

Рис. 5. Характер разрушения на прессе частиц-композитов: а – АСМ 63/50; б – АСМ 100/80; в – после термообработки (850 °С), АСМ 63/50 с покрытием конденсатом

ВЫВОД

Выполненные исследования показали возможность получения отдельным синтезом слоистых карбидокремниевых покрытий магнетронным распылением комбинированных катодов Si + C. Модернизация оборудования и управление режимами распыления и условиями осаждения конденсата позволили осуществить синтез карбида кремния при низких температурах с формированием аморфного слоя в покрытии. На основании поровой модели образования карбида кремния предложен механизм формирования аморфного слоя в конденсате Si + C за счет поверхностных волн, возникающих при бомбардировке конденсата каскадом частиц плазмы тлеющего разряда. Твердофазное реакционное спекание кремния и углерода в нанопокровках на алмазных порошках позволяет изготовить композиты из таких порошков с уникальным комплексом свойств за счет управления строением зоны соединения частиц на атомном и кластерном уровнях.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Структурообразование** карбидокремниевой матрицы в композиции алмаз – карбид кремния / В. Н. Ковалевский [и др.] // Огнеупоры и техническая керамика. – 2005. – № 5. – С. 8–14.
2. **Ковнеристый, Ю. К.** Физико-химические основы создания аморфных металлических сплавов / Ю. К. Ковнеристый, Э. К. Осипов, Е. А. Трофимова. – М.: Наука, 1983. – 144 с.
3. **Bernal, J. D.** Structure and properties of liquid / J. D. Bernal. – London, 1965. – P. 25.
4. **Аморфные** сплавы / А. И. Манохин [и др.]. – М.: Металлургия, 1984. – 160 с.
5. **Моделирование** и расчет параметров электрического разряда в планарном магнетроне / С. Г. Клопов [и др.] // Известия РАН. Сер. физическая. – 2006. – Т. 70, № 8. – С. 1204–1209.
6. **Ковалевский, В. Н.** Влияние режимов напыления на свойства аморфных углеродных покрытий / В. Н. Ковалевский, Б. Л. Фигурин, К. Б. Фигурин // Вестник БНТУ. – 2003. – № 5. – С. 22–24.
7. **Костиков, В. И.** Сверхвысокотемпературные композиционные материалы / В. И. Костиков, А. Н. Варенков. – М.: Интермет Инжиниринг, 2003. – 506 с.

Поступила 09.06.2010

УДК 621.9.048.4.06

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ШЛИФОВАНИЯ НА ТВЕРДОСТЬ, ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗАЩИТНЫХ ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Докт. техн. наук, проф. СПИРИДОНОВ Н. В., асп. НЕРОДА М. В., канд. техн. наук СОКОРОВ И. О.

*Белорусский национальный технический университет,
Барановичский государственный университет*

Магнитно-электрическое шлифование (МЭШ) представляет собой способ комбинированной электрофизической обработки, при котором производится совмещение микрорезания абразивными зернами с электроэрозионным воздействием на обрабатываемую поверхность при наложении на зону обработки магнитного поля [1].

При МЭШ защитных покрытий поверхностный слой подвергается значительным температурным воздействиям, которые оказывают влияние на изменение твердости и химического состава материала покрытия. Исследованиями установлено, что из-за термического действия технологического тока поверхностный слой оплавляется [2]. В результате оплавления увеличиваются прочность сцепления материала

покрытия с основой и твердость поверхностного слоя.

В результате обработки МЭШ происходит дополнительное легирование поверхности покрытия элементами, входящими в состав абразивного токопроводящего круга. Поэтому необходимо исследовать влияние технологических параметров МЭШ на изменение химического состава материала покрытия.

Объекты, оборудование и программа исследований. Обработка опытных образцов с защитными покрытиями проводилась на модернизированном универсально-заточном станке 3Е642Б. В качестве инструмента применяли абразивный токопроводящий круг марки ПП250×25×32–5С25СТ6КАЛ. Исследовалось влияние технологических параметров магнитно-электрического шлифования на твердость защитных покрытий марок ПГ-СР4 и ПГ-СР2. Также в работе проведена оценка износостойкости рабочих поверхностей комплекта деталей «Упор направляющей ленточной пилы», изготовленных из стали 18ХГТ и напыленных порошком ПГ-СР4. Для измерения твердости поверхности покрытия использовали твердомер модели ТКС-1М при нагрузке 150 Н. Данные

по изменению топографии поверхности и химического состава защитных покрытий после обработки МЭШ были получены при помощи растрового электронного микроскопа модели LEO 1455 VP. Режимы МЭШ, при которых проводилась обработка, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Режимы МЭШ

n , мин ⁻¹	S , м/мин	I , А	t , мм	B , Тл
2000	0,12	5	0,005	0,01
3000	1,4	10	0,025	0,15
4000	2,8	15	0,05	0,2

Закономерности формирования поверхностного слоя покрытий при МЭШ определяется действием технологических режимов, а именно технологического тока I , магнитной индукцией B , частотой вращения токопроводящего круга n , глубиной шлифования t , продольной подачей S .

Результаты изменения твердости газотермических защитных покрытий ПГ-СР4 и ПГ-СР2 до и после обработки МЭШ показаны на диаграммах (рис. 1, 2). Из диаграмм видно, что на твердость защитных покрытий значительное влияние оказывают режимы обработки МЭШ.

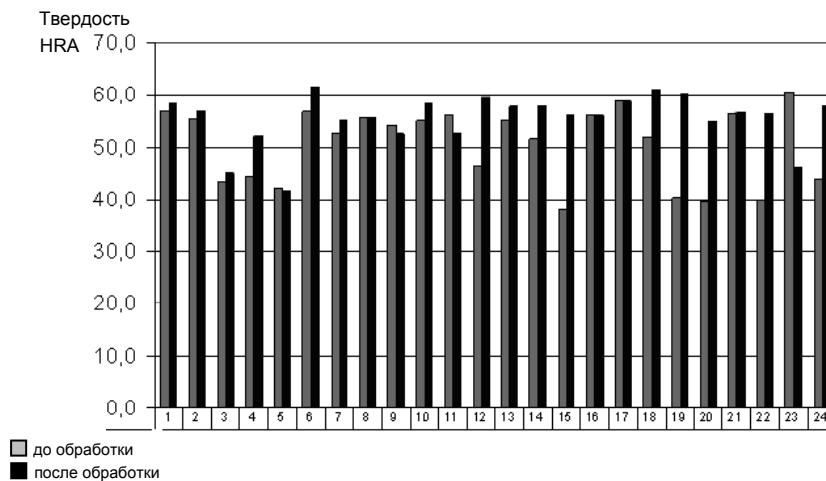


Рис. 1. Диаграмма изменения твердости газотермического защитного покрытия ПГ-СР4 до и после обработки МЭШ

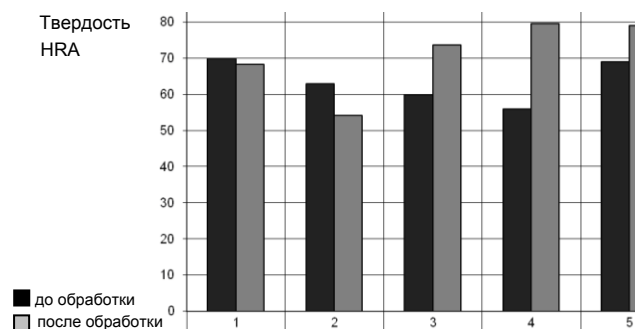


Рис. 2. Диаграмма изменения твердости газотермического защитного покрытия ПГ-СР2 до и после обработки МЭШ

Анализируя полученные зависимости, можно предположить, что увеличение твердости покрытий происходит за счет действия технологических параметров МЭШ. В процессе обработки поверхностный слой защитного покрытия подвергается термическому и электроэрозионному воздействию технологического тока, силовому воздействию абразивных зерен электрода-инструмента, а также энергии внешнего магнитного поля. В процессе обработки происходит оплавление покрытия и удаление дефектного слоя с его поверхности, уменьшается шероховатость поверхности, а также происходит ее уплотнение зернами абразива. На рис. 3 представлена диаграмма, показывающая изменение твердости газотермического покрытия ПГ-СР2 в зависимости от величины технологического тока.

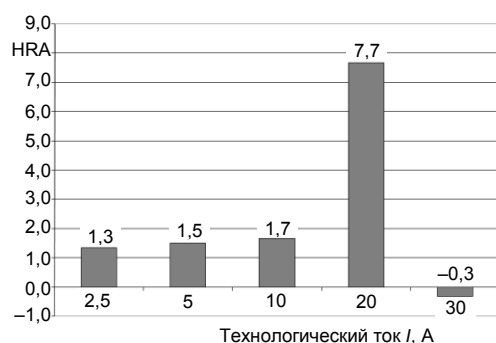


Рис. 3. Диаграмма изменения твердости газотермического покрытия ПГ-СР2 от величины технологического тока

Из диаграммы (рис. 3) видно, что твердость увеличивается незначительно при значении технологического тока 2,5–10,0 А. С увеличением технологического тока с 10 до 20 А происходит резкое повышение твердости за счет оплавления поверхности покрытия. С дальнейшим увеличением величины технологического тока

с 20 до 30 А твердость резко уменьшается. Это связано, по-видимому, с реализацией в зоне обработки больших мощностей, что приводит к химическому изменению в поверхностном слое покрытия.

Режимы обработки образцов, при которых достигается максимальная твердость при минимальной шероховатости поверхности, приведены в табл. 2.

Оценку износостойкости покрытия ПГ-СР4 проводили в промышленных условиях на ком-

плекте деталей «Упор направляющей ленточной пилы».

Таблица 2

Оптимальные технологические режимы МЭШ

Твердость HRA	Шероховатость поверхности Ra, мкм	n , мин ⁻¹	S , мм/мин	I , А	t , мм	B , Тл
52–56	1,15	2000	120	20	0,025	-
59,3–61	1,5	2000	2800	15	0,005	0,01
59–63	1,58	4000	120	5	0,05	0,01
61–63	0,49	4000	2800	5	0,005	0,01
60,3–62	1,47	4000	2800	5	0,05	0,15
55–58	2,0	4000	2800	15	0,005	0,2
56,3–60	0,57	3000	120	10	0,025	0,15
57,7–60	1,2	3000	1400	10	0,025	0,01

Два опытных образца с рабочими поверхностями, восстановленными покрытием ПГ-СР4 и обработанными МЭШ, а также два опытных образца из стали 18ХГТ ГОСТ 4543-71 с твердостью рабочей поверхности 57–63 HRC после классического чистового шлифования были установлены попарно в ленточной пиле модели 8А544 на заготовительном участке БСЗ ЗАО «Атлант». Предварительно производились замеры основной поверхности. После отработанного ресурса, составляющего 336 ч непрерывной работы, опытные образцы сняли со станка и провели измерения их рабочих поверхностей. Результаты опытных данных износостойкости рабочей поверхности «Упор направляющей ленточной пилы» приведены в табл. 3.

Таблица 3

Опытные данные износостойкости рабочей поверхности «Упор направляющей ленточной пилы»

Номер образца	Рабочий размер, мм		Материал поверхности образца	Величина износа, мм
	До установки на станок	После снятия со станка		
1	21,07	20,95	ПГ-СР4	0,12
2	21,02	20,92	ПГ-СР4	0,1
3	20,90	20,67	18ХГТ	0,23
4	20,92	20,35	18ХГТ	0,57

Из табл. 3 видно, что величина износа образцов № 3 и 4 в 2–5 раз выше, чем образцов № 1 и 2. Износостойкость газотермических защитных покрытий после МЭШ увеличивается за счет оплавления поверхностного слоя покрытия технологическим током, в результате чего увеличивается его твердость и уменьшается шероховатость поверхности.

Исследования показывают, что на обрабатываемую поверхность защитного покрытия при МЭШ влияет ряд факторов, таких как тепловое и электромагнитное воздействие тех-

нологического тока и магнитной индукции, а также технологические факторы, связанные с процессом механического резания. Для точного определения и оценки влияния технологических факторов МЭШ на качество поверхности газотермических защитных покрытий требуется изучение химического состава материала покрытий.

Исследовалось влияние различных технологических факторов МЭШ на изменение химического состава поверхностного слоя газотермических защитных покрытий марки ПГ-СР4 и ПГ-СР2. В результате получены топографии и графики, показывающие изменение структуры и химического состава поверхностного слоя покрытий.

Режимы обработки поверхности покрытия с изменением продольной подачи, глубины шлифования и магнитной индукции показаны в табл. 4.

Таблица 4
Режимы обработки МЭШ

$n, \text{мин}^{-1}$	$S, \text{мм/мин}$	$I, \text{А}$	$t, \text{мм}$	$B, \text{Тл}$	$Ra, \text{мкм}$
2000	120	5	0,005	0,01	3,8

На рис. 4 показана топография поверхности газотермического защитного покрытия ПГ-СР4 после обработки МЭШ при режимах, приведенных в табл. 4. На рисунке видны зона оплавления поверхности за счет термического действия технологического тока, а также следы электроэрозионного (темные пятна) и механического воздействия зерен абразивного круга.

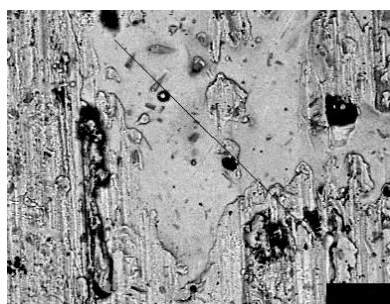


Рис. 4. Топография поверхности покрытия ПГ-СР4 после обработки МЭШ ($\times 2000$)

После обработки покрытия способом МЭШ распределение химических элементов на поверхности становится более равномерным (рис. 5). Процентное содержание основных элементов Ni – 65 %; Cr – 20 %. Наблюдается повышение процентного содержания алюминия до 7–10 %. Это объясняется дополнительным легированием поверхностного слоя покрытия элементами, содержащимися в связке абразивного круга. Антифрикционные свойства алю-

миния могут оказывать влияние на износостойкость газотермического защитного покрытия.

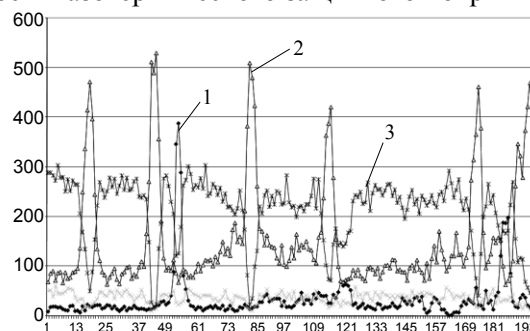


Рис. 5. Распределение химических элементов в поверхностном слое защитного покрытия ПГ-СР4 после обработки МЭШ: 1 – Al; 2 – Cr; 3 – Ni

ВЫВОДЫ

1. Технологические факторы МЭШ оказывают влияние на твердость, износостойкость и распределение химических элементов в поверхностном слое газотермического защитного покрытия, причем основное влияние оказывают электрофизические параметры процесса.

2. Установлено, что повышение твердости происходит за счет оплавления и приобретения однородной структуры поверхностного слоя защитного покрытия. Произведена оценка износостойкости рабочих поверхностей деталей «Упор направляющей ленточной пилы», восстановленных газотермическим защитным покрытием ПГ-СР4 и обработанных способом МЭШ. В результате долговечность деталей увеличилась в 2,5–3,0 раза.

3. При увеличении технологического тока I с 5 до 20 А наблюдается повышение процентного содержания алюминия в поверхностном слое покрытия. Это связано с термическими и диффузионными процессами, происходящими в зоне обработки. Использование абразивного инструмента на токопроводящей алюминиевой связке осуществляет дополнительное легирование поверхности газотермического защитного покрытия. Это повышает антифрикционные свойства и способствует увеличению износостойкости обработанной поверхности покрытия.

ЛИТЕРАТУРА

- Нерода, М. В. Оптимизация режимов магнитно-электрического шлифования упрочненных поверхностей деталей / М. В. Нерода // Машиностроение: респ. межвед. сб. науч. тр.; под ред. Б. М. Хрусталева. – 2007. – Вып. 22. – С. 37–42.
- Спиридонов, Н. В. Теплофизические особенности процесса магнитно-электрического шлифования газотер-

мических защитных покрытий / Н. В. Спиридонов, М. В. Нерода // Вестник БНТУ. – 2008. – № 3. – С. 26–29.

Поступила 02.02.2010