

УДК 621.921

С. А. Иванов, В. П. Переяслов, кандидаты техн. наук; А. Л. Майстренко, чл.-корр. НАН Украины; А. Н. Ващенко, инж.

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

СТРУКТУРА ПЕРЕХОДНОГО СЛОЯ И ПРОЧНОСТЬ СОЕДИНЕНИЯ НАПЕЧЕННЫХ НА СТАЛЬНУЮ ОСНОВУ СЛОЕВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТРИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ИНТЕНСИВНОГО ЭЛЕКТРОСПЕКАНИЯ

This paper presents the results of examinations on definition of linking strength of sintered on the steel mount by a method of intensive electrosintering at heightened pressure briquetted layers from different matrix materials designed for usage in rock-destroying and dressing instruments. It is shown, that due to saving of diamonds properties and high mechanical properties of matrix the designed instrument for dressing and drills for handling a natural rock has high indexes of endurance and productivity.

В Институте сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины разработан альтернативный горячему прессованию метод интенсивного электроспекания в замкнутом объеме при повышенном давлении (до 0,5 ГПа) композиционных алмазосодержащих материалов (КАМ) [1, 2, 3]. Спекание происходит в твердой фазе и осуществляется в технологическом узле (рис.1) посредством прямого пропускания электрического тока силой несколько килоампер в течение 2–40 с через расположенный в срединной плоскости узла АА нагреватель и прилегающие симметрично по отношению к нему по обе стороны брикеты КАМ, стальные подложки, сборные пуансоны и наковальни. Этим методом получены рабочие элементы инструмента для шлифования природного камня, вставки для бурового инструмента и правящих карандашей.

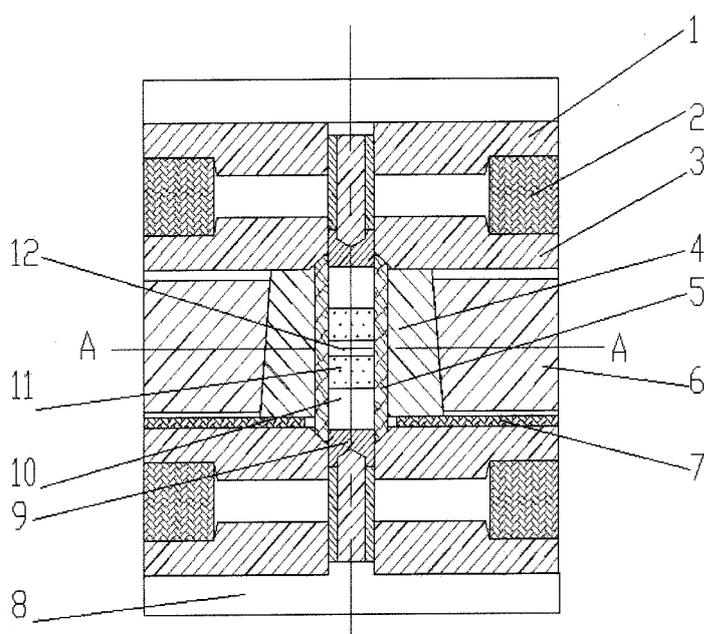


Рис.1. Технологический узел для спекания брикетов на стальные подложки:

- 1 – направляющая матрица;
- 2 – упругая прокладка;
- 3 – матрица с углублением;
- 4 – разрезная обойма;
- 5 – контейнер из литографского камня;
- 6 – бандажное кольцо;
- 7 – изолирующая прокладка;
- 8 – наковальня;
- 9 – сборный пуансон;
- 10 – стальная подложка;
- 11 – брикет;
- 12 – нагреватель.

Учитывая особенности метода, а именно его скоротечность и приложение повышенных давлений, что обеспечивает сохранение исходных свойств алмаза [4] в результате спекания, целесообразно совместить процессы спекания слоя КАМ с его прочным соединением с

корпусом инструмента (стальной подложкой). Кроме того, спекание и напекание слоя КАМ на подложку в едином технологическом процессе дает возможность избежать негативного влияния повторного нагрева на изменение свойств алмазов, например, при последующей пайке вставок в корпус правящих карандашей.

С помощью этого метода спекали образцы диаметром 10 мм с высотой подложки 8 мм и высотой напекаемого слоя до 3,5 мм, а затем исследовали прочность на срез напеченных матричных материалов на основе адгезионно-активного к алмазу титана, титана с добавками меди, а также твердого сплава ВК6 ОМ с добавками хрома и меди. Предварительными исследованиями установлено, что прочность соединения указанных композиций с исходной стальной подложкой не превышает 150 МПа. Поэтому для повышения прочности соединения на подложки гальваническим методом предварительно наносили слой Ni толщиной около 10 мкм.

Связка Ti

На рис. 2 представлена структура переходного слоя между стальной подложкой, никелевым покрытием и напеченным слоем из титана. Исследования структуры выполнены на растровом электронном микроскопе Camscan. На этом же микроскопе с помощью микроанализатора Link-860 проведены исследования элементного состава на различных участках поверхности образца (табл.1), которые показали различное соотношение компонентов.

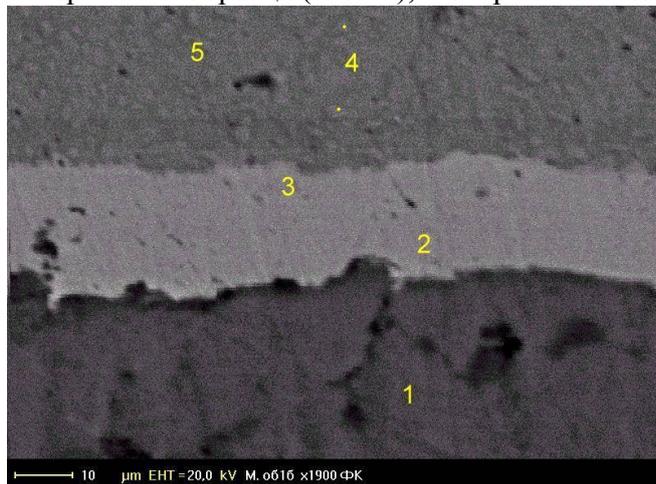


Рис. 2. Структура переходного слоя Ti-Ni-Fe.

Таблица 1. Количественный анализ содержания элементов в различных областях на границе раздела стальной подложки, металлизированной Ni, и спеченного слоя из Ti

Область исследования	Содержание на различных участках поверхности, % (по весу)		
	Ti	Fe	Ni
1	98,755	0,642	0,603
2	1,238	2,673	96,086
3	0,570	59,871	39,561
4	0,287	99,209	0,505
5	0,228	99,608	0,164

Из приведенных данных можно сделать вывод, что в результате напекания диффузия Fe в Ni покрытие и наоборот происходит значительно интенсивнее, чем Ti в Ni. Характерной является область 2, где содержание Ti даже меньше, чем Fe. Переходный слой представляет собой твердый раствор железа в никеле возможно; образование фазы FeNi₃. На границе раздела титанового слоя с никелем в локальных областях возможно образование интерме-

таллидов Ti_2Ni и $TiNi$. Такая структура переходного слоя обеспечивает высокую прочность соединения подложки со слоем (табл.3). Вид подложки после испытаний на срез напеченного титанового слоя представлен на рис. 3. Из него видно, что срез происходит по переходному слою между Ti и подложкой. На подложке видны остатки слоя титана.



Рис. 3. Вид подложки после испытаний на срез напеченного титанового слоя.

Связка $Ti-Cu$

На рис. 4 представлена структура переходного слоя между стальной подложкой, никелевым покрытием и напеченным слоем, состоящим из 20 % Ti и 80 % Cu .



Рис. 4. Структура переходного слоя ($Ti-Cu$) – $Ni-Fe$.

Таблица 2. Количественный анализ содержания элементов в различных областях на границе раздела стальной подложки, металлизированной Ni , и спеченного слоя из 20 % Ti –80 % Cu

Область исследования	Содержание на различных участках поверхности, % (по весу)			
	Ti	Cu	Fe	Ni
1	1,134	98,385	0,537	0,096
2	36,142	63,408	0,286	0,164
3	87,124	8,668	2,339	1,869
4	0,247	2,337	15,623	81,792
5	0,323	1,890	14,670	83,116
6	0,062	0,381	99,363	0,194

Как и в предыдущем случае в переходном слое наблюдается диффузия Fe в Ni -покрытие. Также происходит диффузия Cu в Ni -покрытие с образованием непрерывного ряда твердых растворов и образование интерметаллидных соединений $FeNi_3$, Ti_2Ni , $TiNi$. Рентге-

нографический анализ показал, что фазовый состав напекаемого материала довольно неоднороден. Присутствуют свободный титан и медь. В результате спекания образуются интерметаллические соединения CuTi , Cu_3Ti и CuTi_3 . С увеличением скорости нагрева – большее количество CuTi_3 . При низких скоростях нагрева образуются только интерметаллиды CuTi . Для матричного материала предпочтительным является проведение процесса спекания, обеспечивающего образование интерметаллидов CuTi . Количественный анализ содержания элементов в спеченном материале показал, что он состоит из 57 % Cu и 43 % Ti, что соответствует фазе CuTi . Добавки твердого сплава ВК6 ОМ обеспечивают увеличение твердости композиции. В то же время прочность соединения уменьшается. В табл. 3 также представлены результаты исследования композиционного материала на основе твердого сплава с добавками Cr и Cu.

Таблица 3. Режимы спекания и физико-механические свойства напеченного слоя

Напекаемый материал, % (по весу)	Давление при спекании, МПа	Время спекания, с	Максимальный ток, кА	Твердость, НРА	Удельное электросопротивление, мкОм см	Прочность на срез, МПа
Ti	290	35	0,9	73-74	78,5±4,5	440
20Ti-80Cu	290	58	1,0	65-68	29,1±6,7	280
(20Ti-80Cu)- 8,5 % ВК6ОМ	145	25,5	1,2	71,5±1,7	57,6±3,0	230
(20Ti-80Cu)- 15,7 % ВК6ОМ	145	24,2	1,2	72,4±1,4	55,1±2,7	225
(20Ti-80Cu)- 21,2 % ВК6ОМ	145	26,1	1,2	72,6±1,3	51,7±2,7	210
50Ti-50Cu	290	35	0,96	75,0±0,9	70,7±7,0	410
50Ti-50Cu	145	20	1,14	71,8±1,1	41,8±3,2	345
50Ti-50Cu	72,5	24,4	1,1	75,8±1,5	41,1±3,7	330
(20Cr-80Cu)- 50ВК6 ОМ	290	40	1,32	69,0±2,8	18,0±3,2	280
(20Cr-80Cu)- 65ВК6 ОМ	290	40	1,24	76,3±0,9	25,5±2,8	250

Фазовый состав и структура матричного материала Ti-Cu с 50 % (по массе) титана аналогичны составу и структуре материала Ti-Cu с 20 % (по весу) Ti. Также в результате спекания образуются интерметаллические соединения CuTi , Cu_3Ti и CuTi_3 . С увеличением давления при спекании прочность соединения возрастает. Структура переходного слоя образцов, напеченных при давлении 290 МПа, характеризуется практически полным растворением Ni. Наблюдается взаимодействие Fe-Ti и соединения Fe-Ti-Ni.

Из спеченных КАМ на основе изученных матричных материалов были изготовлены трубчатые сверла диаметром от 6 до 12 мм на связках из Ti и Ti-Cu, а также правящие карандаши на связках Ti-Cu и ВК6 ОМ-(Cu-Cr) (рис. 5).



Рис. 5. Трубчатые алмазные сверла и правящие карандаши.

Продолжительность спекания с одновременным напеканием алмазного слоя на корпус сверла не превышает 15 с. Благодаря сохранению исходных свойств алмазов сверла имеют более высокую производительность (до 1,5 раза выше) по сравнению со сверлами, изготавливаемыми по технологиям вакуумного спекания и пропитки. Так, например, ресурс работы сверла диаметром 10 мм составил 200 отверстий глубиной 6 мм (при сверлении керамических теплоизоляционных облицовочных плит для утепления зданий).

Правящие карандаши на вышеприведенных связках успешно работают при чистовой правке мелкозернистых абразивных кругов. При этом рельеф абразивных кругов имеет более развитую поверхность, а при шлифовании легированных сталей такими кругами менее вероятно возникновение прижогов.

Выводы

Метод интенсивного электроспекания позволяет осуществить спекание слоя из адгезионно-активных к алмазу матричных материалов с одновременным напеканием его на стальную основу. При этом прочность соединения для исследованных материалов составляет 210–440 МПа. Наибольшую прочность имеют композиции с высоким содержанием титана.

Метод существенно отличается от известных методов спекания композитов на металлической и твердосплавной основах малым временем спекания, удельной энергоемкостью, не превышающей 40 кДж/см^3 (по сравнению с горячим прессованием $2...2,5 \text{ МДж/см}^3$), и потребляемой мощностью силовой установки не более 3 кВт.

Спекание алмазного слоя с одновременным напеканием на стальной корпус благодаря сохранению свойств алмаза дает возможность получать правящие карандаши, сверла для обработки природного камня, а в перспективе и буровые коронки для геологоразведочных работ с высокими эксплуатационными свойствами при одновременном снижении энергоемкости их изготовления и себестоимости.

Литература:

1. Пат. 57471 А Україна, МПК В22F 3/14, В01J3/06. Технологічний вузол для електроспінання / В. П. Переяслов, С. А. Иванов, А. Л. Майстренко, Р.І. Соробей – Заявл. 24.10.02, Опубл. 16.06.03, Бюл. № 6.
2. Майстренко А. Л., Иванов С. А., Переяслов В. П., Волошин М. Н. Интенсивное электроспекание алмазосодержащих композиционных материалов // Сверхтв. материалы, № 5, 2000. – С.39–45.
3. Переяслов В.П., Иванов С.А. Майстренко А.Л. Шлифовальные головки для грубого, получистового и чистового шлифования гранита// Инструментальный світ. – 1999. – № 6. – С.31.
4. Иванов С. А., Переяслов В. П., Майстренко А. Л. Интенсивное электроспекание композиционных алмазосодержащих материалов для камнеобрабатывающего инструмента // Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия: 6-я междунар. науч.-техн. конф., Минск, 6–7 апреля 2004 г.: Материалы докл. / Ред.кол.: А.Ф.Ильющенко и др. – ОДО "Тонпик", 2004. –С. 253–254.

Поступила 05.06.2006 г.