

Т а б л и ц а 1 — Характеристики и режущие свойства абразивных кругов, изготовленных из порошка электрокорунда 25А, в зависимости от содержания в формовочной массе карбида кремния 64С, керамической связки и нового органического порообразующего наполнителя с размером частиц 0,32...0,63 мм

Опыт	Содержание электрокорунда 25А F25 в формовочной массе, масс. %	Содержание карбида кремния 64С F46 в формовочной массе, масс. %	Содержание керамической связки в формовочной массе, масс. %	Содержание порообразователя в формовочной массе, масс. %	Номер структуры	Характеристика работы при обработке деталей
1	57	43	15	12	15	Сыпется
2	50	50	13	15	15	Работает при глубине шлифования до 0,08 мм
3	50	50	14	10	10	Работает хорошо, не сыпется и не засаливается

Режущая способность и производительность указанных инструментов значительно выше обычных кругов из электрокорунда. Кроме того, высокопористый абразивный инструмент с карбидом кремния и обрабатываемый материал при работе нагреваются меньше, вследствие чего не наблюдается прижогов по обрабатываемой поверхности.

В результате микроскопических исследований установлено, что при содержании наполнителя в формовочной массе до 12 % поры от него (после выгорания) занимают меньший объем, чем абразивное зерно, а ширина стенок между порами превышает их размеры. При содержании наполнителя в формовочной массе свыше 16 % после его выгорания ширина стенок между порами соответствует или меньше размерам пор. Абразивный материал приобретает при этом очень развитую губчатую структуру. Крупные поры в полученных крупнозернистых абразивах заключены между стенками из абразивно-керамической массы (шлифзерно, скрепленное связкой). Наличие крупных пор и губчатая структура инструмента позволяют обрабатывать им такие материалы, как резина, пробка, кожа, войлок, а также мягкие горные породы и металлы, которые или совсем не могут обрабатываться обычными кругами, или обрабатываются плохо.

**Заключение.** В процессе исследований решен комплекс задач, необходимых для изготовления абразивного инструмента с высокими режущими свойствами, связанный с использованием нового порообразующего наполнителя и легкоплавкой керамической связки.

Изучено влияние состава абразивной массы на прочностные и режущие свойства шлифовальных кругов на легкоплавкой керамической связке из смеси электрокорунда и карбида кремния при обработке легированных сталей. Установлено, что при температуре обжига 1050 °С карбид кремния окисляется незначительно и абразивный инструмент характеризуется высокой режущей способностью при содержании в шихте до 10 масс. % выгорающего органического порообразователя.

Изготовлены опытные образцы высокопористых шлифовальных кругов из смеси электрокорунда и карбида кремния, проведено их испытание на ОАО «САЛЕО-ГОМЕЛЬ».

#### Список цитируемых источников

1. Преимущества кругов из карбида кремния зеленого на адгезионно-активной связке при обработке труднообрабатываемых сталей и сплавов / В. А. Смирнов [и др.] // Физико-химические явления при шлифовании : сб. докл. — Киев, 1976. — С. 56—61.
2. Шлифовальные круги из смеси абразивных материалов : а. с. № 1526968 СССР : МКИ4 В24Д3/14 ; 1989 ; бюл. № 45.
3. Абразивный инструмент : пат. 2215643 РФ / В. М. Шумячер, В. А. Назаренко, С. А. Крюков, И. В. Дуличенко ; 2003 ; бюл. № 31.

УДК 621.793

М. А. Леванцевич, Л. Л. Сотник, И. А. Козловский, А. С. Столяров, А. А. Голушко  
Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА МАТЕРИАЛА-ДОНОРА И СЛОЯ ПОКРЫТИЯ, СФОРМИРОВАННОГО ДЕФОРМАЦИОННЫМ ПЛАКИРОВАНИЕМ ГИБКИМ ИНСТРУМЕНТОМ

**Введение.** Известно, что формирование антифрикционных покрытий на рабочих поверхностях трущихся деталей является эффективным технологическим приемом, используемым для улучшения работоспособности подвижных сопряжений. При этом предпочтение отдается композиционным покрытиям, содержащим в матричном материале легирующие добавки компонентов металлического (медь, бронза, олово и др.) и неметаллического

ского (графит, дисульфид молибдена, фторопласт и др.) происхождения, в том числе наноразмерного уровня. Например, введение в состав электрохимических покрытий порошка ультрадисперсных алмазов детонационного синтеза способствует диспергированию кристаллов осаждаемого металла и насыщению покрытия сверхтвердыми частицами. В результате износостойкость, микротвердость, адгезия покрытий и их коррозионная стойкость существенно повышаются [1].

Улучшение триботехнических свойств пар трения скольжения при формировании покрытий методом деформационного плакирования гибким инструментом (далее — ДПГИ), где слой покрытия на поверхности детали формируется за счет переносимых ворсом вращающейся металлической щетки (ВМЩ) микрочастиц материала-донора, имело место и при формировании покрытий из композиционных доноров, полученных путем спекания порошковых смесей на основе меди и бронзы с легирующими добавками порошков графита и алмазно-графитной шихты — УДАГ (ТУ РБ 28619110.001-95) производства НПО «Синта» (Беларусь) [2]. Однако до настоящего времени не проводилось сопоставление химических составов материалов доноров и сформированных из них методом ДПГИ покрытий, что затрудняет как количественную оценку перенесенных ворсом ВМЩ легирующих элементов, так и прогнозную оценку эксплуатационных свойств сформированных слоев покрытий.

Цель исследований заключалась в сравнительной оценке и сопоставлении химических составов композиционного материала-донора и сформированного из этого материала методом ДПГИ слоя покрытия.

*Методика исследований.* Анализ химического состава материала-донора, а также сформированного методом ЭДПГИ из этого материала слоя покрытия проводили на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) высокого разрешения Vega фирмы Tescan (Чехия) с энергодисперсионным спектрометром INCAEnergy 350 с использованием детектора вторичных электронов (SE) и детектора обратно отраженных электронов (BSE).

При этом для изучения химического состава слоя покрытия использовались прямоугольные пластинки размером  $20 \times 50 \times 3$  мм из стали 45 (HRC 43...50) на одной из поверхностей которых методом ДПГИ формировали покрытия (рисунок 1, б) с толщиной слоя 10...12 мкм из донора, представляющего собой композит на основе бронзы Бр05С5Ц5Гр1ДМ0,5 (рисунок 1, а), полученный путем спекания смеси порошков меди (83,5 %), с легирующими добавками олова (5 %), свинца (5 %), цинка (5 %) и компонентов твердой смазки — графита (1 %) и дисульфида молибдена (0,5 %).

Формирование покрытий осуществляли с использованием цилиндрической щетки диаметром 200 и шириной 30 мм (производства фирмы OSBORN, Германия) с ворсом из гофрированной стальной проволоки. Вылет и диаметр ворса щетки составляли 30 и 0,25 мм соответственно. Линейная скорость вращения щетки — 32...35 м / с. Число проходов — 8 при натяге ворса щетки к поверхности образца 1,0 мм.

Химический состав поверхностных слоев оценивался при анализе предварительно зафиксированного рентгенофлуоресцентного спектра, полученного при облучении поверхности образцов потоком высокоскоростных электронов и регистрации спектра детектором энергодисперсионного спектрометра. Качественный (наличие определенных химических элементов на исследуемой поверхности) и полуколичественный (процентное содержание найденных химических элементов, определенных методом фундаментальных параметров, без использования стандартных образцов состава) анализ химического состава осуществлялся с использованием специализированного программного обеспечения, поставляемого совместно с энергодисперсионным спектрометром INCAEnergy 350 [3].

Сопоставление химических составов материала-донора и сформированного из этого материала методом ДПГИ слоя покрытия показало, что медь (матричный материал спеченного композита), а также легирующие добавки на основе металлов (цинк, олово, свинец) и неметаллов (графит и дисульфид молибдена) идентифицируются как в доноре, так и в покрытии (таблица 1).

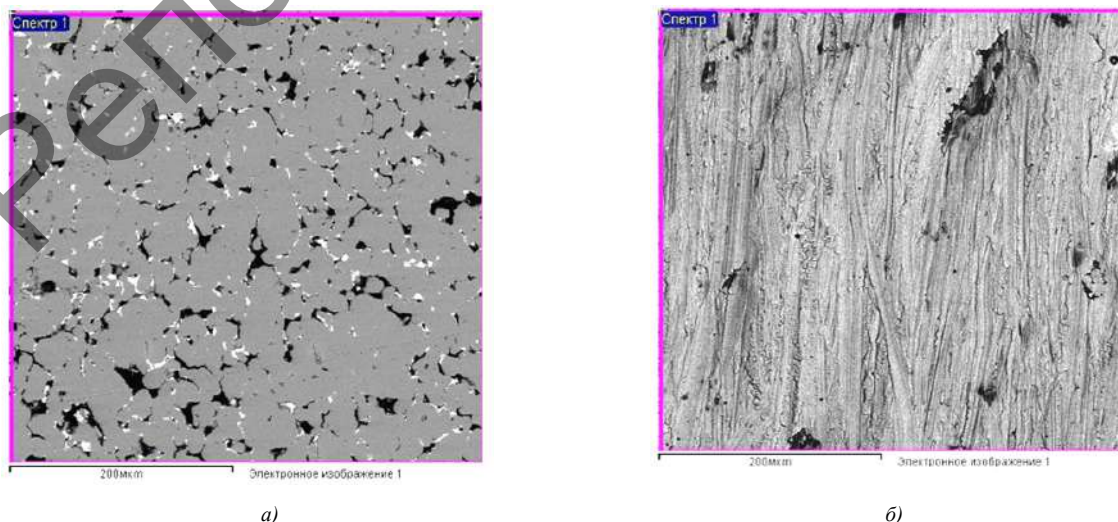


Рисунок 1 — СЭМ-изображение поверхности материала донора (а) и сформированного из этого материала поверхности покрытия (б)

Т а б л и ц а 1 — Химический состав материала-донора Br05C5Ц5Гp1DM0,5 и сформированного из этого материала методом ДПГИ слоя покрытия

Материал	C	O	Fe	S	Cu	Zn	Mo	Sn	Pb
Донор	17,31			0,35	70,55	4,75	0,55	3,54	2,95
Покрытие	3,18	3,1	7,52		73,92	5,02	0,52	3,33	3,41

При этом количественное соотношение меди, олова и дисульфида молибдена примерно одинаковое. Некоторое превышение содержания меди, цинка, свинца, а также пониженное содержание углерода (графита) в слое покрытия, по-видимому, связаны с особенностями как процесса спекания материала донора, так и процесса формирования слоя покрытия ворсом ВМЩ.

Наличие железа (Fe) в слое покрытия объясняется известными данными о том, что в процессе плакирования в состав покрытия неизбежно привносятся как частички материала ворса щетки, так и частички материала стальной основы образца. В то же время механизм попадания кислорода (O) в слой плакированного покрытия пока не нашел достаточных объяснений.

**Заключение.** При формировании антифрикционных покрытий методом ДПГИ из композиционных материалов-доноров входящие в их состав легирующие добавки как металлического, так и неметаллического происхождения переносятся ворсом ВМЩ в состав слоя сформированного покрытия примерно в одинаковом количестве, что создает хорошие предпосылки для улучшения его эксплуатационных свойств за счет подбора составов и количества легирующих элементов при изготовлении материалов доноров.

#### Список цитируемых источников

1. Долматов, В. Ю. Ультрадисперсные алмазы детонационного синтеза как основа нового класса композиционных металл-алмазных гальванических покрытий / В. Ю. Долматов, Г. К. Буркат // Сверхтвердые материалы. — 2000. — № 1. — С. 84—95.
2. Триботехнические свойства тонких металлических покрытий с наноразмерными наполнителями / П. А. Витязь [и др.] // Трение и износ. — 2004. — Т. 25, № 6. — С. 593—601.
3. Лосев, Н. Ф. Основы рентгеноспектрального флуоресцентного анализа / Н. Ф. Лосев, А. Н. Смагунова — М.: Химия, 1982. — 207 с.

УДК 621.926

О. И. Наливко<sup>1</sup>, Л. А. Сиваченко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи

<sup>2</sup>Государственное учреждение высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет», Могилев

## ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПРОВОЛОЧНЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЬНЫХ МАШИН

**Введение.** Анализ развития технических систем для дезинтегральной обработки дисперсных материалов показывает, что главными факторами, определяющими их эффективность, являются способность воздействовать на исходные системы по методу индивидуального зерна и создание в них максимальных контактных напряжений, что обеспечивается корреляцией размеров разрушаемых объектов и измельчительных органов [1].

Важным свойством для измельчительного оборудования нового поколения является обеспечение их адаптивности к переработке различных по своим характеристикам сред.

Учитывая предыдущие исследования [2; 3], одним из вариантов технического решения некоторых проблем измельчения механическим способом может быть использование в качестве измельчающих элементов упругих стержней, концы которых, с одной стороны, жёстко закреплены, а с другой — осуществляют воздействие на обрабатываемый материал торцевыми частями консольных концов.

Ближайшими конструктивными аналогами являются широко применяемые в технике щётки и иглофрезы. Их основная функция состоит в реализации сдвиговых воздействий на обрабатываемые поверхности для их очистки, снятия поверхностных слоев материала или финишной отделки. По доступной информации использование щёточного и иглофрезерного инструментов для изготовления измельчительных устройств промышленного назначения не найдено.

**Основная часть.** На основании теоретических исследований и с использованием методов моделирования была разработана конструкция валкового измельчителя, схема которого приведена на рисунке 1.

Предлагаемая конструкция способствует повышению эффективности рабочего процесса путём увеличения зоны измельчения материала и применения щеки с возможностью регулирования зазора в зоне обработки.