

Инструмент, порошки, пасты

УДК 621.762:621.921.34

**А. И. Саградян^{1,*}, С. Г. Агбальян², А. М. Мартиросян²,
Н. А. Ордян¹, Х. В. Погосян²**

¹Армянский государственный педагогический университет
им. Х. Абовяна, г. Ереван, Армения

²Национальный политехнический университет Армении,
г. Ереван, Армения

*sahradyanartak34@aspu.am

Повышение ресурса работы алмазного инструмента для обработки неметаллических материалов

Выявлен и исследован механизм зарождения и формирования покрытий Ti–Cr на синтетических алмазных порошках марки HSD 90. Установлено, что металлизация осуществляется избирательно с залечиванием поверхностных дефектов (микротрещин, порогов и т. д.). Матричным металлом, формирующим покрытие в целом, является Ti, а Cr – легирующим элементом. Методом дериватографии исследована термостойкость металлизированных алмазных порошков. Установлено, что стойкость к окислению металлизированных алмазов по сравнению с исходными повышается на 40 °С, на границе покрытие–связка имеет место взаимная диффузия.

Ключевые слова: покрытие, алмаз, микротрещины, диффузия, металлизация.

ВВЕДЕНИЕ

Новые идеи в создании различных видов алмазно-абразивных инструментов для обработки неметаллических материалов (природных камней, керамики и т. д.) позволили разработать и внедрить технологии, которые обеспечивают надежность инструмента и качество выполняемых работ. Прогрессивные технологии синтеза на сегодня дают возможность получать высокопрочные синтетические алмазные порошки марки АС 200 и выше, успешно заменяющие природные, поэтому основную часть инструментов, применяемых для обработки неметаллических материалов, изготавливают из синтетических алмазных порошков [1].

Однако вместе с этим необходимо отметить, что при эксплуатации инструментов до 50 % зерен алмаза выпадают из связки, не отработав полностью

ресурс работы, что связано, во-первых, с неудовлетворительным закреплением зерна в матрице алмазного инструмента, т. е. слабой адгезией на границе алмаз–связка, во-вторых, с хрупким разрушением самих зерен алмаза вследствие их дефектности (поверхностных трещин, пор) и из-за распространения трещин в алмазных кристаллах под действием напряжений, возникающих при контакте с обрабатываемым материалом. Поэтому надежное зерноудержание высокопрочных алмазов в металлической матрице является гарантией значительного повышения эксплуатационных характеристик и срока службы режущего инструмента.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Вопросу зерноудержания посвящено много работ с различными технологическими решениями, такими как направленное увеличение степени дефектности поверхности зерен алмаза без снижения их прочности, легирование связки адгезионно-активными элементами, создание переходного слоя на зернах алмаза и т. п. [2–5].

Рациональным решением этой проблемы является металлизация алмазных порошков. Существуют много способов металлизации (электролитический, карбонильный, катодное напыление, химический и др.). Наиболее предпочтительным и перспективным, на наш взгляд, является газофазное нанесение покрытий и, прежде всего, из галогенидов, с обеспечением химического взаимодействия на контактной границе зерно–покрытие–связка.

Металл наносимого покрытия должен обладать адгезионной активностью к углероду (алмазу), обеспечивающей проникновение в места дефектов (микротрещины, каверны, узлы выхода дислокации и т. д.) зерен алмаза при плакировании, а также химическое взаимодействие материала покрытия с элементами металлической матрицы. Еще больший эффект имеет место при нанесении многокомпонентных покрытий [6, 7].

Эффективность работы алмазного инструмента зависит, главным образом, от качества связок, представляющих собою композиции металлов, легированные различными элементами или их соединениями, которые обеспечивают различную твердость матрицы. Требования, предъявляемые к связкам, весьма разнообразны и зависят в основном от вида обработки и обрабатываемого материала, но самое главное – связка должна обеспечивать работу инструмента в режиме самозатачивания.

Целью работы было изучение кинетики формирования металлического покрытия Ti–Cr на алмазных порошках марки HSD 90 зернистостью 500/400 мкм, исследование термостойкости металлизированных алмазных порошков, а также процессов, протекающих на границе покрытие–связка. В качестве связки была использована композиция на основе медь–олово, легированная добавками железа, никеля, карбида бора и дробленой чугушной стружки [8].

Металлизацию алмазных порошков осуществляли термодиффузионным насыщением из точечных источников в галогенсодержащих средах по способу, разработанному в [9].

В качестве плакирующих металлов использовали Cr, Ti, т. е. переходные карбидообразующие металлы с высокой адгезионной активностью к алмазу. Каждый из них может быть использован в качестве плакирующего элемента, при этом больший эффект характерен для многокомпонентных покрытий.

Стойкость алмазных порошков к термическим воздействиям исследовали с помощью дериватографического анализа.

Исследования морфологии и элементного состава поверхности образцов проводили методом сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионного рентгеновского микроанализа на сканирующем электронном микроскопе VEGA TS 5130 MM фирмы “Tescan” (Брно, Чешская Республика), оснащённом микроанализатором INCA Energy 300 фирмы “Oxford Instruments” (Великобритания).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как было сказано выше, на поверхности синтетических алмазов имеются дефекты – поверхностные микротрещины, пороги, поры и т. д. (рис. 1), а металлизация “залечивает” микротрещины, микросколы и другие дефекты на поверхности алмазного зерна (рис. 2). Изображение, представленное на рис. 2, б, получено в режиме детектирования отраженных электронов (белые точки и линии – металлическое покрытие).

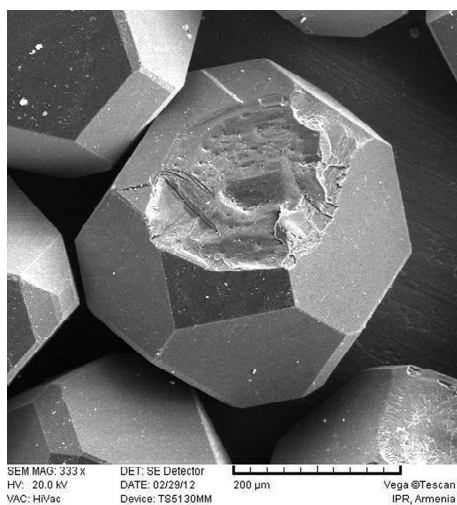
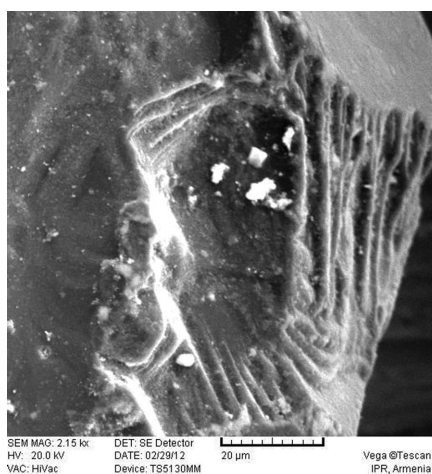


Рис. 1. Вид поверхности зерен алмазного порошка марки HSD 90 зернистостью 500/400 мкм, $\times 333$.



а



б

Рис. 2. Фрактограмма поверхности металлизированного зерна алмаза порошка марки HSD 90 зернистостью 500/400 мкм, $\times 2150$.

Выявлено, что уже на ранних стадиях металлизации (время нанесения покрытия – 20 мин) металл покрытия в основном находится на дефектных участках, так как там наибольшее число “разорванных” (ненасыщенных) связей атомов углерода.

Происходит так называемая “цементация”, когда металл покрытия, проникая в трещины и поры, на атомарном уровне вступает в химическое взаимодействие с углеродом, повышает прочность дефектных алмазов, а следовательно улучшает работоспособность инструмента.

Фрактограмма покрытия на поверхности алмазного зерна представлена на рис. 3. После завершения процесса плакирования полученное покрытие равномерно по толщине (см. рис. 3, *а*) и сформировано в точности по рельефу (см. рис. 3, *б*) алмазного зерна, заполняя все микронеровности его поверхности.

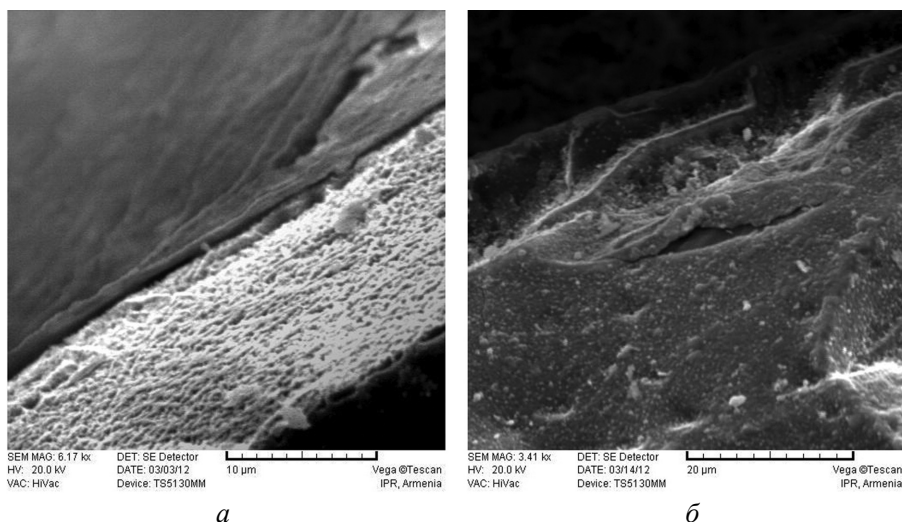


Рис. 3. Фрактограмма металлической пленки на поверхности алмазного зерна порошка марки HSD 90 зернистостью 500/400 мкм; $\times 6170$ (*а*), $\times 3410$ (*б*).

Попытки определения толщины слоев покрытия и их стехиометрического состава с помощью программы StrataGem для многослойной структуры покрытие–алмаз не дали положительного результата, поскольку полученные слои были очень тонкими (десятьки нанометров), а покрытия имели размытые границы (например, постепенный переход от Ti к TiC и затем к алмазу). Этот факт особо существенен при расчетах с участием супертонких слоев.

С целью изучения стойкости к термическим воздействиям был проведен комплекс дериватографических исследований алмазных порошков с титан-хромовым покрытием на воздухе и в защитной среде (аргон).

Дериватограмма металлизированных зерен алмаза на воздухе представлена на рис. 4.

Как следует из дериватограммы, термостойкость металлизированных порошков повышается на 40 °C (см. рис. 4, кривая ТГ) по сравнению с термостойкостью исходного (неметаллизированного) алмаза, исследованного в [10].

При температурах 190–400 °C на кривой ДТА четко видно несколько пиков, что, очевидно, соответствует удалению адсорбированных после техноло-

гической промывки паров спирта и других примесей. Указанное сопровождается незначительными потерями массы, что фиксируется кривой ТГ.

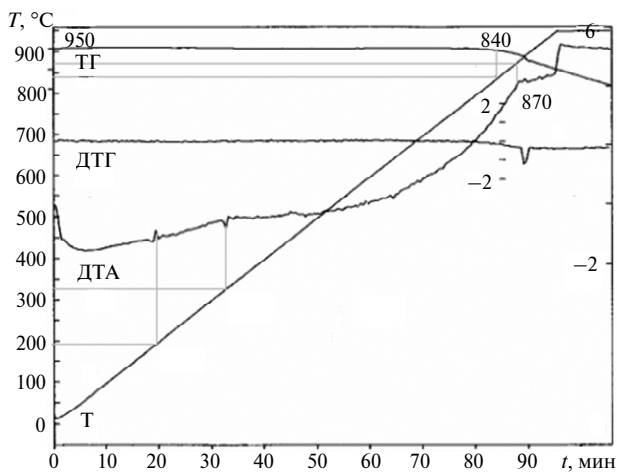


Рис. 4. Дериватограмма окисления зерен алмаза, металлизированных сплавом Ti–Cr.

С повышением температуры начинается процесс окисления алмаза, который сопровождается началом экзотермической реакции ДТА, убылью массы ТГ и увеличением скорости реакции ДТГ.

Несовпадение температур, при которых начинается убыль массы (см. рис. 4, кривая ТГ, 840 °С) и начало экзотермической реакции (см. рис. 4, кривая ДТА, 870 °С), связано с тем, что окисление металлизированных алмазных порошков является сложным процессом, при котором протекают также восстановительные реакции, т. е. одновременно накладываются противоположные эффекты.

Хорошее зерноудержание алмазов в связке является гарантией стойкости инструмента при работе. Поэтому для изучения процессов, происходящих на границе покрытие–связка, были проведены исследования характера распределения элементов в приграничной зоне между покрытием и металлической композицией (рис. 5).

Получены спектры характеристического рентгеновского излучения от всей поверхности зерна алмаза и выделенных участков (рис. 6).

В результате анализа сканограмм выявлено следующее:

- на границе металлизированный алмаз–связка шириной 2–3 мкм есть диффузионная зона, т. е. между элементами связки и покрытием существует химическая связь;
- элементы покрытия и компоненты связки распределены по поверхности образца равномерно;
- матричным элементом, формирующим покрытие в целом является Ti (интенсивность линий титана для всех участков максимальная), легирующим элементом – Cr.

Для выяснения влияния металлизации алмазов на эффективность работы инструментов были изготовлены с использованием металлической связки [8] две партии алмазных элементов (сегментов) размером 40×5×10 мм (алмазный порошок марки HSD 90, зернистостью 500/400 мкм) с исходными и металлизированными алмазами для отрезного круга Ø 500 мм.

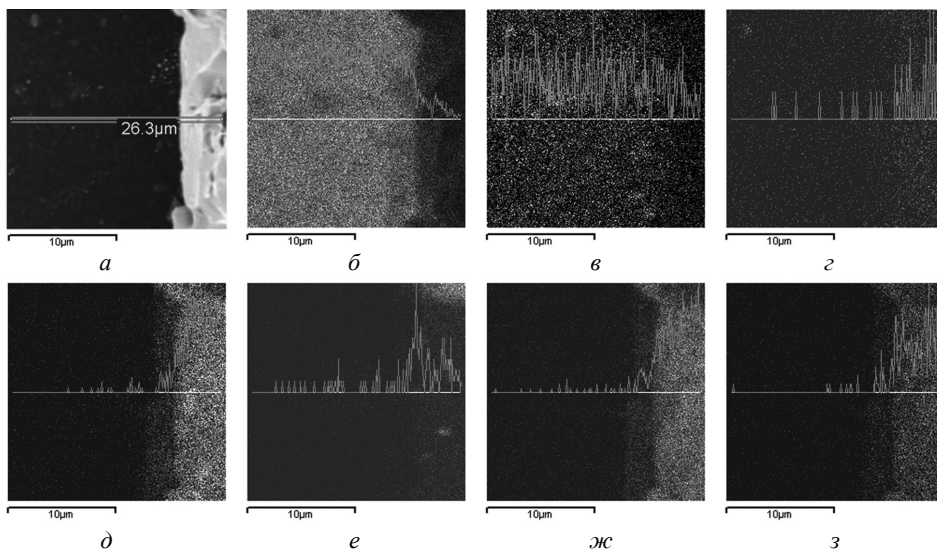


Рис. 5. Распределение элементов в поверхностном слое горячепрессованного образца из металлизированных алмазных порошков в зоне покрытие–связка: поверхность алмазного зерна в связке (*a*), распределение C (*б*), Ti (*в*), Cr (*г*), Cu (*д*), Fe (*е*), Sn (*ж*), Ni (*з*).

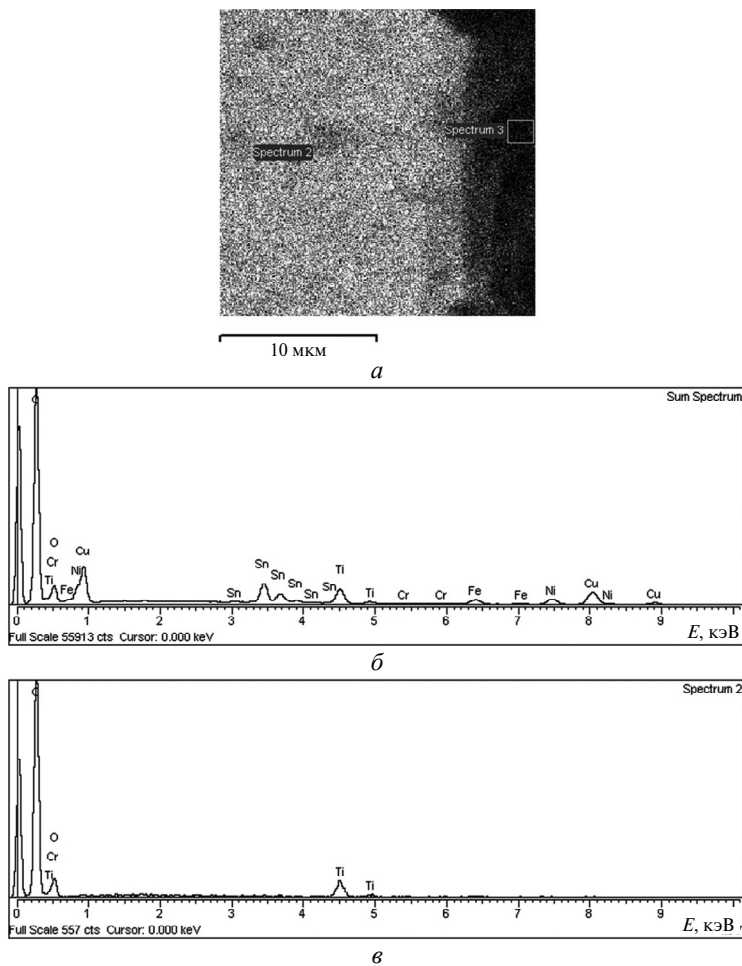
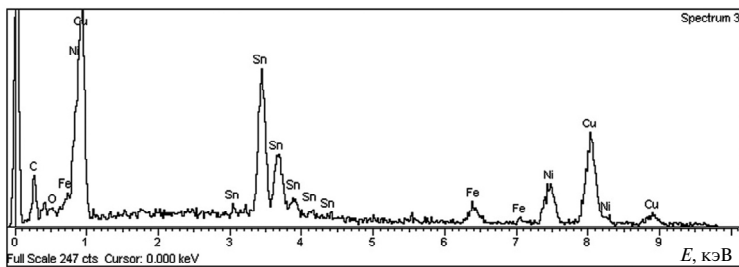


Рис. 6. Фрагмент алмазного зерна (*a*) и спектры характеристического рентгеновского излучения от всей поверхности зерна алмаза (*б*) и выделенных участков (*в*, *г*).



2
Рис. 6. (Продолжение).

Испытания проводили при резке гранита средней твердости. По результатам испытаний было установлено, что производительность кругов \varnothing 500 мм с элементами из металлизированных алмазов в 1,3 раза выше аналогичного показателя для кругов с элементами из исходных алмазов. Что касается износостойкости, то этот показатель был в 1,5 раза выше у круга с металлизированными алмазными порошками, чем с исходными.

ВЫВОДЫ

При исследовании механизма зарождения и формирования покрытий Ti–Cr на синтетических алмазных порошках HSD 90 установлено, что металлизация осуществляется избирательно с залечиванием поверхностных дефектов (микротрещин, порогов и т. д.). Матричным металлом, формирующим покрытие в целом является Ti, а легирующим элементом – Cr.

Исследование методами дериватографии термостойкости металлизированных алмазных порошков показало, что стойкость к окислению металлизированных алмазов по сравнению с исходными повышается на 40 °С, на границе покрытие–связка существует взаимная диффузия.

Промышленные испытания алмазных кругов \varnothing 500 мм с металлизированными и исходными алмазами показали, что эффективность работы инструмента с металлизированными алмазными порошками в 1,5 раза выше аналогичного показателя для инструмента с исходными алмазами.

Виявлено та досліджено механізм зародження і формування покриттів Ti–Cr на синтетичних алмазних порошках марки HSD 90. Встановлено, що металізація здійснюється вибірково з заліковуванням поверхневих дефектів (мікротріщин, порогів і т. д.). Матричним металом, що формує покриття в цілому, є Ti, а Cr – легуючим елементом. Методом дериватографії досліджено термостійкість металізованих алмазних порошків. Встановлено, що стійкість до окиснення металізованих алмазів в порівнянні з вихідними підвищується на 40 °С, на межі покриття–зв'язка має місце взаємна дифузія.

Ключові слова: покриття, алмаз, мікротріщини, дифузія, металізація.

A mechanism of nucleation and formation of Ti–Cr coatings on synthetic diamond powders of grade HSD 90 has been revealed and investigated. The metal deposition has been found to occur selectively and heal surface defects (microcracks, steps, etc.). Ti is the matrix metal that forms the coating as a whole, while Cr is the alloying element. Thermal stability of metal-coated diamond powders has been studied by derivatography. It has been found out that in comparison to non-coated powders the coated ones have the oxidation resistance increased by 40 °C and feature an interdiffusion at the coating–bond interface.

Keywords: coating, diamond, microcracks, diffusion, metal deposition.

1. ТУ У 28.4-05417344–2003. Шлифпорошки синтетических алмазов марок АС200, АС250, АС300, АС350, АС400. Технические условия. Введ. 01.09.03. – К.: Госстандарт Украины, 2003. – 10 с.
2. Новиков Н. В., Богатырева Г. П., Ильницкая Г. Д., Богданов Р. К., Невструев Г. Ф., Загора А. П., Исонкин А. М., Ткач В. Н., Зайцева И. Н. Повышение износостойкости бурового инструмента, оснащенного синтетическими алмазами // *Сверхтв. материалы*. – 2009. – № 1. – С. 83–92.
3. Кизиков Э. Д., Верник Е. Б., Кошевой Н. С. Алмазно-металлические композиции. – К.: Техніка, 1988. – 135 с.
4. Адгезия и контактное взаимодействие расплавов: Сб. науч. тр. / АН УССР. Ин-т пробл. материаловедения им. И. Н. Францевича; Редкол.: Ю. В. Найдич (отв. ред.) и др. – К.: Наук. думка, 1988. – 231 с.
5. Найдич Ю. В., Колесниченко Г. А., Лавриненко И. А., Моцак Я. Ф. Пайка и металлизация сверхтвердых инструментальных материалов. – К.: Наук. думка, 1977. – 188 с.
6. Найдич Ю. В., Уманский В. П., Лавриненко И. А. Прочность алмазometаллического контакта и пайка алмазов. – К.: Наук. думка, 1988. – 136 с.
7. Чистяков Е. М., Шепелев А. А., Дезде Т. М., Черных В. П. Инструмент из металлизированных алмазов. – К.: Наук. думка, 1982. – 204 с.
8. Пат. на изобретение РА, АМ 2100А2, В24D 3/00. Металлическая связка для изготовления алмазных инструментов / А. М. Мартиросян, Н. А. Ордян, А. Н. Казарян. – Заявл. 01.11.07; Оpubл. 26.05.08, Бюл. № 4 (81).
9. Пат. 1634362 SU, МПК В22F 1/02. Способ металлизации алмазных частиц для алмазно-абразивного инструмента / Н. Н. Манукян, А. Н. Казарян, А. П. Оганян, С. Г. Агбалян, В. О. Киришян. – Заявл. 22.02.89; Оpubл. 15.03.91.
10. Казарян А. Н., Агбалян А. С., Ордян Н. А. Оценка термостойкости алмазных порошков марки HSD 90 // *Вестник ГИУА (Политехник). Серия “Металлургия, материаловедение, недропользование”*. – 2012. – Вып. 15, № 1. – С. 50–55.

Поступила 22.03.17