

таты анализа экспериментальных зависимостей скорости изнашивания инструментов, оснащенных АКП и АТП, от скорости резания при точении покрытия с Al_2O_3 показывают, что при скорости резания до 0,9 м/с оба инструмента ведут себя аналогично. При скорости резания до 1,2 м/с более работоспособен инструмент, оснащенный АКП.

Инструменты, оснащенные ПКА, показали высокую работоспособность при обработке деталей, изготовленных из силицированного графита. Высокие производительность обработки и стойкость инструмента обеспечиваются при режимах резания $V = 0,8-1,0$ м/с; $S = 0,14-0,17$ мм/об; $t = 0,1-0,25$ мм.

Детали из углеродистого графита обрабатывают алмазным инструментом со скоростью резания 3,3–5,0 м/с.

Приведенные примеры показывают высокую эффективность и широкие возможности инструментов, разработанных и выпускаемых в ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, при точении деталей из широкой гаммы труднообрабатываемых материалов.

В статті показані переваги інструментальних полікристалічних матеріалів на основі алмазу і кубічного нітриду бору, які використовуються в різцях для точіння важкооброблюваних матеріалів. Наведено оптимальні режими різання вибілених і легованих чавунів, загартованих і марганцевистих сталей твердістю 60–63 HRC, напилених газополумєневих та наплавлених покриттів, а також кольорових сплавів і неметалічних матеріалів, таких як двоокис алюмінію, силицированного графіт, полімерні композити, зміцнені вуглецевим чи скловолокном.

Ключові слова: алмаз, кубічний нітрид бору, полікристалічний матеріал, покриття.

The advantages of Diamond and cubic Boron Nitride Super-Hard Polycrystalline Materials as tool goods for equipping of cutters for hard-to-machine materials turning are described in the article. The optimized cutting regimes of turning of alloyed cast iron, hardened and Manganese steels of 60–63 HRC hardness, electric welded and plasma-flame spattered coatings as well as color alloys and non-metallic alumina, silicon graphite, reinforced with glass and carbon fibers composites and polymer materials are presented.

Key words: diamond, cubic boron nitride, polycrystalline materials, coatings.

Поступила 07.06.11

УДК 621.922.079

Р. С. Шмегера

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

ИНТЕНСИВНОЕ ЭЛЕКТРОСПЕКАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТРИЦ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИТОВ В ПРИСУТСТВИИ ЖИДКОЙ ФАЗЫ

Исследовано влияние наличия жидкой фазы на кинетику интенсивного электроспекания и механические свойства ряда никелевых сплавов. Показано, что использование Sn в качестве активатора жидкой фазы позволяет производить алмазосодержащие композиты на металлической связке более высокой прочности и твердости в сравнении с обычным твердофазным электроспеканием.

Ключевые слова: алмазный композит, металлическая связка, электроспекание.

Традиционными методами производства алмазосодержащих композитов на металлической связке являются горячее прессование, горячее изостатическое прессование и свободное спекание (напр., [1, 2]). Указанные методы имеют один общий недостаток – длительное высокотемпературное воздействие на кристаллы алмаза, вызывающее их графитизацию и снижение прочности. Более перспективным для создания высокоэффективных алмазосодержащих композитов представляется метод интенсивного электроспекания (ИЭС), состоящий в быстром (в течение нескольких секунд) нагревании образца путем прямого пропускания электрического тока с одновременным приложением давления до 300 МПа. Преимущество данного метода состоит в том, что он позволяет получать высокопрочные композиты с низкой остаточной пористостью при сохранении исходных свойств алмазных частиц [3].

Одним из основных факторов, определяющим эксплуатационные характеристики алмазного композита, относится структурное состояние и обусловленные им физико-механические свойства

связки (обычно металла или сплава нескольких металлов). Традиционно в качестве металлического связующего в алмазосодержащих композитах используют медь, кобальт и сплавы на их основе. Не высокая прочность связок на основе меди не позволяет использовать потенциал высокопрочных марок алмазных порошков. Кобальт в этом отношении более эффективен, но также имеет недостатки, в частности, высокие стоимость и скорость окисления при хранении; последнее делает затруднительным спекание без восстановительной атмосферы. Вероятно, наиболее подходящим с технологической точки зрения является никель, однако высокая температура его плавления (1453 °С) затрудняет получение беспористого высокопрочного композита методом электроспекания, поскольку в этом случае оно происходит в твердой фазе. Снизить температуру спекания можно добавлением более легкоплавких компонентов, которые активно взаимодействуют с никелем, образуя жидкую фазу. Известно, что спекание в присутствии жидкой фазы позволяет значительно уменьшить остаточную пористость и улучшить технологические свойства композита [4].

Цель настоящей работы является доказательство, путем исследования влияния жидкой фазы на кинетику электроспекания и механические свойства никелевых сплавов, возможности получения алмазосодержащих композитов с высокопрочной металлической матрицей при температуре до 850 °С методом интенсивного электроспекания.

Методика и техника эксперимента

Экспериментальная часть работы включала (а) получение цилиндрических образцов методом ИЭС, (б) их металлографическое исследование, (в) измерение их микротвердости и (д) определение прочности на срез. Для изготовления образцов использовались порошки никеля ПНЕ-1, меди ПМС-1 и олова ПО-1. Исходные металлические порошки смешивались в барабанной мельнице в присутствии шаров из твердого сплава ВК6 в режиме сухого размолла в течение 8 ч. Было изготовлено пять образцов различного состава: 1 – Ni–100 %; 2 – Ni–90 %, Cu–10 %; 3 – Ni–88,5 %, Cu–10 %, Sn–1,5 %; 4 – Ni–87 %, Cu–10 %, Sn–3 %; 5 – Ni–85 %, Cu–10 %, Sn–5 %. Брикетты порошка массой 4 г формировались методом одноосного двустороннего холодного прессования в закрытой стальной пресс-форме под давлением 300 МПа. Начальная высота, пористость брикеттов составляла 8 мм, 40 %, соответственно.

Интенсивное электроспекание образцов осуществляли прямым пропусканием тока промышленной частоты плотностью до 25 А/мм² через образец при одновременном приложении к нему давления 150 МПа. Характерное время спекания образцов составляло 12–15 с, при этом температура спекания не превышала 850 °С. Как известно [1], указанное значение является пределом, выше которого деградируют прочностные свойства алмазов.

В проведенной серии спеканий усадка составляла 2,0 мм, напряжение холостого хода $U_0 = 3.0$ В. Типичные зависимости силы тока и усадки от продолжительности твердофазного спекания показаны на рис. 1 (образцы 1, 2). Аналогичные кривые для процесса электроспекания в присутствии жидкой фазы, наличие которой обеспечивалось добавлением в исходную смесь Sn в количестве от 1,5 до 5 % (образцы 3–5), показаны на рис.2. При спекании образцов с добавками Sn наблюдалось выдавливание жидкой фазы через боковую поверхность.

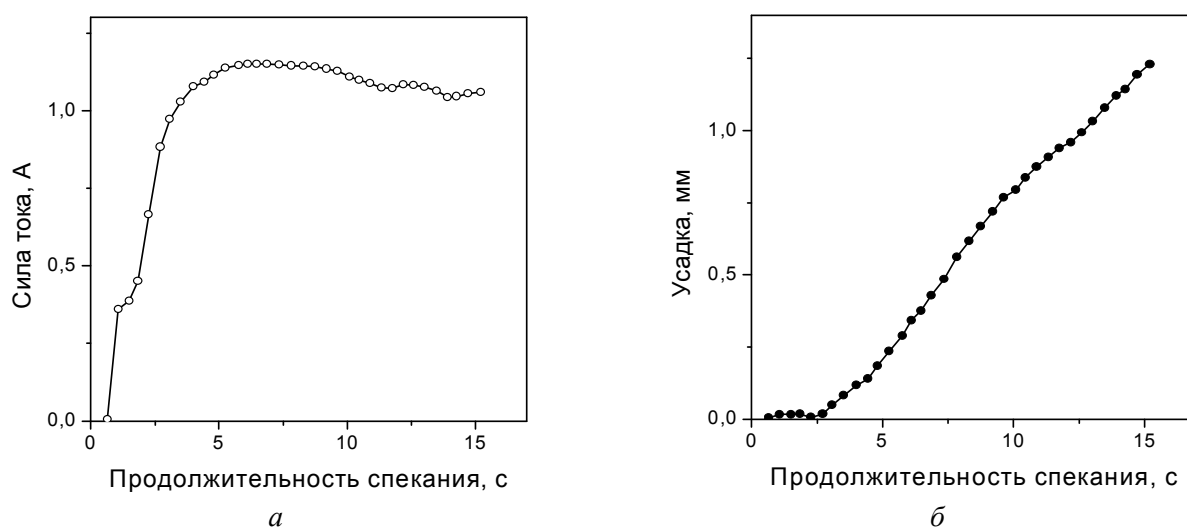


Рис. 1. Зависимость силы тока (а) и усадки (б) от продолжительности твердофазного электроспекания

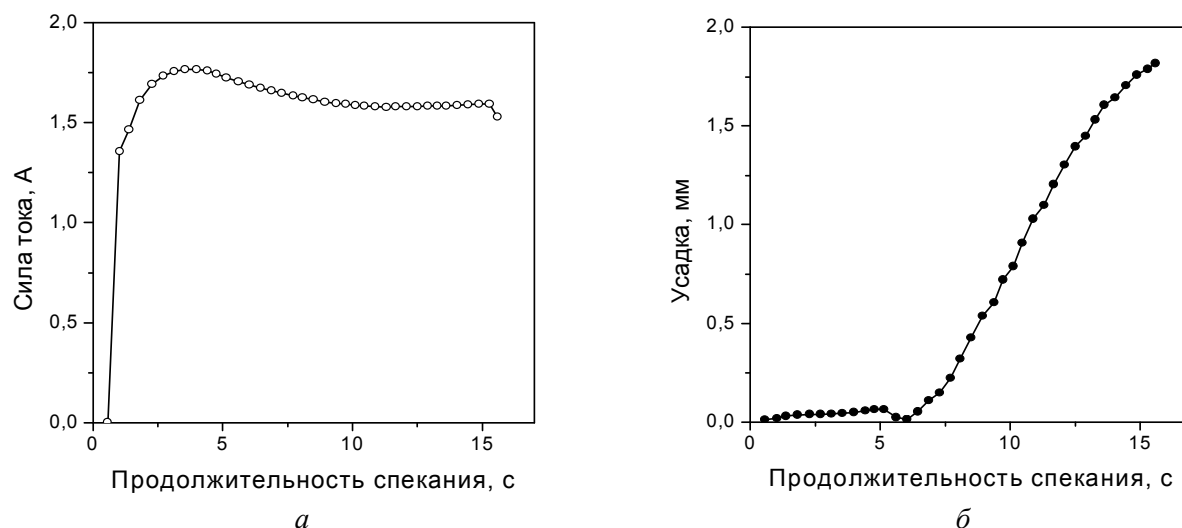


Рис. 2. Зависимость силы тока (а) и усадки (б) от продолжительности электроспекания в присутствии жидкой фазы

Торцевые поверхности спеченных образцов подвергали механической полировке. Микроструктуру образцов исследовали на металлографическом микроскопе. Микротвердость образцов измерялась на приборе ПМТ-3 по стандартной для метода Виккерса методике при нагрузках 10 и 200 г. В первом случае нагрузка составляла 10 г, размер отпечатка (5–10 мкм) сравним с характерным размером фазовой составляющей, что объясняет наблюдаемый значительный разброс значений твердости. Во втором случае (при нагрузке 200 г) размер отпечатка составлял 50–70 мкм и дает усредненное значение твердости образца. Результаты измерения твердости представлены в таб. 1. Здесь же приведены результаты измерения прочности на срез ($\sigma_{ср}$). Для ее определения использовалось специально изготовленное устройство, работающее по типу гильотины и совмещенное с измерительным прибором (датчиком силы). Напряжение среза определялось по формуле $\sigma_{ср} = F/S$, где F – приложенное усилие, S – площадь поперечного сечения образца.

Микротвердость и прочность на срез спеченных образцов

№	Состав образца	$HV(0,01)$, ГПа	$HV(0,2)$, ГПа	$\sigma_{ср}$, МПа
1	Ni	1,4–1,8	1,8	125
2	Ni–90% Cu–10%	0,4–1,8	1,6	170
3	Ni–88,5%, Cu–10%, Sn–1,5%	0,9–2,4	1,9	190
4	Ni–87%, Cu–10%, Sn–3%	1,5–3,6	2,2	320
5	Ni–85%, Cu–10%, Sn–5%	1,5–4,0	2,8	380

Результаты и их обсуждение

Сравнительный анализ зависимости силы тока от времени и кинетики усадки при твердофазном электроспекании (образцы 1–2, на рис. 1) и спекании в присутствии жидкой фазы (образцы 3–5, на рис. 2) указывает на различие физических механизмов формирования структуры. Наличие олова в смеси обеспечивает появление жидкой фазы уже на начальных стадиях процесса спекания, что значительно повышает проводимость образца в первую секунду спекания. Это следует из сравнения амплитуд силы тока при твердофазном спекании (см. рис. 1) и спекании в присутствии жидкой фазы (см. рис. 2). Сравнение этих данных показывает, что присутствие жидкой фазы и повышение амплитуды силы тока приводит к существенному (на 50 %) повышению скорости усадки. При высокой скорости нагревания и охлаждения, а также действию достаточно высокого для жидкофазного спекания давления образуется структура с особыми свойствами. В частности, наличие давления способствует более интенсивному распространению жидкой фазы, лучшему смешиванию и более однородному распределению по объему компонентов сплава.

Так, образец 1 представляет собой однофазную структуру с неоднородным распределением микротвердости по площади шлифа и низкой прочностью на срез (см. табл.). Также для этого образца наблюдались микротрещины в области отпечатка даже при нагрузке 10 г. Указанные особенности структуры и механических свойств объясняются высокими внутренними остаточными напряжениями и несовершенством межчастичных границ.

Образец 2 представляет собой никелевую матрицу с относительно равномерно распределенными включениями меди с четко очерченными границами. Наличие меди является причиной незначительного снижения твердости образца, при этом прочность на срез несколько повысилась в сравнении с однофазным образцом 1. Снижение микротвердости свидетельствует о незначительном твердофазном взаимодействии в системе Cu–Ni при температуре спекания, а повышение прочности на срез, вероятно, связано со снижением внутренних напряжений за счет высокопластичных включений меди.

Образец 3 содержащий 1,5 % Sn, характеризуется наличием трех фаз. Повышение микротвердости при нагрузке 200 г. и рост прочности на срез и значительное уменьшение включений чистой меди на поверхности шлифа свидетельствует об активном химическом взаимодействии Sn с Ni–Cu матрицей. Следует также отметить, что при испытании на микротвердость при нагрузке 10 г в образце 3 наблюдаются изолированные твердые включения, которые свидетельствуют об образовании интерметаллидной фазы.

Повышение содержания олова до 3 % (образец 4) существенно изменяет структуру и свойства сплава. Практически полностью отсутствуют медные включения, наблюдается повышение микротвердости, значительно повышается прочность на срез, а также появляется большое количество твердых интерметаллидных включений. Повышение концентрации до 5 % Sn (образец 5) приводит к дальнейшему повышению микротвердости и прочности. При этом сплав представляет собой отдельные частицы никеля размером 10–20 мкм, окруженные расплавом Cu–Sn–Ni с твердыми интерметаллидными включениями.

Выводы

Использование метода интенсивного электроспекания системы Cu–Sn–Ni с активатором жидкой фазы позволяет получать металлические связки с значительно повышенными (в сравнении с твердофазным электроспеканием) механическими свойствами. Технологические параметры процесса, в частности температура и время спекания находятся ниже порога деградации прочностных свойств синтетических алмазов, поэтому метод можно применять для получения высококачественных алмазосодержащих композитов на металлической связке. Спекание в присутствии жидкой фазы позволяет также снять внутренние напряжения в объеме изделия, вызванные приложенным давлением. Кроме всего прочего, достаточно высокое давление при наличии жидкой фазы способствует образованию на поверхности образца легкоплавкой оболочки, препятствующей его окислению.

Таким образом, методом интенсивного электроспекания при температуре ниже 850 °С получен прочный износостойкий никелевый сплав с удовлетворительными пластическими свойствами, который можно использовать в качестве матрицы алмазосодержащих композиционных материалов.

Досліджено вплив наявності рідкої фази на кінетику інтенсивного електроспекання і механічні властивості ряду нікелевих сплавів. Показано, що використання Sn в якості активатора рідкої фази дозволяє виробляти алмазовмісні композити на металевій зв'язці більш високої міцності і твердості у порівнянні зі звичайним твердофазним електроспеканням.

Ключові слова: алмазний композит, металева зв'язка, електроспекання.

An effect of liquid metal phase on the kinetics of intensive electrosintering and the mechanical properties of the obtained by this way nickel-based alloys are investigated. It is shown that Sn being the liquid phase activator enables fabrication of the diamond composite with metal matrix possessing substantially improved strength and hardness as compared with that produced by conventional solid phase electrosintering.

Key words: diamond composite, metal matrix, electrosintering.

Литература

1. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: (в 6 т.) / Под общ. Ред. Н.В. Новикова. Т. 3. Композиционные инструментальные материалы. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2005. – 280 с.
2. Бондаренко Н.А., Жуковский А.Н., Мечник В.А. Основы создания алмазосодержащих композиционных материалов для породоразрушающих инструментов / Под ред. Н.В. Новикова. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – 456 с.
3. Майстренко А.Л., Иванов С.А., Переяслов В.П., Волошин М.Н. Интенсивное электроспекание алмазосодержащих композиционных материалов // Сверхтвердые материалы. – 2000. – №5. – С. 39–45.
4. Скороход В.В. Порошковые материалы. К.: Техника, 1982. –168с.

Поступила 30.05.11