11. Пат. на корис. мод., № 21897 Україна МПК СО1 В 31/06, СО1 В 31/04, СО1 В 33/025, СО4 В 35/52, СО4 В 35/573. Спосіб одержання композиційного матеріалу на основі алмазу / О. О. Шульженко, В. Г. Гаргін, Н. О. Русінова. – Опубл. 10.04.07, Бюл. № 4.
12. Марків В. Я., Бєлявіна Н. М. // Апаратно-програмний комплекс для дослідження полікристалічних речовин за їх дифракційними спектрами // Тез. доп. II міжнар. конф. «КФМ 97». – Львів, 1997. – С. 260–261.
13. Глазов В. М., Вигдорович В. Н. Микротвердость металлов и полупроводников. – М.: Металлургия, 1969. – 248 с.
14. Шульженко А. А., Розенберг О. А., Соколов А.Н. Влияние высоких давлений и температур на структуру монокристалла сапфира // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2009. – Вып. 12. – С. 251–256.
15. Игнатов Ю. Оптические свойства синтетического сапфира // web: http:// www.abitu.ru /en2002/closed/viewwork.html?thesises=143.
16. Влияние анизотропии сапфира на иммунологические, трибологические и прочностные характеристики материала / О. А. Розенберг, А. А. Шульженко, С. В. Сохань, В. В. Возный, А. Н. Соколов // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2007. – № 2. – С. 32–39.

Поступила 01.07.10

УДК 621.921

С. А. Кухаренко, канд. техн. наук; **В. И. Лавриненко,** д-р. техн. наук;
А. А. Девицкий, Е. А. Барановская

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СТЕКЛОПОКРЫТИЙ ДЛЯ ПОРОШКОВ CBN

Laws of interrelation of physical and chemical and physic mechanical properties glasscovering on powders cBN with their operational characteristics are determined.

Введение

При нанесении стеклопокрытий на порошки алмаза и cBN наиболее пригодны легкоплавкие силикатные стекла с различной температурой трансформации, расплавы которых имеют высокую смачивающую способность и адгезию к абразивным порошкам, что является обязательным условием при формировании покрытий из расплавов стекол [1; 2].

Стеклопокрытия на порошках сверхтвердых материалов (СТМ) должны обеспечивать высокую износостойкость изготовленного из них инструмента, качество обрабатываемой поверхности, высокую производительность при обработке труднообрабатываемых материалов, в отличие от инструмента из cBN без покрытия, образующего на обрабатываемой поверхности прижоги, что приводит к браку изделия.

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве объектов исследования использовали стекла двух систем: силикатной (Na_2O–CaO–B_2O_3–TiO_2–SiO_2) и свинцовой (PbO–ZnO–B_2O_3–SiO_2). В отличие от стекол свинцовой системы стекла силикатной системы имеют более высокие физико-механические свойства. Вместе с тем они более тугоплавки и температура их трансформации (T_q) на 200–300 °С выше, чем температура трансформации стекол свинцовой системы, естественно, что температура и энергозатраты при спекании рабочего слоя инструмента в первом случае будет выше, чем во втором. Использование смеси стекол обоих систем позволяет без повышения темпера-

туры спекания сохранять довольно высокие физико-механические свойства композиций (как для более тугоплавкого стекла). При термообработке таких стекол первое, более тугоплавкое, растворяется во втором, легкоплавком. С повышением температуры количество растворенного стекла увеличивается и образуются псевдокомпозиты с более высокими физико-механическими свойствами, чем у исходных стекол. Это обусловливается различием характера релаксационных и диффузионных процессов в индивидуальных стеклах и их смесях. В таких системах развиваются интенсивные ионнообменные процессы, движущей силой которых является стремление выровнять концентрацию ионов по обе стороны межфазной границы.

Для расширения области применения композитов из стеклокристаллических материалов постоянно требуется использование материалов с улучшенным комплексом свойств. В целях регулирования свойств композитов в их состав, как правило, вводят наполнители [3].

В настоящей работе в качестве наполнителей использовали дисперсные тугоплавкие оксиды Al_2O_3, TiO_2 и ZrO_2, которые не образуют стекол, но при растворении в стеклах не ослабляют, а упрочняют стеклообразную сетку, следовательно, получаются композиты с повышенными физико-механическими свойствами и улучшенными эксплуатационными характеристиками, поддающимися регулированию.

Для установления влияния технологических параметров формирования абразивсодержащих стеклокомпозиционных материалов на работоспособность инструмента изготовляли агрегаты из порошков кубонита марки КР 125/100, смеси стекол двух систем Na_2O–CaO–B_2O_3–TiO_2–SiO_2 и PbO–ZnO–B_2O_3–SiO_2 и модифицирующих добавок тугоплавких оксидов циркония, титана и алюминия в количестве 10, 20 и 30 мас. %. Затем из агрегатов изготовляли шлифовальные круги формы 12А2-45º 125х5х3х32 с различным режущим слоем на опытной полимерной связке ВР и испытывали их при обработке образцов быстрорежущей стали Р6М5.

Испытания шлифовальных кругов проводили в отделе № 3 Института сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины на модернизированном стенде на базе станка 3В642. Режим обработки установили следующий: скорость вращения круга – 15 м/с, продольная подача – 0,3–2 м/мин, глубина шлифования – 0,05 мм/дв. ход.

В процессе испытаний определяли следующие эксплуатационные характеристики: режущую способность круга (мм^3/мин), относительный расход кубонита (мг/г), эффективную мощность шлифования (кВт), шероховатость обработанной поверхности, наличие прижогов на обработанной поверхности.

Характеристики кругов и результаты испытаний приведены в таблице.

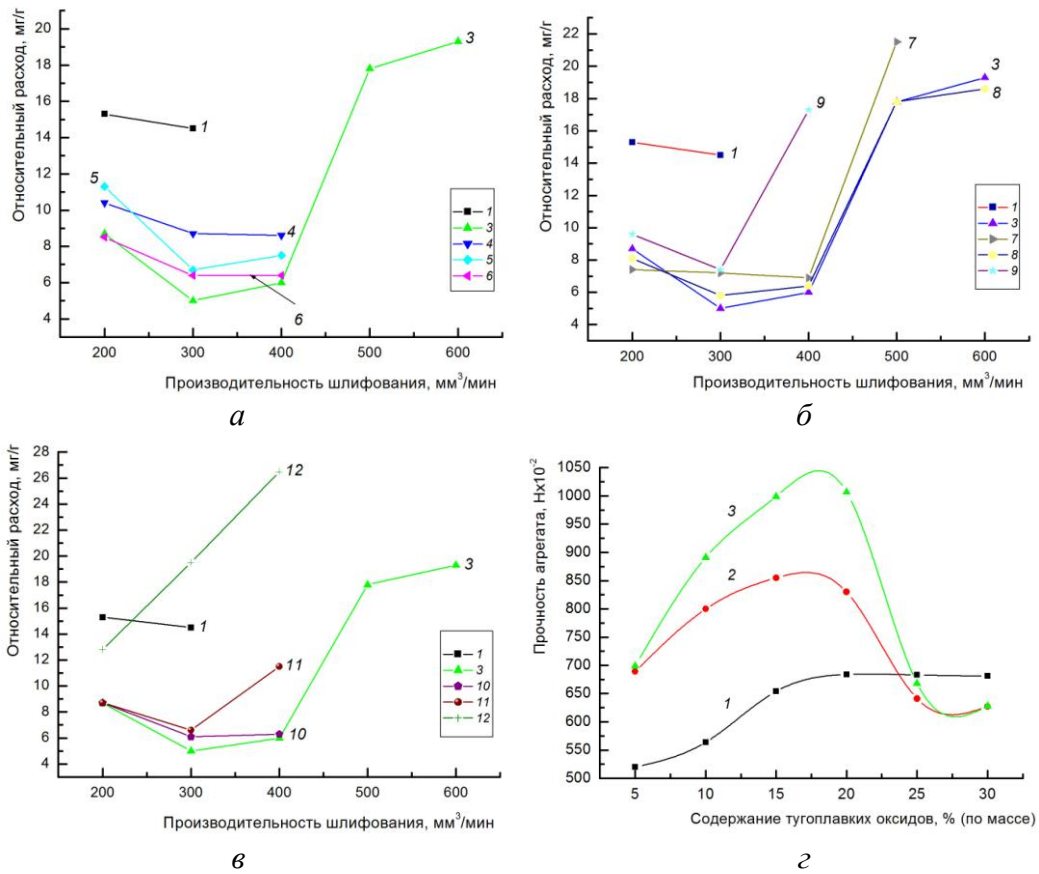
Результаты анализа испытаний эксплуатационных свойств кругов, изготовленных из кубонита марки КР 125/100 без покрытия и с различными видами стеклопокрытий (см. таблицу), показали, что по сравнению с кругами из кубонита без покрытия, обеспечивающими безприжоговое шлифование стали Р6М5 без охлаждения до производительности шлифования 300 мм^3/мин, применение кругов из кубонита с покрытием С10 (смесь стекол систем Na_2O–CaO–B_2O_3–TiO_2–SiO_2 и PbO–ZnO–B_2O_3–SiO_2 с добавлением 10 мас. % TiO_2) позволяет повысить производительность безприжогового шлифования до 400 мм^3/мин, кругов из кубонита с покрытием С1 (смесь стекол систем Na_2O–CaO–B_2O_3–TiO_2–SiO_2 и PbO–ZnO–B_2O_3–SiO_2) – до 500 мм^3/мин.

В то же время наиболее эффективны круги из кубонита с покрытием С8 (смесь стекол систем Na_2O–CaO–B_2O_3–TiO_2–SiO_2 и PbO–ZnO–B_2O_3–SiO_2 с добавлением 20 мас. % TiO_2), с применением которых производительность безприжогового шлифования повышается в 2 раза (до 600 мм^3/мин). Наименее пригодны круги из кубонита с покрытием С13 (смесь стекол систем Na_2O–CaO–B_2O_3–TiO_2–SiO_2 и PbO–ZnO–B_2O_3–SiO_2 с добавлением 30 мас. % $A1_2O_3$).

Для наглядности относительный расход кубонита КР 125/100 со стеклопокрытиями на основе смеси стекол с добавлением каждого тугоплавкого оксида отдельно показан на рисунке. Для сравнения приведена прочность агрегатов, формирующихся из смеси стекол с добавлением оксидов Al_2O_3, ZrO_2, TiO_2 от их содержания в смеси [2].

Характеристики кругов и работоспособность инструмента из кубонито-стеклянных агрегатов при обработке быстрорежущей стали Р6М5

Характеристика круга	Производительность шлифования, мм^3/мин	Относительный расход СТМ, мг/г	Эффективная мощность шлифования, кВт	Шероховатость обработанной поверхности *R*a, мкм	Прижоги на обработанной поверхности
12А2-45º 125х5х3х32 КР 125/100 (без покрытия) – 100 % ВР	200	15,3	0,10	0,66	–
	300	14,5	0,21	1,12	Сильный
12А2-45º125х5х3х32 КР 125/100 С (свинцовое стекло) – 100 % ВР	200	8,0	0,08	0,47	–
	300	5,4	0,11	1,10	Слабый
	400	6,1	0,15	1,08	Средний
	500	23,2	0,25	1,11	Сильный
12А2-45° 125х5х3х32 КР 125/100 С1 (стекла двух систем) – 100 % ВР	200	8,7	0,07	0,60	–
	300	5,0	0,10	1,27	–
	400	6,0	0,12	1,07	–
	500	17,8	0,22	1,11	Средний
	600	19,3	0,25	0,71	Сильный
12А2-45º 125х5х3х32 КР 125/100 С3 (стекла двух систем +10 % ZrO_2) – 100 % ВР	200	10,4	0,07	0,74	–
	300	8,7	0,12	1,04	Средний
	400	8,6	0,17	1,15	Средний
12А2-45° 125х5х3х32 КР 125/100 С6 (стекла двух систем +20 % ZrO_2) – 100 % ВР	200	11,3	0,07	0,66	–
	300	6,7	0,12	1,07	Средний
	400	7,5	0,16	1,15	Средний
12А2-45°125х5х3х32 КР 125/100 С7 (стекла двух систем +30 % ZrO_2) – 100 % ВР	200	8,5	0,07	0,51	–
	300	6,4	0,10	1,16	Средний
	400	6,4	0,14	1,16	Средний
12А2-45° 125х5х3х32 КР 125/100 С10 (стекла двух систем +10 % TiO_2) – 100 % ВР	200	7,4	0,07	0,82	–
	300	7,2	0,09	1,20	–
	400	6,9	0,14	1,24	Средний
	500	21,5	0,20	1,10	Средний
12А2-45° 125х5х3х32 КР 125/100 С8 (стекла двух систем +20 % TiO_2) – 100 % ВР	200	8,1	0,07	0,87	–
	300	5,8	0,10	0,95	–
	400	6,4	0,13	1,10	–
	500	17,8	0,22	1,08	–
	600	18,3	0,27	0,70	Средний
12А2-45° 125х5х3х32 КР 125/100 С9 (стекла двух систем +30 % TiO_2) – 100 % ВР	200	9,6	0,09	0,96	–
	300	7,4	0,12	0,84	Средний
	400	17,3	0,20	1,10	Средний
12А2-45° 125х5х3х32 КР 125/100 С11 (стекла двух систем +10 % Al_2O_3) – 100 % ВР	200	8,7	0,10	0,65	–
	300	6,1	0,11	0,97	Слабый
	400	6,3	0,15	0,77	Средний
12А2-45° 125х5х3х32 КР 125/100 С12 (стекла двух систем +20 % Al_2O_3) – 100 % ВР	200	8,7	0,12	0,64	–
	300	6,6	0,12	0,97	Средний
	400	11,5	0,17	0,71	Сильный
12А2-45° 125х5х3х32 КР 125/100 С13 (стекла двух систем +30 % Al_2O_3) – 100 % ВР	200	12,8	0,10	0,60	Слабый
	300	18,3	0,13	1,03	Средний
	400	26,5	0,23	0,76	Сильный



Зависимости относительного расхода (а–в) для шлифпорошков кубонита КР 125/100 без покрытия (1) и со стеклопокрытием, формирующимся из смеси стекол в системах Na_2O–CaO–B_2O_3–TiO_2–SiO_2 и PbO–ZnO–B_2O_3–SiO_2 (3), а также смеси с добавлением тугоплавких оксидов ZrO_2 (а): 10 (4), 20 (5), 30 мас. % (6); TiO_2 (б): 10 (7), 20 (8), 30 мас. % (9); Al_2O_3 (в): 10 (10), 20 (11), 30 мас. % (12) от производительности шлифования и прочности агрегатов (г) для указанных шлифпорошков, формирующихся из смеси стекол с добавлением тугоплавких оксидов Al_2O_3 (1), ZrO_2 (2), TiO_2 (3) от их содержания в смеси при температуре 650 ºС

Как видим из данных рисунка (*а*), по сравнению с кругами из кубонита без покрытия, которые обеспечивают безприжоговое шлифование стали Р6М5 без охлаждения до производительности шлифования 300 мм^3/мин, износостойкость кругов из кубонита с добавлением ZrO_2 в 1,5–2 раза выше, что позволяет повысить производительность безприжового шлифования до 400 мм^3/мин.

По сравнению с кубонитом со стеклопокрытием на основе смеси стекол без добавок (С1) относительный расход кубонита с добавлением 10, 20 и 30 мас. % ZrO_2 (соответственно С3, С6 и С7) находится на таком же уровне при производительности шлифования 200–400 мм^3/мин.

Как следует из рисунка (*б*) круги из кубонита с добавлением 10–20 мас. % TiO_2 (соответственно С10 и С8) в диапазоне производительности шлифования 200–400 мм^3/мин имеют износостойкость в 2,4–2,6 раза выше, чем круги из кубонита без покрытия. Круги из кубонита со стеклопокрытием с добавлением 30 мас. % TiO_2 (С9) при производительности шлифования до 400 мм^3/мин имеет низкую износостойкость и при дальнейшем повышении производительности обработки дают сильные прижоги. Круги из кубонита со стеклопокрытием с добавлением 10 мас. % TiO_2 (С10) работают при производительности обработки до 500 мм^3/мин, с добавлением 20 мас. % TiO_2 (С8) – до 600 мм^3/мин без прижогов. При производи-

тельности шлифования 600 мм^3/мин относительный расход кубонита с добавлением 20 мас. % TiO_2 (С8) ниже, чем кубонита со стеклопокрытием на основе смеси стекол без добавок (С1).

Также из рисунка (*в*) следует, что износостойкость кругов из кубонита с добавлением 10 и 20 мас. % $A1_2O_3$ (соответственно С11 и С12) при производительности шлифования 200–400 мм^3/мин в 1,3–2,4 раза выше износостойкости кругов из кубонита без покрытия. Износостойкость кругов из кубонита с покрытием С13 (добавление 30 мас. % $A1_2O_3$) также выше, чем кругов из кубонита без покрытия. Введение в стеклопокрытие 30 мас. % оксида алюминия приводит к значительному уменьшению жидкой фазы и покрытию низкого качества.

Исследование износостойкости порошков кубонита со стеклопокрытиями тесно связано с исследованием прочности агрегатов. Как видим из рисунка (*г*), наивысшей прочности агрегаты, сформированные из смеси стекол в системах Na_2O–CaO–B_2O_3–TiO_2–SiO_2 и PbO–ZnO–B_2O_3–SiO_2 достигают при введении 20 мас. % добавки тугоплавкого оксида TiO_2 (покрытие С8 с наивысшей износостойкостью и производительностью обработки). С уменьшением процентного содержания оксида титана в смеси стекол до 10 мас. % прочность стеклоагрегатов (покрытие С10) становится ниже, чем при 20%-м содержании. Износостойкость таких порошков кубонита и производительность шлифования также ниже. При увеличении содержания добавки TiO_2 до 30 мас. %, прочность агрегатов (покрытие С9) резко снижается. Производительность шлифования также снижается в 1,5 раза.

Прочность стеклоагрегатов с добавкой ZrO_2 (на рисунке *г*) ниже, чем с добавкой TiO_2, в 1,3 раза, производительность обработки (покрытия С3, С6) – ниже в 1,5 раза. Прочность стеклоагрегатов с добавкой Al_2O_3 (покрытия С11, С12) имеет такую же тенденцию, как и с добавкой ZrO_2.

Таким образом, в результате сравнения износостойкости кругов установили, что наиболее износостойкими являются круги из кубонита со стеклопокрытием С8 (добавка 20 мас. % TiO_2). Такие стеклоагрегаты также наиболее прочны. Далее по мере снижения износостойкости: круги со стеклопокрытиями С1 (смесь стекол в системах Na_2O–CaO–B_2O_3–SiO_2 и PbO–ZnO–B_2O_3–SiO_2), С10 (добавление 10 мас. % TiO_2) и С (стекло системы PbO–ZnO–B_2O_3–SiO_2). Наименее износостойкие круги с покрытием С13 (добавление 30 мас. % $A1_2O_3$).

Результаты сравнения шероховатости обработанной поверхности (см. таблицу) при различной производительности шлифования (в одном диапазоне – 200–400 мм^3/мин) показали, что круги из кубонита с покрытиями С11 и С12 (с добавлением соответственно 10 и 20 мас. % $A1_2O_3$) обеспечивают наименьшую шероховатость по сравнению с другими покрытиями, причем при производительности обработки 400 мм^3/мин снижение шероховатости R_a довольно существенное и достигает 1,8–1,4 раза, в числовом выражении – с 1,24–1,08 до 0,72–0,78 мкм. Наименьшую шероховатость имеют круги с покрытием С10 (с добавлением 10 мас. % TiO_2).

Таким образом, результаты испытаний позволяют рекомендовать при производительном шлифовании (до 600 мм^3/мин) быстрорежущей стали Р6М5 круги из кубонита со стеклопокрытием С8 (наполнитель – 20 мас. % TiO_2), при доводочном шлифовании (при производительности 200–400 мм^3/мин) с обеспечением низкой шероховатости поверхности – круги из кубонита со стеклопокрытиями С11 и С12 (с добавлением соответственно 10 и 20 мас. % $A1_2O_3$).

Выводы

Установлены закономерности связи физико-химических и физико-механических свойств кубонитсодержащих композитов инструментального назначения на основе стеклообразующих систем с дисперсными тугоплавкими наполнителями Al_2O_3, TiO_2, ZrO_2 с его эксплуатационными характеристиками в зависимости от вида наполнителя. Показано, что по сравнению с серийными аналогами стеклокомпозиты с добавлением диоксида титана в качестве наполнителя обеспечивают повышение производительности безприжогового шлифования труднообрабатываемых материалов в 2 раза и износостойкости – в 2,5–3 раза. Стеклокомпозиты с добавлением оксида алюминия обеспечивают наименьшую шероховатость

обработанной поверхности при доводочном шлифовании (шероховатость R_a в 2 раза ниже шероховатости серийных аналогов).

Разработанные композиционные материалы на основе смеси стекол с различной температурой трансформации в системах $Na_2O–CaO–B_2O_3–TiO_2–SiO_2$ и $PbO–ZnO–B_2O_3–SiO_2$ с дисперсными тугоплавкими наполнителями Al_2O_3, TiO_2, ZrO_2 широко применяются как керамические связки абразивного инструмента из cBN при высокопроизводительной обработке стальных изделий различного функционального назначения, а также как стеклопокрытия шлифпорошков cBN с высокими эксплуатационными свойствами для изготовления инструментов на полимерной связке.

Литература

1. Шило А. Е. Стеклопокрытия для порошков сверхтвердых материалов. – К.: Наук. думка, 1988. – 208 с.
2. Кухаренко С. А., Шило А. Е. Упрочнение абразивсодержащих стеклокомпозиционных материалов дисперсными тугоплавкими наполнителями // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения. – К.: Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины. – 2009. – Вып. 12. – С. 455–459.
3. Кухаренко С. А., Шило А. Е., Иценко П. И. Взаимодействие кубического ZrO_2, стабилизированного добавкой Y_2O_3, с расплавами легкоплавких оксидных стекол // Синтез, спекание и свойства сверхтвердых материалов: Сб. науч. тр. (Сер. Материаловедение) / Отв. ред. Н. В. Новиков. – К., 2010. – С. 155–163.

Поступила 31.05.10

УДК 621.922.02

Т. М. Дуда, канд. техн. наук; **С. А. Кухаренко,** канд. техн. наук;
В. В. Шатохин, А. Г. Довгань, Л. Д. Хрипкова

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ ТУГОПЛАВКИХ СПЛАВОВ НА АЛМАЗАХ

The analysis of theoretical foundations of electrochemical separation of refractory elements (tungsten and molybdenum) from aqueous solutions of electrolytes and practical production of refractory alloys (nickel-tungsten and nickel-molybdenum) for diamond grit's metal coatings is shown. The influence of current load on the metallization degree and alloy output current is established. The structure of the surface coatings, their composition and effect of composition on the dynamic strength of coated diamond powders are defined. The areas for further work on granulation of high-strength metal-coated diamond grits and the creation of heterogeneous wear-resistant metal-diamond structures are identified.

Введение

Получение покрытий для порошков абразивных сверхтвердых материалов (СТМ) с новыми физико-механическими свойствами является актуальной задачей в совершенствовании технологических процессов изготовления инструментов, обработки различных конструкционных материалов, природных и искусственных строительных материалов, бурения горных пород и т. д. [1; 2]. Используемые в таких инструментах высокопрочные алмазные порошки размером 0,4–0,5 мм подвергаются большим циклическим нагрузкам и интенсив-