

УДК 621.921.34:621.7.044.2

## КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ АЛМАЗНЫХ ЧАСТИЦ КОМПОЗИТОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ВЗРЫВНЫМ ПРЕССОВАНИЕМ

© 2010 С.П. Яковлева, С.Н. Махарова, М.И. Васильева, А.В. Сивцева

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

Поступила в редакцию 30.03.2010

Проведено исследование алмазных частиц алмазометаллических композитов (АМК), полученных методом взрывного прессования. Изучались ИК-спектры поглощения алмазных частиц после рекуперации из композитов и влияние твердости связующего материала на их сохранность. Показано, что в рекуперированных алмазных частицах отсутствуют полосы поглощения графита и аморфного углерода, а использование более твердой матрицы позволяет обеспечить значительно лучшую сохранность алмазной компоненты.

Ключевые слова: алмазометаллические композиты, взрывное прессование, комплексный анализ

Преобладающая часть алмазного инструмента изготавливается методами порошковой металлургии с использованием порошков как природного, так и синтетического алмаза. Инструмент на металлических связках в основном получают прессованием с последующим спеканием и горячей допрессовкой. Эти технологические процессы неизбежно приводят к изменению свойств алмазных частиц, вызывая появление дефектов и разупрочнение. Прочность алмазов при нагреве зависит и от температуры, и от продолжительности нагрева. Поэтому изготовление композитов целесообразно вести на форсированных режимах. В работах [1, 2] показана перспективность использования для создания износостойких АМК метода взрывного прессования, при котором реализуется комплекс факторов высокоинтенсивного и кратковременного воздействия на порошковые материалы, не достигаемый при использовании других методов формования. Так, в работе [2] были получены опытные образцы АМК с износостойкостью, соответствующей уровню износостойкости промышленных алмазных карандашей, но при более чем вдвое меньшем содержании алмаза.

Вместе с тем, процессы взрывного прессования, достаточно хорошо изученные для многих порошковых материалов, мало исследованы в случае использования смесей, содержащих порошок алмаза (особенно природного). Одним из важнейших факторов, определяющих качество алмазосодержащих композитов, является сохранность алмазной компоненты после воздействия формирующих технологий.

**Целью данной работы** является комплексное исследование сохранности частиц природного алмаза в АМК, полученных взрывным прессованием, включающее анализ на присутствие в этих частицах неалмазного углерода, а также анализ изменений гранулометрического состава и характеристик прочности при варьировании мощности заряда взрывчатого вещества и твердости связующего материала.

### Материалы и методика эксперимента.

В качестве матричного материала в работе использовали порошки, относящиеся к разным классам сплавов на основе железа: ПХ18Н9Т (относительно мягкий порошок нержавеющей стали с микротвердостью 1800-2200 МПа) и ПР-ФБХ6 (износостойкий порошок повышенной твердости для напыления; микротвердость 5900-7100 МПа). Алмазный порошок А7К80 500/400 вводили в матричные порошки из расчета получения 100% их содержания в беспористом компакте. Для взрывного прессования использовали аммонит 6ЖВ в случае связки ПХ18Н9Т или более мощный гранулол в случае связки ПР-М6Ф3. Взрывное прессование проводили по цилиндрической схеме при двух режимах, различающихся по мощности воздействия, для чего варьировали

*Яковлева Софья Петровна, доктор технических наук, профессор, заведующая отделом материаловедения. E-mail: s.p.yakovleva@iptpn.ysn.ru*

*Махарова Сусанна Николаевна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник. E-mail: s.n.maharova@iptpn.ysn.ru*

*Васильева Мария Ильинична, кандидат технических наук, старший научный сотрудник. E-mail: vasileva\_mi@mail.ru*

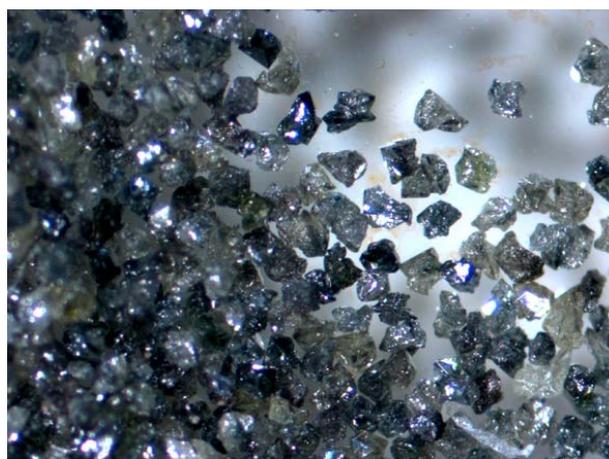
*Сивцева Анастасия Васильевна, научный сотрудник. E-mail: sianva@yandex.ru*

диаметр  $D_{ВВ}$  засыпки каждого из взрывчатых веществ ( $D_{ВВ}=40$  и  $50$  мм). Для высвобождения («рекуперации») алмазных частиц пресовки опускали в царскую водку, которая растворяла металлический связующий материал. Гранулометрический анализ и исследование статической прочности алмазных зерен в исходном состоянии и после рекуперации проводились по стандартным методикам в соответствии с ГОСТ 9206-80. Прочность определяется как среднее значение не менее 50 измерений при статическом сжатии каждого зерна между двумя корундовыми пластинками и выражается в граммах. Спектры поглощения ИК-излучения записаны при комнатной температуре; зерна алмаза размещали на таблетке NaCl, спектр поглощения таблеток записывался перед спектром образца и затем автоматически вычитался.

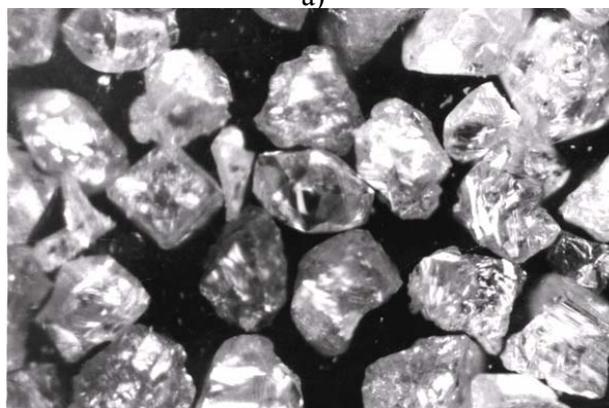
**Обсуждение результатов.** Рекуперированные из экспериментальных образцов АМК порошки алмазов представляют собой совокупность зерен различной величины и формы в виде монокристаллов, их осколков и поликристаллов (рис. 1). Отсутствие признаков овализации и хорошо развитые режущие грани благоприятствуют абразивным свойствам композитов.

На ИК-микроскопе Centaurus совмещенном с ИК-Фурье спектрометром Avatar-370 («ThermoElectron») были получены спектры поглощения рекуперированных алмазов. На типичном спектре поглощения (рис. 2) видно, что имеются полосы поглощения при  $1010$ ,  $1100$ ,  $1175$ ,  $1215$ ,  $1282$ ,  $1378$   $\text{см}^{-1}$ . Полосы поглощения свыше  $1667$   $\text{см}^{-1}$  не рассматривались, поскольку они относятся в основном к решеточным колебаниям. Существуют 2 типа спектров оптического поглощения в ИК-диапазоне и, соответственно, 2 типа природных алмазов. Алмазы типа I обнаруживают ИК-поглощение в области длин волн от 2 до 6  $\mu\text{м}$  (волновое число  $1667$ - $5000$   $\text{см}^{-1}$ ) и от 8 до 33,3  $\mu\text{м}$  ( $1250$ - $300$   $\text{см}^{-1}$ ). Алмазы II типа имеют поглощение только в области 2-6  $\mu\text{м}$  (волновое число  $1667$ - $5000$   $\text{см}^{-1}$ ) и считаются «неазотной» разновидностью. Поглощение в этой области является собственным решеточным поглощением, тогда как поглощение в области 8-33,3  $\mu\text{м}$  обусловлено присутствием примесного азота. Такие алмазы содержат азот в ряде различных форм. Алмаз типа I был подразделен на тип Ia и тип Ib в зависимости от формы, которую азот принимает в пределах структуры отдельных кристаллов. Атомы азота в алмазах типа Ia присутствуют в различных агрегатных формах, в то время как в алмазах типа Ib они рассеяны в изолированных местах замещения в виде C-центра. Группа алмазов IaA содержит тип азотного дефекта

«A»; группы IaV<sub>1</sub> и IaV<sub>2</sub> – типы азотных дефектов «V<sub>1</sub>» и «V<sub>2</sub>». Согласно современным представлениям азотные центры A содержат пару атомов азота в соседних узлах решетки и вызывают в однофононной области ИК-спектров поглощения систему полос  $480$ ,  $1100$ ,  $1215$  и  $1282$   $\text{см}^{-1}$ . Дефект V<sub>1</sub>, по имеющимся предположениям, является агрегатом 4 атомов азота, расположенных тетраэдрически вокруг вакансии. В ИК-области центр вызывает систему полос поглощения  $1010$ ,  $1100$ ,  $1175$ ,  $1332$   $\text{см}^{-1}$ . Модели центров V<sub>2</sub> с интенсивностью пика на  $1359$ - $1378$   $\text{см}^{-1}$  еще дискутируются.



а)



б)

**Рис. 1.** Алмазный порошок, рекуперированный из композита с матрицей ПХ18Н9Т; съемка на стереоскопическом микроскопе «Stemi 2000C» (а) и на микроскопе "Неофот-32" (б, х50)

Судя по наличию полос поглощения при указанных волновых числах в исследованных кристаллах алмазов преобладает центр A ( $1100$ ,  $1215$ ,  $1282$   $\text{см}^{-1}$ ), но имеются также центры V<sub>1</sub> ( $1010$ ,  $1100$ ,  $1175$   $\text{см}^{-1}$ ) и V<sub>2</sub> ( $1378$   $\text{см}^{-1}$ ). Следовательно, алмазные порошки, использованные в данной работе для получения композиционных материалов, принадлежат к переходному типу IaAV, которому соответствуют большинство природных алмазов.

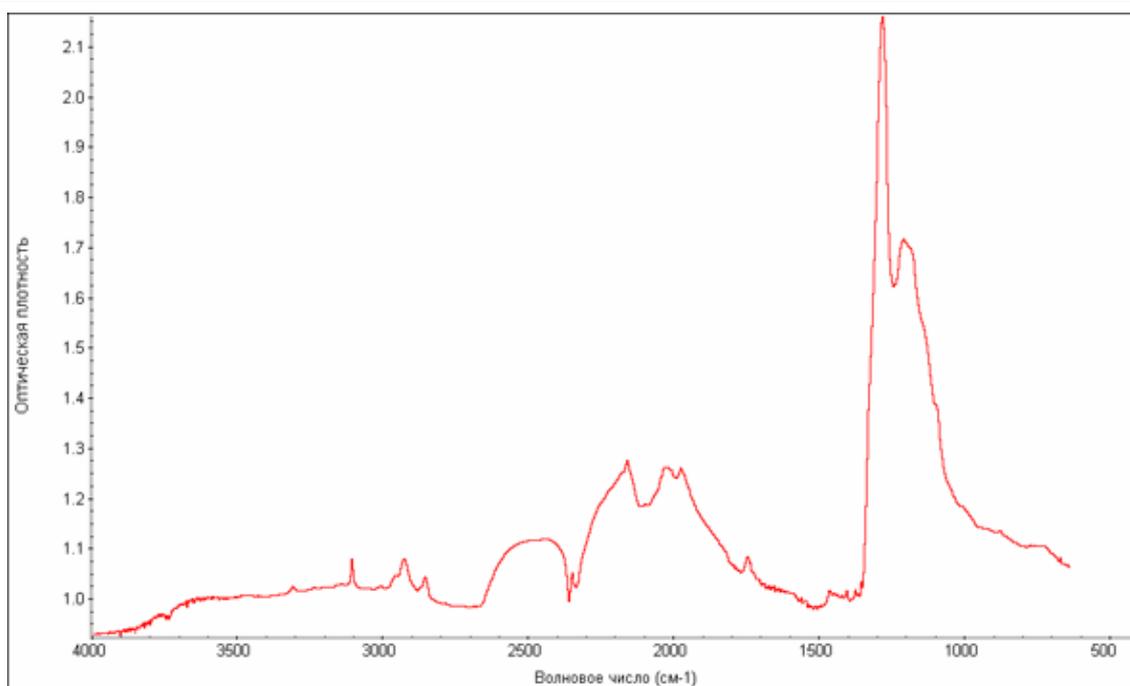


Рис. 2. Основной тип ИК-спектров рекуперированных алмазных порошков

Важным является то, что в нагруженных ударной волной алмазных частицах не были выявлены характерные для графита полосы поглощения при  $1580\text{ см}^{-1}$  и характерные для аморфного углерода полосы поглощения при  $1500\text{--}1550\text{ см}^{-1}$ . Отсутствие неалмазного углерода (графитизации) свидетельствует о хорошей сохранности алмазной компоненты при термобарических условиях выбранных режимов

получения АМК. Ниже в таблице представлены результаты исследования характеристик алмазных порошков до и после воздействия ударных волн. Приняты следующие обозначения исследованных параметров (по ГОСТ 9206-80):  $d_{\text{ср}}$ , мкм – средний размер зерна;  $u$ , % – доля изометричных зерен;  $O_{\text{ф}}$ , % – доля основной фракции;  $\sigma$ , Н – показатель прочности алмазного шлифпорошка.

Таблица. Характеристики алмазного порошка А7К80 500/400 до и после воздействия ударных волн

Материал	Исходное состояние				$D_{\text{ВВ}}=40\text{мм}$				$D_{\text{ВВ}}=50\text{мм}$			
	$d_{\text{ср.}}$ , мкм	$u$ , %	$O_{\text{ф}}$ , %	$\sigma$ , Н	$d_{\text{ср.}}$ , мкм	$u$ , %	$O_{\text{ф}}$ , %	$\sigma$ , Н	$d_{\text{ср.}}$ , мкм	$u$ , %	$O_{\text{ф}}$ , %	$\sigma$ , Н
А7К80	490	81	53	118	-	-	-	-	-	-	-	-
А7К80+ ПХ18Н9Т	-	-	-	-	440	63	43	82	405	65	29	85
А7К80+ ПРМ6Ф3	-	-	-	-	441	73	40	89	470	68	52	106

Как следует из данных таблицы, дробление алмазного порошка менее значительно в случае использования связки с большей твердостью; изменение среднего размера частиц алмаза колеблется в пределах от 4 до 18%. Следует отметить, что однозначной зависимости между геометрическими параметрами образовавшихся при дроблении осколков и мощностью заряда не наблюдается. При использовании «мягкой» связки ПХ18Н9Т уве-

личение мощности взрывного прессования не привело к уменьшению среднего размера и количества изометричных зерен, но сократило долю основной фракции с 43% до 29%. Аналогичный вывод следует из анализа изменений характеристик алмазного порошка, спрессованного с твердой связкой ПРМ6Ф3. При максимальном значении  $D_{\text{ВВ}}$  средний размер зерна и прочность алмазов снижаются значительно меньше, чем при минимальном.

Особый интерес представляет факт незначительного изменения характеристик алмазного порошка после взрывного прессования с твердой связкой ПРМ6Ф3. Средний размер зерна уменьшается на 4%, показатель прочности на 10%, а доля основной фракции сохраняется почти неизменной. Это является обоснованием перспективности взрывного прессования для изготовления АМК, так как традиционные способы спекания допускают снижение исходных характеристик приблизительно на 30%.

#### **Выводы.**

1. Алмазные порошки, использованные для получения АМК методом взрывного прессования, относятся к наиболее распространенной разновидности природного алмаза переходного типа IaAB.

2. Термобарические условия при выбранных режимах взрывного прессования алмазоталлических композитов не привели к оваллизации алмазных частиц и их графитизации (в ИК спектрах отсутствуют полосы поглощения, свойственные неалмазному углероду).

3. Применение в составе матрицы порошка повышенной твердости при взрывном прессовании АМК дало возможность сохранить

близкими к исходным гранулометрический состав и прочность алмазных зерен: снижение среднего размера зерна, доли основной фракции и статической прочности составило 4%, 1% и 10% соответственно.

4. Показано, что одним из факторов перспективности использования энергии взрыва для получения высокоэффективных алмазосодержащих материалов, является возможность обеспечения лучшей сохранности алмазной компоненты, чем при традиционных способах спекания.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. *Майстренко, А.Л.* Влияние технологических условий получения композитов на свойства содержащихся в них алмазных зерен / *А.Л. Майстренко, Л.Г. Кулич, В.Г. Гаргин* // Сб. докл. IX научн. семинара «Влияние высоких давлений на вещество». – Киев: Изд-во ин-та проблем материаловедения, 1984. – С. 37-42.
2. *Ларионов, В.П.* Разработка научных основ технологии получения алмазоталлических композитов взрывным прессованием / *В.П. Ларионов, С.П. Яковлева, С.Н. Махарова и др.* // *Химическая технология.* – 2002. - №1. – С. 28-32.

## **THE COMPLEX ANALYSIS OF COMPOSITES DIAMOND PARTICLES, RECEIVED BY EXPLOSIVE PRESSING**

© 2010 S.P.Yakovleva, S.N. Maharova, M.I. Vasilyeva, A.V. Sivtseva

Institute of Physicotechnical Problems of the North named after V.P.Larionov SB RAS,  
Yakutsk

It is carried out research of diamond-metallic composites diamond particles (DMC), received by a method of explosive pressing. Infra-red spectrim of absorption of diamond particles after recuperation from composites and influence of binder hardness on their safety were studied. It is shown, that in recuperated diamond particles there are no strips of graphite and amorphous carbon absorption, and use of firmer matrix allows to provide considerably best safety of diamond components.

Key words: *diamond-metallic composites, explosive pressing, complex analysis*

---

*Sofiya Yakovleva, Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Head of the Material Science Department. E-mail:*

*s.p.yakovleva@iptpn.ysn.ru*

*Susanna Maharova, Candidate of Technical Sciences, Leading  
Research Fellow. E-mail: s.n.maharova@iptpn.ysn.ru*

*Mariya Vasilyeva, Candidate of Technical Sciences, Senior  
Research Fellow. E-mail: vasilyeva\_mi@mail.ru*

*Anastasiya Sivtseva, Research Fellow. E-mail:  
sianva@yandex.ru*