

УДК 621.9.025.7

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЛЕЗВИЙНОГО ИНСТРУМЕНТА, ОСНАЩЕННОГО АЛМАЗНО-ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

И.Л. ПОБОЛЬ, И.Г. ОЛЕШУК
(Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск)

Исследованы физико-химические процессы, протекающие в паяных соединениях алмазно-твердосплавный элемент – металлическая основа. Для УП «Минский моторный завод» разработана технология электронно-лучевой пайки канавочных резцов. Испытания инструмента, оснащенного алмазно-твердосплавным элементом, показали, что шероховатость обработанной поверхности канавки поршня составила $R_a \leq 0,63$ мкм.

Введение. В последние десятилетия широкое распространение для обработки высокопрочных и труднообрабатываемых материалов получил инструмент на основе синтетических алмазов. Поликристаллическим алмазам (ПКА) свойственны высокие твердость, износостойкость, теплопроводность, низкий коэффициент трения, большой рабочий ресурс, надежность и долговечность [1].

С целью экономии алмазных порошков, удешевления материала и обеспечения технологичного крепления в инструменте разработаны алмазно-твердосплавные пластины (АТП), которые получают путем спекания с твердосплавной подложкой в условиях сверхвысоких давлений. Перспективным является применение режущего инструмента, оснащенного алмазно-твердосплавными элементами (АТЭ), для обработки цветных металлов, в том числе эвтектических и заэвтектических кремний-алюминиевых сплавов, используемых для изготовления поршней. Хорошие результаты такие резцы показали также в случае замены операции шлифования деталей типа торцовых уплотнений, втулок, подшипников из керамических материалов (силицированного графита, SiC, Al₂O₃ и т.п.) точением [2].

Лезвийный инструмент, оснащенный АТЭ, обладает эксплуатационной стойкостью в десятки раз выше, чем традиционный твердосплавный. Скорость резания такими резцами составляет до 500...3500 м/мин. При этом достигается более высокое качество обрабатываемой поверхности ($R_a = 0,4...1,25$ мкм) и значительно сокращается время на подналадку металлорежущего оборудования. В Беларуси аналогичный инструмент до настоящего времени не выпускался.

Целью работы являлось исследование физико-химических процессов, протекающих на границах раздела АТЭ – припой – основа, разработка технологии электронно-лучевой (ЭЛ) пайки резцов, а также выбор параметров заточки и доводки инструмента.

Материалы, оборудование, методики экспериментов. Конструкцию инструмента и технологию его изготовления определяют физико-механические свойства, форма и размеры заготовок из сверхтвердых материалов. Наиболее важными технологическими операциями являются получение неразъемных соединений ПКА и державок и операции по формообразованию режущих лезвий – шлифовка, заточка и доводка.

В качестве инструментального материала ПКА применяли АТП производства *Института сверхтвердых материалов (ИСМ)* НАН Украины. Пластины имеют форму диска диаметром 8 или 13,5 мм и толщиной 3 или 3,5 мм, толщина алмазного слоя составляет 0,3...0,8 мм.

Основные физико-механические характеристики АТП производства ИСМ:

- термостойкость 950...1000 К
- твердость по Кнупу 50 ГПа
- прочность при растяжении 0,3...0,4 ГПа
- прочность при круговом изгибе 0,8...0,85 ГПа
- трещиностойкость 10...13 МПа/м^{1/2}
- плотность поликристаллического слоя 3,74...3,77 г/см³

Отличительной чертой АТП по сравнению с другими СТМ является то, что по мере износа алмазного слоя кромка его остается практически острой, благодаря особой структуре алмазного слоя, состоящего из алмазного каркаса довольно крупных зерен. Между крупными зернами расположены мелкие и кобальтовая связка.

Нами успешно опробовано использование материалов некоторых других предприятий – **Comph** фирмы **GE Superabrazives**, **Syndite** разных модификаций, а также новый материал **CVD Diamond** компании **De Beers** (сейчас – **e6, Element Six**).

Из алмазно-твердосплавных пластин методом электроэрозионной обработки вырезали элементы требуемой формы в соответствии с конструкцией резцов.

Для получения соединений АТЭ с металлической основой применяли электронно-лучевую пайку в вакууме, обеспечивающую высокую локальность воздействия и возможность подачи строго ограниченного количества энергии в зону нагрева. Это снижает опасность перегрева частиц алмаза в ходе процесса пайки и предотвращает их графитизацию. Важным условием сохранения физико-механических свойств алмазосодержащего слоя является правильный выбор припойного сплава и технологических параметров электронно-лучевого нагрева [1, 3].

Пайку АТЭ с основой (сталь, твердый сплав) осуществляли припоем СВ1 (Ag-Cu-In-Ti) производства *Degussa*, достоинством которого являются высокие пластичность, механическая прочность, хорошая коррозионная стойкость. Соединения хорошо сопротивляются ударным и вибрационным нагрузкам и выдерживают значительные деформации.

Для получения паяных соединений использовали электронно-лучевое сварочное оборудование, созданное в ФТИ НАН Беларуси на основе аппаратуры ЭЛА-15 (производства СЭЛМИ, Сумы, Украина), оснастку, обеспечивающую постоянное механическое давление на АТЭ. Заготовка реза размещается в приспособлении и фиксируется в ней благодаря воздействию прижимающих узлов. Пайку проводили в вакууме 10^{-2} Па (время выдержки при выбранной температуре 1, 2 и 3 мин).

Для изучения процессов взаимодействия в области паяного соединения из полученных заготовок изготавливали образцы, которые подвергали механической шлифовке и полировке. Исследование распределения химических элементов на границах раздела твердый сплав ВК8 – припой и припой – сталь 40 осуществляли на рентгеновском микроанализаторе LEO 1455VP. Проводили линейное сканирование по всем элементам, входящим в состав припойного сплава, а также по Fe, W и Co.

Исследование диффузионных процессов в паяных соединениях. Исследованы физико-химические процессы, протекающие на межфазных границах АТЭ – припой – сталь при электронно-лучевом нагреве. Микрорентгеноспектральный анализ показал, что уже в случае времени выдержки при температуре пайки 1 мин на границе раздела ВК8 – припой наблюдается диффузия W и Co из твердого сплава в припой на глубину до 4...5 и 10 мкм соответственно (рис. 1, а). При этом в припое на глубине 8 мкм от границы раздела выявлено резкое увеличение концентрации Ti с 3 масс. % до 20 % и Co до 8 %, что свидетельствует об образовании химического соединения. Проникновения элементов из припоя в твердый сплав при выдержке в течение 1 мин не обнаружено.

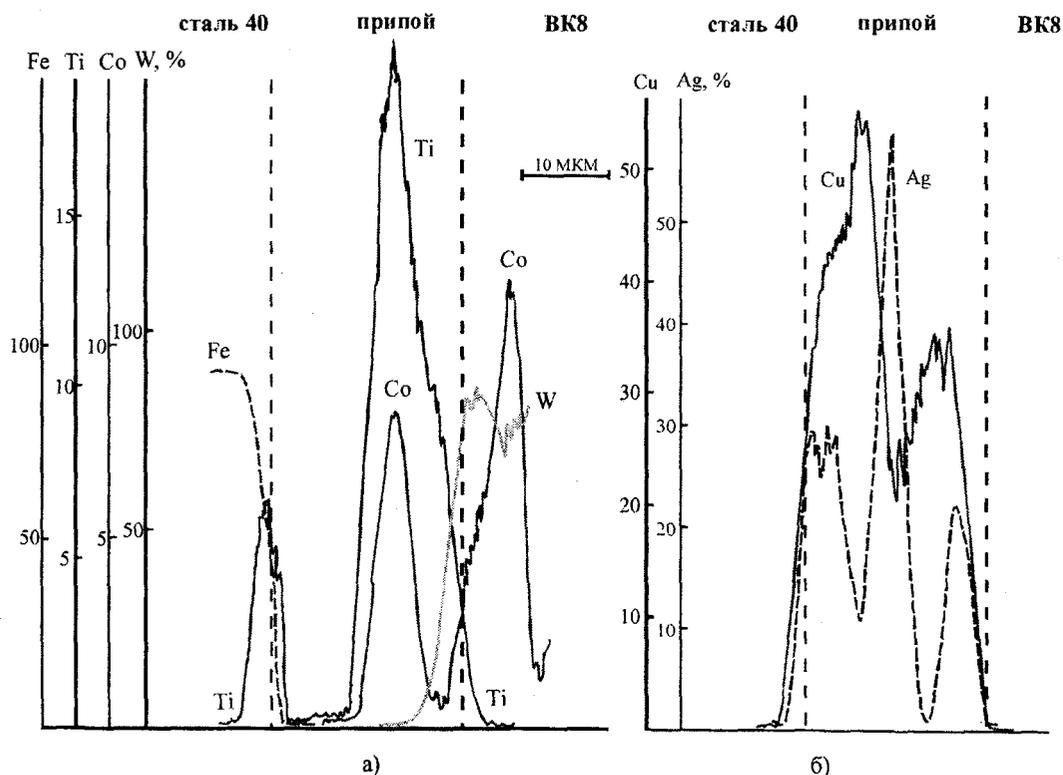


Рис. 1. Распределение Fe, W, Co и Ti (а); Cu и Ag (б) в соединении твердый сплав ВК8 – припой СВ1 – сталь 40 (время выдержки при температуре пайки 1 мин)

Вблизи границы раздела припой – сталь 40 имеет место резкое снижение концентрации Fe (рис. 1, а) и увеличение концентрации Ag, Ti и Cu (рис. 1, б). Кроме того, происходит диффузия элементов из припоя в сталь на глубину до 2...4 мкм. При выдержке паяемой композиции 2 мин на границах раздела ВК8 – припой – сталь наблюдаются сходные с предыдущим случаем процессы.

При нагреве соединяемых материалов в течение 3-х мин на границе ВК8 – СВ1 происходит диффузия Ag и Cu из припоя в твердый сплав до 2 и 4 мкм соответственно. Кроме того, наблюдается проникновение Co в припой на глубину до 25 мкм. Значительного перераспределения химических элементов вблизи границы раздела припой – сталь 40 не происходит.

Разработка технологии электронно-лучевой пайки резцов. На основе проведенных исследований для УП «Минский моторный завод» разработан технологический процесс электронно-лучевой пайки резцов 2126-5070-1, предназначенных для обработки поршневых канавок. Техпроцесс включает следующие операции:

- подготовительную, в результате которой из припоя СВ1, выпускаемого в виде фольги, вырезается сегмент по контуру паяемого алмазно-твердосплавного элемента;
- очистку паяемых поверхностей державки и АТЭ;
- монтаж паяемой композиции в технологическую оснастку, установку оснастки с заготовками в вакуумной камере и откачку воздуха из камеры до давления не выше $1 \cdot 10^{-2}$ Па;
- электронно-лучевую пайку;
- охлаждение заготовки инструмента в вакууме;
- визуальный контроль качества паяного соединения.

Выбор режимов заточки и доводки резцов, оснащенных алмазосодержащими материалами. Для использования алмазосодержащего инструмента с большим экономическим эффектом необходимо иметь отработанные режимы резания, геометрические параметры инструмента и правильно выбранное и подготовленное оборудование.

В связи с повышенной чувствительностью инструментов из СТМ к вибрациям и ударным нагрузкам к станкам, используемым для обработки режущих элементов, предъявляются повышенные требования в отношении точности, виброустойчивости и жесткости. Заточка резцов, оснащенных алмазосодержащими материалами, осуществляется с использованием охлаждающих жидкостей на повышенных оборотах шпинделя (от 3000 до 10000 об/мин). Чем выше скорость резания, тем более эффективно выполняется заточка и более качественные получаются режущие кромки.

Технологический процесс обработки режущих лезвий алмазосодержащего инструмента включает в себя 3 операции: черновую, чистовую и доводку. Шлифование инструментов осуществляют алмазными кругами на органических, металлических или керамических связках с последовательно уменьшающейся зернистостью.

Трудность обработки инструментов, оснащенных АТЭ, обусловлена прежде всего тем, что твердость абразивного материала соизмерима или незначительно превосходит твердость обрабатываемого. Вследствие высокой интенсивности изнашивания зерен возникает необходимость поддержания постоянной развитости микро- и субмикрорельефа рабочей поверхности круга.

Выбраны геометрические параметры алмазосодержащих резцов для обработки кремний-алюминиевого сплава АЛ25, используемого для изготовления поршней: передний угол $\gamma = 0^\circ$, задний угол $\alpha = 8^\circ$, радиус вершины $r = 0,3$ мм.

Черновое шлифование заготовок инструмента выполняли чашечными алмазными кругами 12А2 зернистостью 125/100, чистовое – 63/40. Контроль за качеством заточки осуществляли при помощи оптики с увеличением от 7 до 30 раз.

Нами освоено изготовление резцов ряда типоразмеров (например, показанных на рис. 2) для лезвийной обработки труднообрабатываемых материалов (силицированного графита, SiC, Al_2O_3 и т.п.), в том числе взамен их шлифования.

На УП «Минский завод автоматических линий» проведены испытания опытных образцов канавочных резцов 2126-5070-1 и 2126-5070-2 на специализированном станке СМ1733Н01. Лезвийную обработку проводили по следующим режимам:

- скорость резания 1500 м/мин;
- подача 0,045 мм/об;
- глубина резания 0,15 мм.

Установлено, что шероховатость обработанной поверхности канавки поршня составила $R_a \leq 0,63$ мкм.

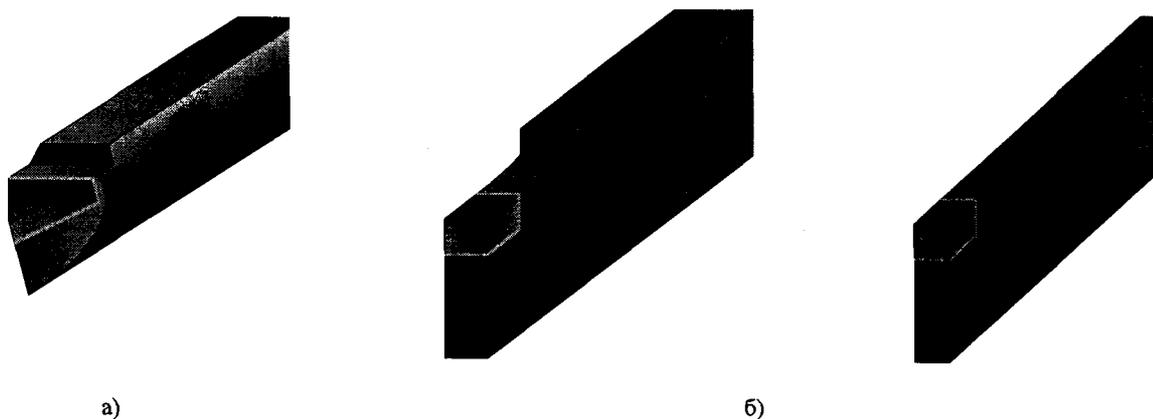


Рис. 2. Типы изготавливаемых режущих инструментов, оснащенных АТЭ:
а – расточной резец; б – канавочные резцы

Выводы. Для получения прочных неразъемных соединений алмазно-твердосплавных элементов с основной перспективной является электронно-лучевая пайка в вакууме. Легко регулируется скорость нагрева паяемых заготовок, обеспечивается высокая локальность воздействия.

Исследование физико-химических процессов, протекающих на межфазных границах АТЭ – припой Ag-Cu-In-Ti – сталь 40 при электронно-лучевом нагреве, показало, что в случаях выдержки при температуре пайки 1 и 2 мин соединение формируется за счет активного перемещения атомов W и Co из твердого сплава в припой и диффузии Ag, Cu и Ti из припоя в стальную основу. В случае электронно-лучевого нагрева соединяемых материалов в течение 3 мин на границах раздела происходит образование промежуточных слоев продуктов реакции, препятствующих дальнейшей диффузии указанных выше химических элементов, и возникновение встречных потоков атомов Cu и Ag из припоя в твердый сплав, а также атомов Fe из стали в припой.

Разработан технологический процесс электронно-лучевой пайки инструмента. Рекомендованы оптимальные геометрические параметры канавочных резцов, оснащенных АТЭ, для обработки кремний-алюминиевого сплава АЛ25: передний угол $\gamma = 0^\circ$; задний угол $\alpha = 8^\circ$; радиус вершины $r = 0,3$ мм. Изготовлены опытные образцы инструмента и проведены их испытания. Установлено, что шероховатость обработанной поверхности канавки поршня составила $R_a \leq 0,63$ мкм.

Работа финансировалась в рамках ГНТП освоения новых и высоких технологий, задание 5.5.10 и ГПОФИ «Материал», задание 1.05.

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструмент, оснащенный алмазосодержащим материалом / И.Л. Поболь, И.Г. Олешук, В.В. Ничипор, В.А. Михайлов // Теоретические и технологические основы упрочнения и восстановления изделий машиностроения. – Мн.: Технопринт, Новополоцк: ПГУ, 2001. – С. 660 – 664.
2. Pobol I.L., Gordienko A.I. Tools Provided with Polycrystal Diamond for Cutting of Difficult-to-Work Materials // Euro PM 2004 Conference Proceedings, Vienna, Austria, 17 – 21 October 2004 г. – Vienna, 2004. – V. 3: Sintered Steels, PM Tool Materials. Austria International Centre. – P. 657 – 662.
3. Гаргин В.Г. Влияние продолжительности нагрева на прочность синтетических алмазов // Сверхтвердые материалы. – 1980. – С. 23 – 25.