

УДК 621.762.5 : 621.793.1

СТРУКТУРА И ПРОЧНОСТЬ МЕЖФАЗНОЙ ЗОНЫ ПРИ ТЕРМОХИМИЧЕСКОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ АЛМАЗА С ПЕРЕХОДНЫМИ МЕТАЛЛАМИ

© 2018 П.П. Шарин, М.П. Акимова

Институт Физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН, г. Якутск

Статья поступила в редакцию 16.02.2018

В статье приводятся результаты исследования особенностей формирования структуры межфазной зоны, образующейся при контактном термохимическом взаимодействии алмаза с переходными металлами – железом и титаном. При этом, температурно-временные режимы спекания контактных пар алмаз-металл соответствовали режиму работы вакуумной печи при спекании твердосплавных матриц алмазосодержащих инструментов с пропиткой медью. Для оценки прочности соединений контактных пар алмаз-металл были проведены испытания на сдвиг. Методами растровой электронной микроскопии, рентгеноспектрального микроанализа, рентгенофазового анализа и рамановской спектроскопии были изучены структура, фазовый состав, морфология поверхностей раздела. Установлено, что при контактном термохимическом взаимодействии алмаза с железом, на межфазной границе образуется тонкий слой металлокарбидного покрытия, прочно сцепленного с поверхностью алмаза. Толщина покрытия составляет ~1-3 мкм и состоит из фаз железа, карбида железа и локальных, точечных образований графита. На межфазной границе контактной пары алмаз-титан также было обнаружено образование металлокарбидного покрытия, состоящего из фаз титана и карбида титана, слабо сцепленного с поверхностью алмаза. Толщина покрытия составляет ~0,8-1 мкм, имеет плотную мелкозернистую структуру. Отсутствие графита как на поверхности алмаза, так и на поверхности таблетки титана указывает на то, что весь графит, образовавшийся в результате каталитического воздействия титана на алмаз, идет на формирование металлокарбидного покрытия. Полученные результаты могут быть использованы в разработке новых составов и технологий изготовления алмазных инструментов на основе твердосплавных порошковых смесей с повышенным алмазоудержанием.

Ключевые слова: алмаз, переходные металлы, адгезионное взаимодействие, межфазная зона, металлокарбидное покрытие, железо, титан, графит.

DOI: 10.24411/1990-5378-2018-00001

ВВЕДЕНИЕ

К основным факторам, определяющим стойкость и эффективность работы алмазных инструментов, кроме использования качественного алмазного сырья, относятся физико-механические свойства матрицы, их соотношение со свойствами алмаза и высокая прочность сцепления алмаза с матрицей инструмента [1–4]. Известно, что алмаз обладает химически инертными свойствами, поэтому в существующих композиционных алмазосодержащих материалах существует проблема слабого сцепления алмазного зерна с матрицей инструмента, что приводит к преждевременному вырыванию алмазных зерен, которые еще полностью не проработали свой ресурс. Для повышения прочности сцепления алмаза с матрицей используют различные металлы-добавки к матрице, также

способы металлизации алмаза [5–14]. Обзор и анализ работ, посвященных этой проблеме, показывает, что наиболее прочные связи с алмазом образуют переходные элементы, особенно, карбидообразующие металлы [7–14]. Несмотря на существующий обширный экспериментальный материал, закономерности формирования структурно-фазового состояния и физико-механических свойств переходной зоны, образующейся на межфазных границах алмаз-металл при нагреве в вакууме, остаются до конца не раскрытыми.

Цель работы – изучение взаимосвязи фазового состава, микроструктуры и прочности межфазной зоны, сформированной в процессе твердофазного взаимодействия алмаза с железом и титаном при тех же температурно-временных режимах нагрев-охлаждение в вакууме, что применяются при спекании твердосплавной матрицы инструмента с пропиткой медью. Также необходимо подобрать наиболее эффективные адгезионно-активные к алмазу металлы-добавки, способные обеспечить химическое сцепление алмаза с матрицей инструмента при её спекании с пропиткой медью.

Шарин Петр Петрович, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела физико-химии материалов и технологии.

E-mail: psharin1960@mail.ru

Акимова Мария Панfilovna, аспирант отдела физико-химии материалов и технологии.

E-mail: marIya_ak1mova@mail.ru

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для получения контактных пар алмаз-металл использовались кристаллы природного алмаза и таблетки порошков железа (ПЖВ4м.71.28, ГОСТ 9849-86) и титана (ПТЭС-1, ТУ 48-10-22-85) диаметром 6 мм, спрессованные под давлением 45-75 МПа. Кристаллы природного алмаза представляли собой круглые бриллианты с семнадцатью гранями, ограненные и отполированные в заводских условиях (сертифицированные бриллианты: кр-17, группа 4/2 и 4/3). Масса огранённых алмазов ~ 0,01 карат, их диаметр по рундисту $\sim 1,60 \pm 0,015$ мм. Кристаллы алмаза прозрачные и имеют слегка желтоватый оттенок.

Методика приготовления и получение соединений алмаз-металл путём нагрева в камере вакуумной печи СНВЭ-1.3.1/16И4 подробно описаны в работе [15]. При нагреве контактных пар алмаз-железо и алмаз-титан прикладывалась одинаковая нагрузка, равная 17,5 г. Нагрев контактных пар осуществлялся при температурно-временных режимах, соответствующих режиму спекания с пропиткой медью алмазносной матрицы на основе вольфрамкобальтовой порошковой смеси ВК. После завершения цикла нагрева печь выключалась, и образцы охлаждались вместе с печью. Спекшиеся образцы алмаз-металлическая таблетка подвергались разъединению методом сдвига при помощи специального устройства, описанного в [15]. При этом фиксировались усилия, необходимые для разрушения соответствующих контактных пар алмаз-металл и определялись прочности их соединения [15]. Каждые из поверхностей, полученные после разъединения образцов алмаз-металлическая таблетка, изучались методами РЭМ, рентгеноспектрального микроанализа, рентгенофазового анализа и рамановской спектроскопии [15].

Таблица 1. Результаты рентгенофазового анализа контактной пары алмаз-таблетка железа

Фаза	Поверхность кристалла алмаза	Поверхность таблетки железа
C (алмаз)	+	+
C (графит)	+	+
Fe	+	+
Fe ₃ C	+	+
Fe ₂ O ₃	-	+

Таблица 2. Результаты рентгенофазового анализа контактной пары алмаз-таблетка титана

Фаза	Поверхность кристалла алмаза	Поверхность таблетки титана
C (алмаз)	+	-
C (графит)	-	-
Ti	+	+
TiC	следы	+

Микротвердость металлических таблеток-образцов после отрыва алмаза измерена на приборе ПМТ-3 при нагрузке $\sim 0,49$ Н. Измерения микротвердости производили как участках поверхности таблеток, которые при нагреве имели непосредственный контакт с поверхностью алмаза, так и на участках, не соприкасавшихся при нагреве с алмазом. Значения микротвердости усредняли по 5 измерениям [15].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рентгенофазовый анализ. На поверхности алмаза и на поверхности металлической таблетки контактной пары алмаз-железо, после их разъединения, обнаружено наличие следующих фаз (табл. 1):

В контактной паре алмаз-таблетка титана установлен следующий фазовый состав поверхностей алмаза и таблетки титана после их разъединения (табл. 2):

РЭМ и структура межфазной зоны. На рис. 1 представлены РЭМ изображения общего вида поверхности алмаза (а) и таблетки железа (б) после испытания на сдвиг, и прямоугольных участков, отмеченных на поверхности алмаза и таблетки железа при больших увеличениях (в, г). Структура поверхностей раздела алмаз-металлическая таблетка имеет зеркальную симметрию, то есть структура поверхности алмаза является зеркальным отражением структуры поверхности металлической таблетки. Практически на всей поверхности алмаза наблюдается светлое металлизированное покрытие, состоящее из фаз железа, карбида железа и графита (табл. 1). Крупные темные участки представляют собой алмаз (рис. 1а). Структура поверхности таблетки железа, которая имела непосредственный контакт с поверхностью алмаза заметна отличается от остальной – состоит из

фаз железа, карбида и оксида железа и графит. Темные участки – отколы от алмаза, перенесенные на металлическую таблетку (рис. 1б). На рис. 1в видно, что структура металлизированного покрытия более плотная, мелкозернистая, по сравнению с исходной структурой железной таблетки. Графит образуется в виде точечных темных участков, которые изолированы друг от друга светлыми металлокарбидными зернами. Также можно наблюдать детали транскристаллитного скола кристалла алмаза. Ступенчатый характер изломов свидетельствует о совершенной спайности алмаза. На рис. 1г показано изображение межфазной зоны алмаз-таблетка железа на участке, где часть кристалла алмаза была перенесена вместе с металлокарбидным покрытием на поверхность таблетки железа во время испытания на сдвиг. Из рисунка видно, что межфазная зона не имеет четкой границы

между поверхностью алмаза и металлокарбидным покрытием.

На рис. 2 изображена структура межфазной зоны алмаз-таблетка железа (рис. 1г), снятая при больших увеличениях в режиме вторичных электронов (а) и обратно рассеянных электронов (б). Видно, что исходная поверхность алмаза, полированная до наномасштабного уровня, стала шероховатой. Само металлизированное покрытие имеет однородную мелкозернистую структуру и плотно сопряжено с поверхностью алмаза. На границе алмаз-металлокарбидное покрытие полностью отсутствуют различного рода микрополости и микропустоты. Такой плотности сцепления алмазного зерна с матрицей ранее не удавалось достичь [8–13]. На РЭМ изображении, снятом в режиме обратно-рассеянных электронов (рис. 2б) можно четко различить отдельные металлокарбидные зерна, их

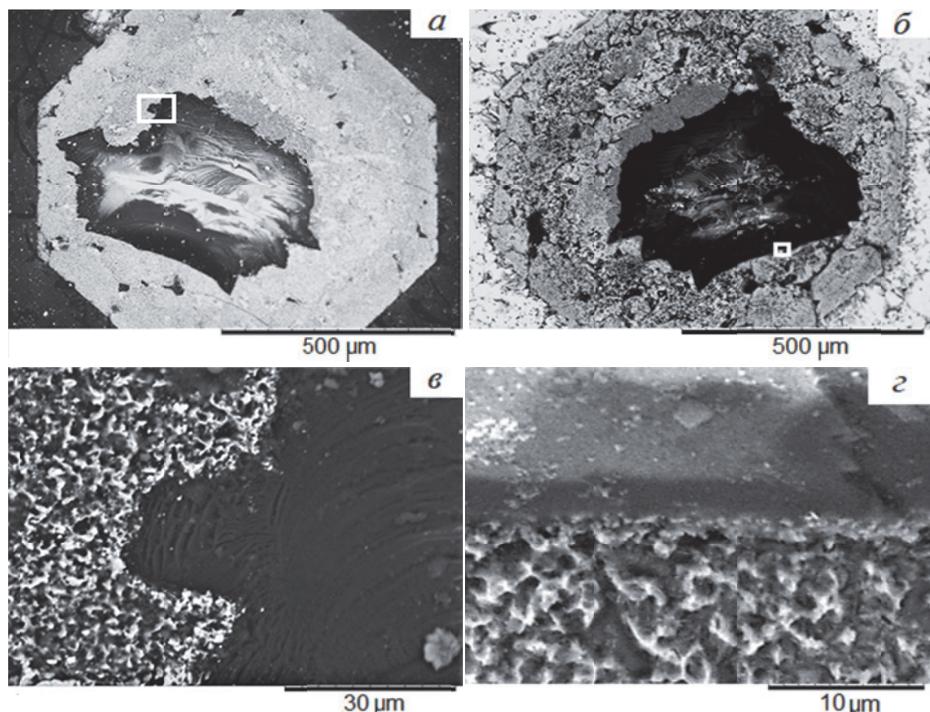


Рис. 1. РЭМ изображения поверхностей алмаза (а), таблетки железа (б) и прямоугольных участков, отмеченных на соответствующих поверхностях (в, г) после их разъединения

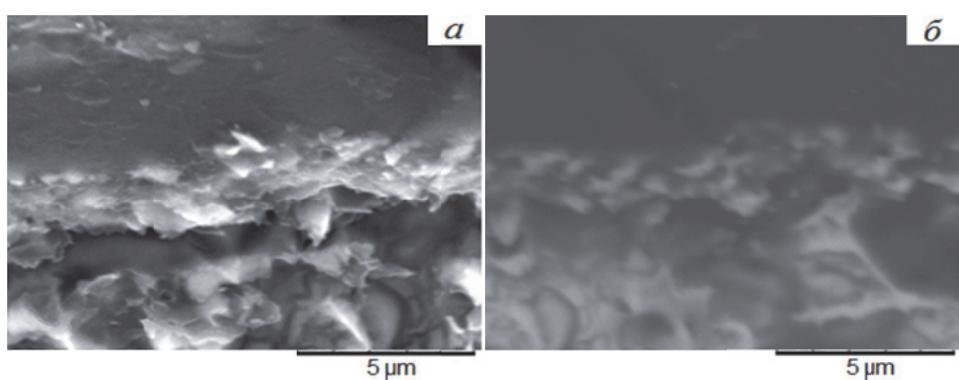


Рис. 2. Структура межфазной зоны, снятая в режиме вторичных электронов (а) и обратно-рассеянных электронов (б)

форму и расположение – они вытянуты вдоль поверхности алмаза. Поперечный размер отдельного зерна составляет ~1 мкм. Толщина покрытия составляет ~1-3 мкм.

В контактной паре алмаз-таблетка титана на всей поверхности алмаза образование металлизированного покрытия наблюдается в основном по краям площади контакта (рис. 3а). Наблюдаются в виде небольших светлых участков различной формы и состоят из фаз титана и небольшого количества карбида титана (табл. 2). Наличие графита как на поверхности алмаза, так и на поверхности металлической таблетки не было обнаружено. На поверхности таблетки титана (рис. 3б) можно различить две характерные области – гладкую и шероховатую, состоящие из фаз титана и карбида титана. Расположение этих областей имеет очаговый тип.

На рис. 3в, г представлены РЭМ изображения прямоугольных участков, отмеченных соответственно на рис. 3а, б. Участок на поверхности алмаза (рис. 3в) был снят в режиме вторичных электронов. Показано, что как и в случае взаимодействия алмаза с железом, гладкая поверхность алмаза стала шероховатой. Данные следы

на поверхности алмаза появляются вследствие его каталитической графитизации. Также данные участки на поверхности алмаза по форме, размерам и расположению совпадают с областями на поверхности таблетки титана, имеющие шероховатую и пористую структуру. Отсутствие графита указывает на то, что весь углерод алмаза направлен на образование металлокарбидного покрытия.

Анализ структуры поверхности таблетки титана показал, что гладкие участки плотные, частицы равноосные, изометричные (рис. 3г). Химический состав гладкой и шероховатой областей примерно одинаковый (табл. 3). При сдвиге разъединение произошло по границе алмаз-металлокарбидное покрытие, то есть металлокарбидное покрытие практически полностью перешло на поверхность титановой таблетки. Оценочная толщина металлокарбидного покрытия составила от 800 нм до 1 мкм.

Спектроскопия комбинационного рассеяния. На рис. 4 представлены трехмерные карты рамановских спектров алмаза (а, б) и графита (в, г) участка на поверхности алмаза (рис. 1в) и соответствующего участка на поверхности таблет-

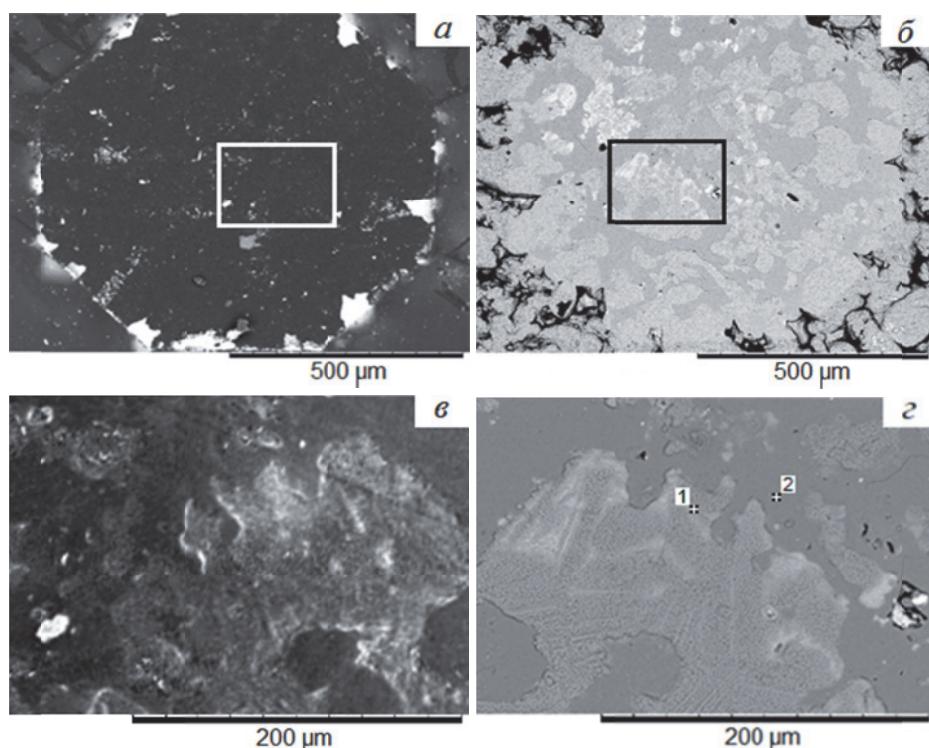


Рис. 3. РЭМ изображения поверхности алмаза (а), таблетки титана (б) и прямоугольных участков, отмеченных на соответствующих поверхностях (в, г) после их разъединения

Таблица 3. Элементный состав поверхности таблетки титана

Точки замеров спектров	Содержание элементов, масс. %	
	C	Ti
1	25,18	74,82
2	25,30	74,70

ки железа. Темные участки различной формы и размеров (рис. 1а, б) на обеих поверхностях разделя были идентифицированы по характерному узкому пику на частоте 1332 см⁻¹ как алмазы. Как было отмечено ранее, образования графита имеют локальный, точечный характер, и не образуют сплошного слоя как на поверхности алмаза, так и на поверхности железной таблетки.

Сканирование поверхностей раздела алмаз-таблетка титана рамановским спектрометром, настроенным на две характерные полосы графита G и G^I, подтвердило его отсутствие.

Прочность соединения и микротвердость. Усилие, зафиксированное при разъединении кристалла алмаза с железной таблеткой, составило 15 Н. Прочность соединения образцов, при площади контакта $6,22 \cdot 10^{-7}$ м², составляет ~24,12 МПа. Металлокарбидное покрытие, образовавшееся при взаимодействии алмаза с железом, настолькоочноочно было сцеплено с алмазом, что разъединение произошло по границе металлокарбидное покрытие-поверхность таблетки железа, а также по самому кристаллу алмаза. Эти и отмеченные ранее факторы, свидетельствуют о термохимическом адгезионном взаимодействии в межфазной зоне контактной пары алмаз-таблетка железа. В контактной паре ал-

маз-таблетка титана, не удалось зафиксировать усилие при разъединении: прочность соединения была настолько низкой, что разъединение контактной пары произошло от прикосновения пинцетом. Несмотря на то, что среди карбидообразующих металлов, титан является наиболее часто используемым для металлизации алмаза [16, 17], это указывает на слабое термоадгезионное взаимодействие титана с алмазом в заданных в данном эксперименте условиях спекания, что связано с высокой теплотой образования карбида титана. В работе [14] отмечено, что адгезионное взаимодействие титана с алмазом начинается при нагреве контактных образцов до температуры, равной ~50% от температуры его плавления

В табл. 4 приведены сравнительные данные прочности соединений алмаз-металл с результатами предыдущей работы [15].

Как видно из табл. 4, в случае контактной пары алмаз-таблетка железа достигается наивысшая прочность соединения при одинаковых условиях спекания.

Микротвердость поверхности таблетки железа, в зоне контакта с поверхностью алмаза составила в среднем 1177 ± 34 МПа, что примерно соответствует микротвердости карбидной фазы

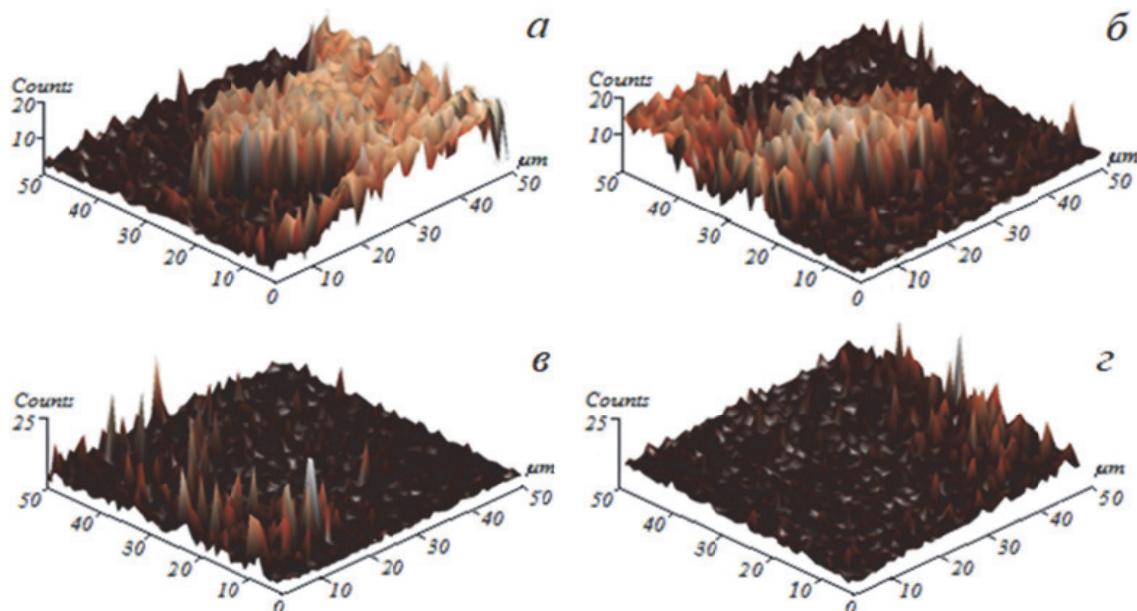


Рис. 4. Трехмерные карты распределения алмаза (а, б) и графита (в, г) на поверхностях кристалла алмаза и таблетки железа, соответственно

Таблица 4. Прочность соединений контактных пар алмаз-металл

Контактная пара	Прочность соединения $\sigma_{отрыва}$, МПа
Алмаз-железо	24,12
Алмаз-хром*	6,76
Алмаз-кобальт**	0,68
Алмаз-титан	-

*Результаты, полученные в предыдущей работе при одинаковых условиях спекания [15]

в сталях [18]. Малая ошибка в измерениях указывает на однородность структуры.

Среднее значение микротвердости шероховатых участков на поверхности таблетки титана составила 3795 ± 62 МПа, что по порядку величины совпадает с микротвердостью чистого титана [19]. Микротвердость гладких участков не удалось измерить, так как они были очень хрупкие и невозможно было получить четкие отпечатки индентора.

ВЫВОДЫ

На основе изучения фазового и элементного состава, морфологии и распределения продуктов взаимодействия, образующихся в межфазной зоне контакта алмаз–металл при термохимическом взаимодействии алмаза с переходными металлами – железом и титаном, установлено следующее:

1. В контактной паре алмаз–железо формируется металлизированное покрытие, прочно сцепленное с алмазом, состоящее из фаз железа, карбида железа и графита:

– разъединение контактной пары алмаз–железо происходит по границе металлокарбидное покрытие – поверхность таблетки железа, а также по кристаллу алмаза вследствие его разрушения с переносом отковов алмаза на поверхность таблетки железа; прочность соединения контактной пары алмаз – железо составила $\sim 24,12$ МПа;

– толщина металлокарбидного покрытия составляет $\sim 1\text{--}3$ мкм, имеет однородную, мелкозернистую структуру и содержит графит в виде изолированных друг от друга локальных образований, не образующих сплошного слоя;

– средняя микротвердость поверхности таблетки железа составила 1177 ± 34 МПа.

2. В контактной паре алмаз–титан также обнаружено металлизированное, слабо сцепленное с алмазом, состоящее из фаз титана и карбида титана:

– разъединение контактной пары алмаз–титан происходит по межфазной границе алмаз–металлокарбидное покрытие, то есть по поверхности алмаза;

– толщина металлокарбидного покрытия составляет $\sim 0,8\text{--}1$ мкм, имеет плотную, мелкозернистую структуру;

– при заданных в эксперименте условиях и температурно-временном режиме нагрева, частичный или островковый характер разрушения поверхности алмаза и отсутствие графита, как на поверхности алмаза, так и на поверхности таблетки титана, указывает на осаждение недостаточного количества атомов титана на поверхности алмаза (высокая энергия активации), а весь углерод, диффундировавший в металл, идет на формирование карбида титана;

– средняя микротвердость поверхности таблетки титана составила 3795 ± 62 МПа.

3. Образование при контактном взаимодействии алмаза с железом металлокарбидного покрытия, прочно сцепленного с алмазом, при заданном режиме работы вакуумной печи, обычно используемом при спекании матриц алмазных инструментов с пропиткой медью, показывает, что небольшие добавки порошка железа вокруг алмазных зёрен, например, к вольфрамкобальтовой порошковой смеси, могут значительно повысить уровень алмазоудержания металлокерамических матриц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Булгаков В.И., Лаптев А.И., Поздняков А.А. Улучшение закрепления алмазного зерна в связке при изготовлении камнеразрушающего инструмента горячим прессованием // Известия Вузов. Цветная металлургия. 2005. № 6. С. 69–72.
2. Направленное формирование межфазной границы алмаз–матрица с использованием нанопокрытий / М.М. Яхутлов, Б.С. Карамурзов, З.Ж. Беров, У.Д. Батыров, Р.М. Нартыжев // Изв. Кабардино-Балкарского госуниверситета. 2011. Т. 1. № 4. С. 23–25.
3. Коновалов В.А., Шатохин В.В. Взаимосвязь прочности закрепления зёрен в связке со стойкостью алмазно-абразивного инструмента // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника, технология его изготовления и применения: Сборник научных трудов ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины. Киев, 2009. № 12. С. 508–513.
4. Влияние металлизации алмазов на структурообразование и прочность композиционного материала / А.М. Исонкин, Т.М. Дуда, Н.Н. Белявина, В.Н. Ткач // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Гірничо-геологічна». 2013. № 2(19), С. 148–154.
5. Naidich Yu.V., Umanskii V.P., Lavrienko I.A. Metal and alloy bond strengths to diamond // Ind. Diamond Rev. 1984. Vol. 44. No. 6, P. 327–331.
6. Improvement of bonding force between abrasive grains and matrix in Cu/diamond composite fabricated by centrifugal mixed-powder method / H. Sato, A. Mizuno, Y. Mamiya, M. Yamada, Y. Watanabe // Mechanical Engineering Journal. 2016. Vol. 3. No. 6. P. 16–00297.
7. Tillmann W., Tolan M., Lopes-Dias N. F., Zimpel M., Ferreira M., Paulus M. Influence of chromium as carbide forming doping element on the diamond retention in diamond tools // Proceedings of the International Conference on Stone and Concrete Machining (ICSCM), 2015. Vol. 3. P. 21–30.
8. Artini C., Muolo M.L., Passerone A. Diamond–metal interfaces in cutting tools: a review // J. Mater. Sci. 2012. Vol. 47. P. 3252–3264.
9. Webb S.W. Diamond retention in sintered cobalt bonds for stone cutting and drilling // Diamond and Related Materials. 1999. Vol. 8. P. 2043–2052.
10. Study of Ti-coated diamond grits prepared by spark plasma coating / R. Chang, J. Zang, Y. Wang, Y. Yu, J. Lu, X. Xu // Diamond and Related Materials. 2017. Vol.

77. P. 72-78.
11. Interaction of diamond grains with nanosized alloying agents in metal-matrix composites as studied by Raman spectroscopy / D.A. Sidorenko, A.A. Zaitsev, A.N. Kirichenko, E.A. Levashov, V.V. Kurbatkina, P.A. Loginov, S.J. Rupasov, V.A. Andreev // Diamond and Related Materials. 2013. Vol. 38. P. 58-62.
 12. Hsieh Y.Z., Lin S.T. Diamond tool bits with iron alloys as the binding matrices // Materials Chemistry and Physics. 2001. Vol. 72. No. 2. P. 121-125.
 13. Carbon reactivity of binder metals in diamond–metal composites – characterization by scanning electron microscopy and X-ray diffraction / W. Tillmann, M. Ferreira, A. Steffen, K. Rüster, J. Möller, S. Bieder, M. Paulus, M. Tolan // Diamond and Related Materials. 2013. Vol. 38. P. 118-123.
 14. Семенов А.П., Поздняков В.В., Крапошина Л.Б. Трение и контактное взаимодействие графита и алмаза с металлами сплавами. М.: Наука, 1974. 110 с.
 15. Строение и прочность переходной зоны при твердофазном высокотемпературном взаимодействии алмаза с карбиообразующими металлами – хромом и кобальтом / П.П. Шарин, С.П. Яковлева, В.Е. Гоголев, В.И. Попов // Перспективные материалы. 2016. № 7. С. 47-60.
 16. Properties and application of Ti-coated diamond grits / Y.H. Wang, J.B. Zang, M.Z. Wang, Y. Guan, Y.Z. Zheng // J. Mater. Process. Technol. 2002. Vol. 129. No. 1-3. P. 369-372.
 17. Xu X.P., Tie X.R., Yu Y.Q. The effect of rare earth on the fracture properties of different metal-diamond composites // J. Mater. Process. Technol. 2007. Vol. 187-188. P. 421-424.
 18. Тригорович В.К. Твердость и микротвердость металлов. М.: Наука, 1976. 230 с.
 19. Кипарисов С.С., Левинский Ю.В., Петров А.П. Карбид титана: получение, свойства, применение. М.: Металлургия, 1987. 215 с.

STRUCTURE AND STRENGTH OF THE INTERPHASE ZONE DURING THE THERMOCHEMICAL INTERACTION OF DIAMOND WITH TRANSITION METALS

© 2018 P.P. Sharin, M.P. Akimova

Institute of Physical and Technical Problems of the North named after V.P. Larionov
of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Yakutsk

The results of the study of the interphase zone structure formation features during the contact thermochemical interaction of diamond with transition metals, iron and titanium, are presented in the article. Wherein, the temperature-time modes of diamond-metal contact pairs sintering corresponded to the operating conditions of a vacuum furnace during the sintering of carbide matrixes of diamond-containing tools with copper impregnation. Shear tests were carried out to evaluate the strength of the diamond-metal contact pairs. Scanning electron microscopy, Energy dispersive X-ray analysis, X-ray diffraction analysis, and Raman spectroscopy were used to study the structure, phase composition, and morphology of interfaces. It was established that a thin layer of metal-carbide coating at the interphase boundary forms, firmly adhering to the surface of the diamond, during contact thermochemical interaction of diamond with iron. The thickness of the coating is ~ 1-3 μm and consists phases of iron, iron carbide and local, point formations of graphite. A metal-carbide coating consisting of titanium and titanium carbide phases, weakly adherent to the diamond surface was also detected at the interphase boundary of the diamond-titanium contact pair. The coating thickness is ~ 0.8-1 μm and has a dense fine-grained structure. The absence of graphite both on the surface of the diamond and on the surface of the titanium tablet indicates that all the graphite formed as a result of the catalytic action of titanium to the diamond goes to the formation of a metal-carbide coating. The obtained results can be used in the development of new compositions and technologies for manufacturing diamond tools based on carbide powder mixtures with increased diamond retention.

Keywords: diamond, transition metals, adhesion interaction, interphase zone, metal-carbide coating, iron, titanium, graphite.

DOI: 10.24411/1990-5378-2018-00001