирования стали 35 твердым сплавом ВК8–1% Al_2O_3 (1, 2, 4, 5) и ВК8 (3, 6)

Параметры разрядов и газовая среда: 1– $f = 100$ Гц, $\tau = 100$ мкс, аргон; 2, 3– $f = 100$ Гц, $\tau = 100$ мкс, воздух; 4– $f = 1000$ Гц, $\tau = 100$ мкс, воздух; 5, 6– $f = 1000$ Гц, $\tau = 20$ мкс, воздух

количество материала, эродированного с анода и перенесенного на катод, увеличивается, а время достижения порога хрупкого разрушения уменьшается. Например, при повышении τ с 20 до 100 мкс скорости потери массы анода (WC–8%Co)–1% Al_2O_3 и привеса катода возрастают примерно в 2 раза. Аналогичное влияние оказывает повышение частоты импульсов с 0,1 до 1 кГц при $\tau = 100$ мкс. Примечательно, что зависимости изменения массы катода от количества разрядных импульсов для разных частот практически совпадают друг с другом (рис. 2). Это объясняется тем, что перенос вещества определяется, прежде всего, мощностью разряда, его длительностью и теплофизическими свойствами материала электродов. Поэтому одной и той же величины привеса катода можно добиться за более короткое время при более высокой частоте следования электрических разрядов.

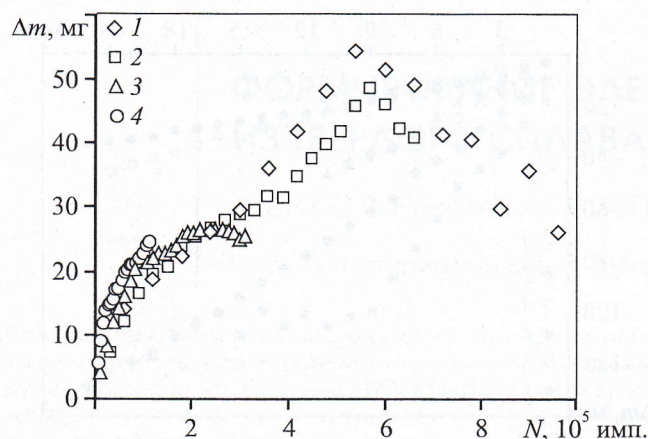


Рис. 2. Изменение массы катода в зависимости от числа прошедших импульсов длительностью 100 мкс в воздушной среде при различных частотах

Анод — ВК8-1%Al₂O₃
f, Гц — 100 (1), 200 (2), 500 (3), 1000 (4)

При электроискровом воздействии разрушение анода из твердого сплава ВК8 с добавкой оксида алюминия, как и предполагалось, оказалось значительно более эрозии ВК8 без добавки. Этот эффект особенно заметен при $\tau > 50$ мкс — удается увеличить скорость эрозии анода в 1,5 раза. Однако скорость привеса катода при добавлении Al₂O₃ в электродный материал возрастает только на 10–20 %. Изучение массопереноса при электроискровой обработке стальной подложки в различных газовых средах показало, что в воздушной среде убыль массы легирующего электрода и рост массы катода в 2 раза больше, чем в аргоне. Тем не менее коэффициент переноса вещества, определяемый по отношению абсолютных значений изменений масс катода и анода, при электроис-

вом легировании в воздухе и аргоне примерно одинаков и лежит в диапазоне 40–50 %.

С помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ) удалось установить, что применение электродного материала из твердого сплава ВК8 с 1 %-ной добавкой нанодисперсного порошка Al₂O₃ позволяло сформировать на поверхности стали 35 структуру с размером зерна от десятков нанометров до нескольких микрометров (рис. 3). Таким образом, было получено подтверждение, что метод электроискрового воздействия можно использовать для создания наноструктурированных поверхностных слоев на металлах. Микроструктура полученных покрытий представлена на рис. 4. Как правило, основную часть легированного слоя образуют карбиды типа W₂C (серая область в верхней части покрытия) с мелкими включениями карбида WC. На участках стали, прилегающих к легированному слою, наблюдается ферритно-перлитная структура. Перлитная составляющая подвергается закалке в результате термического воздействия и быстрого охлаждения, и поэтому ее микротвердость немного выше по сравнению с основой. Дефектность поверхностных слоев возрастает с увеличением энергии, выделившейся в результате воздействия разрядов. За удельное время нанесения покрытия, равное 3 мин/см², его толщина достигала 70 мкм при $\tau = 100$ мкс ($f = 1$ кГц) и 90 мкм при $\tau = 200$ мкс ($f = 500$ Гц).

Исследования фазового состава полученных покрытий (рис. 5) показали, что в результате выделения тепла и интенсификации взаимодействия материала электрода с кислородом воздуха в локальных участках воздействия электрических разрядов

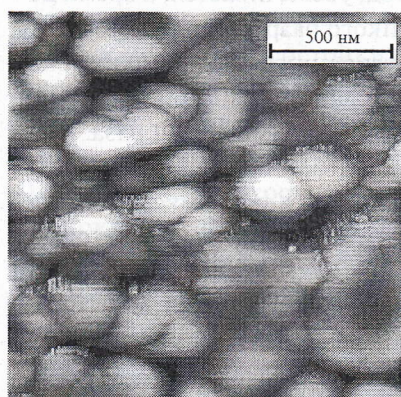


Рис. 3. АСМ-изображение поверхности покрытия из твердого сплава WC-8%Co с 1 %-ной добавкой Al₂O₃

Режим обработки: $f = 500$ Гц, $\tau = 40$ мкс, удел. время нанесения — 2 мин/см², воздух

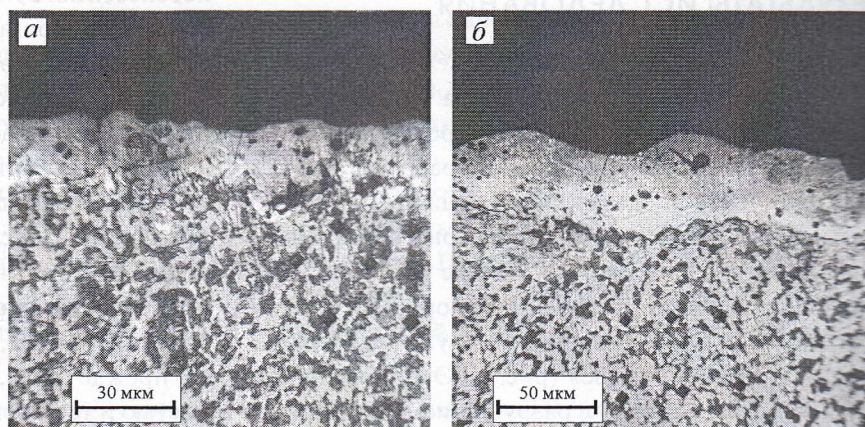


Рис. 4. Микроструктура покрытия WC-8%Co с 1 %-ной добавкой Al₂O₃ на стали 35

а — $f = 1000$ Гц, $\tau = 20$ мкс; б — $f = 100$ Гц, $\tau = 100$ мкс

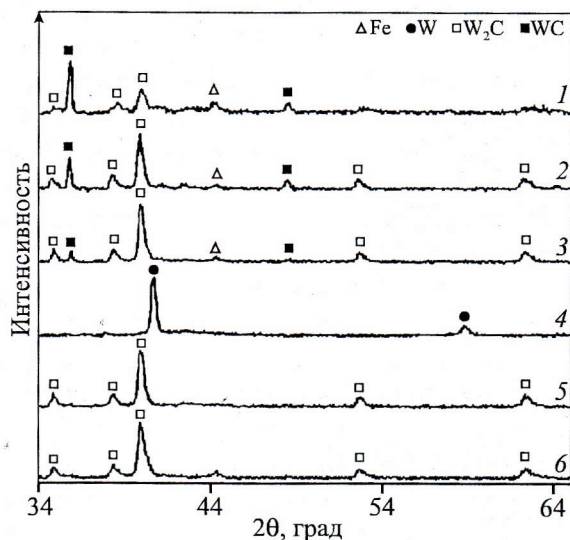


Рис. 5. Участки рентгенограмм покрытий, полученных на стали 35 при электроискровом легировании твердым сплавом ВК8–1%Al₂O₃ в различных газовых средах при следующих режимах:

1 – $f = 100$ Гц, $\tau = 100$ мкс, аргон; 2 – $f = 100$ Гц, $\tau = 100$ мкс, воздух; 3 – $f = 1000$ Гц, $\tau = 100$ мкс, аргон; 4 – $f = 1000$ Гц, $\tau = 100$ мкс, воздух; 5 – $f = 1000$ Гц, $\tau = 20$ мкс, воздух; 6 – $f = 1000$ Гц, $\tau = 20$ мкс, аргон

наблюдается разложение карбида вольфрама WC до карбида W₂C и в конце концов в вольфрам. Такие изменения особенно ярко начинают проявляться с ростом длительности и частоты разрядных импульсов. Применение аргона в качестве защитной среды при электроискровой обработке позволяет уменьшить деградацию карбида вольфрама WC. Однако при больших частотах (1 кГц) и малых длительностях (< 20 мкс) окружающая газовая среда не оказывает значительного влияния (см. рис. 5, рентгенограммы 5 и 6).

На твердосплавном аноде при электроискровом воздействии в результате окисления и обезуглероживания формируется вторичная структура, состоящая из смеси карбидов различного состава (WC,

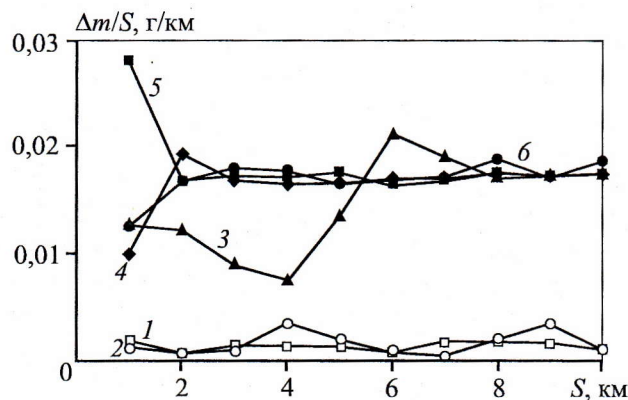


Рис. 6. Удельный износ покрытий, полученных при электроискровом легировании стали 35 твердыми сплавами ВК8–1%Al₂O₃ (1, 2, 4, 5) и ВК8 (3, 6)

Параметры разрядов и газовая среда: 1 – $f = 100$ Гц, $\tau = 100$ мкс, аргон; 2, 3 – $f = 100$ Гц, $\tau = 100$ мкс, воздух; 4 – $f = 1000$ Гц, $\tau = 100$ мкс, воздух; 5, 6 – $f = 1000$ Гц, $\tau = 20$ мкс, воздух

W₂C), а также вольфрама. Поэтому для сохранения исходного карбида вольфрама WC, представляющего большую практическую ценность по сравнению с W₂C, предпочтительно использовать защитную газовую среду либо снижать длительность разрядных импульсов.

Микротвердость была измерена в косом сечении образцов на различной глубине полученных покрытий. Было установлено, что микротвердость покрытий по сравнению со стальной основой в 4–7 раз выше (см. таблицу). Однако при $\tau > 100$ мкс у верхних слоев электроискрового покрытия прочность ниже, чем у более глубоких его слоев, что связано с разложением карбида вольфрама до вольфрама. Таким образом, для нанесения качественных электроискровых покрытий наиболее оптимальная длительность разрядных импульсов составляет 50–100 мкс.

Результаты испытаний на износ покрытий, полученных при электроискровом легировании электрод-

Микротвердость и толщина электроискровых покрытий в зависимости от режима обработки

Материал анода	Режим обработки		Свойства покрытий	
	f , Гц	τ , мкс	Микротвердость*, ГПа	Толщина**, мкм
ВК8+1%Al ₂ O ₃	100	100	11,1 ± 1,9	43 ± 8
ВК8+1%Al ₂ O ₃	500	100	16,1 ± 0,5	56 ± 10
ВК8+1%Al ₂ O ₃	1000	100	15,9 ± 0,5	72 ± 11
ВК8	500	100	12,5 ± 0,5	42 ± 7

* Микротвердость подложки (сталь 35) – 2,18 ГПа.

** Удельное время обработки – 3 мин/см².

ными материалами на основе карбида вольфрама, представлены на рис. 6. Анализ экспериментальных данных показывает, что использование в качестве электродного материала твердого сплава ВК8 с добавкой оксида алюминия позволяет повысить износостойкость легированного слоя в 5–10 раз по сравнению с покрытиями на основе твердого сплава ВК8 без добавки. Наименьшим износом обладают покрытия, созданные при частоте разрядных импульсов 100 Гц и их длительности 100 мкс, в отличие от покрытий, полученных при $f = 1$ кГц и $\tau = 20$ мкс, которые разрушаются уже на первых двух километрах испытаний из-за своей малой толщины.

ВЫВОДЫ

1. Использование электродного материала на основе твердого сплава ВК8 с 1 %-ной добавкой нанопорошка Al_2O_3 для формирования электроискровых покрытий позволяет увеличить массоперенос вещества с анода на катод в 2 раза и повысить износостойкость легированного слоя в 5–10 раз по сравнению с нанесением сплава ВК8 без добавки.

2. Исследования с помощью атомно-силовой микроскопии показали, что применение анода из твердого сплава ВК8 с 1 %-ной добавкой нанодис-

персного порошка Al_2O_3 способствует образованию на поверхности модифицированного слоя структуры с размером зерна от сотен нанометров до нескольких микрометров.

3. На фазовый состав электроискровых покрытий, формируемых на основе карбидсодержащего твердого сплава, значительное влияние оказывает длительность разрядных импульсов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андриевский Р.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. М.: Академия, 2005.
2. Верхотуров А.Д. Формирование поверхностного слоя при электроискровом легировании. Владивосток: Дальнаука, 1995.
3. Levashov E.A., Zamulaeva E.I., Kudryashov A.E. et al. // Plasma process and polymers. 2007. Vol. 4, № 3. P. 293.
4. Ribalko A.V., Sahin O.A. // Surf. Coat. Technol. 2006. Vol. 201, № 3–4. P. 1724.
5. Richardson G.Y., Lei C.S., Tabakoff W. // Intern. J. Rotat. Machin. 2003. Vol. 9, № 1. P. 35.
6. Levashov E.A., Kudryashov A.E., Vakaev P.V. et al. // Surf. Coat. Technol. 2004. Vol. 180–181. P. 347.
7. Николенко С.В., Верхотуров А.Д., Дворник М.И. и др. // Вопр. материаловедения. 2008. № 2. С. 100.

Новинки Издательского дома МИСиС

Нарва В.К. «Технология и свойства порошковых материалов и изделий из них. Конструкционные материалы: Курс лекций»

М.: ИД МИСиС, 2010. – 124 с. ISBN 978-587623-303-5.

Рассмотрены вопросы формирования структуры и свойств порошковых конструкционных материалов на основе железа и цветных металлов. Описаны применяемые технологические схемы производства конструкционных материалов, методы улучшения их свойств путем легирования основы, термической, химико-термической и термомеханической обработки. Отмечены особенности всех видов обработки для порошковых материалов по сравнению с литыми. Показаны преимущества и недостатки метода порошковой металлургии применительно к конструкционным материалам.

Предназначен для студентов и магистрантов, обучающихся по направлению «Металлургия».

Для приобретения по безналичной оплате обращаться по тел.: (495) 638-44-28, в случае наличного расчета – в «Наш Книжный» по адресу: г. Москва, Ленинский пр-т, 4, тел.: (495) 638-45-31.