



РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПАЙКИ АЛМАЗНО-ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЗЦОВ

Б. В. СТЕФАНОВ

ИЭС им. Е. О. Патона НАНУ. 03680, г. Киев-150, ул. Боженко, 11, E-mail: office@paton.kiev.ua

Исследовано влияние температуры пайки на работоспособность алмазно-твердосплавных пластин (АТП) и алмазно-твердосплавных резцов (АТР). Установлено, что применение медно-цинковых и медно-марганцовистых припоев для пайки составного резца не является оптимальным из-за высокой температуры нагрева, что приводит к резкой деградации физико-механических свойств алмазного слоя АТП вследствие графитизации. Разработана технология пайки АТП с твердосплавной державкой, которая обеспечивает необходимые характеристики алмазного слоя как режущего инструмента. Разработан технологический процесс пайки АТР (АТП+ТД), позволяющий осуществлять пайку АТР с ТД без перегрева алмазного слоя АТП и сохранить его эксплуатационные характеристики на высоком уровне. Большое внимание уделено оценке работоспособности алмазного слоя АТР после нагрева под пайку путем строжки определенной горной породы. Показано, что предложенная технология пайки АТР с охлаждением алмазного слоя позволяет применять припои с температурой пайки более 700 °С без потери работоспособности этого слоя. В процессе исследований испытаны стандартные и разработанные в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины припои. В результате обобщения комплекса испытаний сделан вывод, что наиболее перспективными являются системы припоев Ag–Cu–Zn–Sn–Ni–Mn и Ag–Cu–Zn–Ni–Mn–Pd. Разработанная технология применена в изделиях и испытана в реальных условиях эксплуатации. Библиогр. 9, табл. 2, рис. 4.

Ключевые слова: пайка, припой, сверхтвердые материалы, алмазный слой, алмазно-твердосплавный резец, алмазно-твердосплавная пластина, твердосплавная державка, графитизация, долото, термостойкость

Для бурения нефтяных и газовых скважин в мягких, средних и твердых горных породах применяют буровые долота, резцы, вставки и другие типы инструментов, оснащенные режущими элементами в виде двухслойных алмазно-твердосплавных пластин (АТП) и алмазно-твердосплавных резцов (АТР). В Украине АТП изготавливают в Институте сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины (ИСМ). Они представляют собой двухслойные пластины [1] диаметром 13,5 мм и высотой 3,5 мм, один слой которых высотой 0,5...0,8 мм является алмазным поликристаллом, а другой — подложкой из твердого сплава. Поэтому для создания АТР необходимых размеров по высоте нужно соединить АТП с твердосплавной державкой (ТД).

Следует отметить, что зарубежные фирмы, например «Element-six», «Smith», «Hugnes», «Reed», «Security», «Ulterra» и «De Beers» изготавливают АТР необходимых размеров по высоте резца и операция пайки АТП к подложке из твердого сплава при их изготовлении не требуется.

Цель настоящей работы — разработка технологии пайки АТП с ТД, обеспечивающей минимальное влияние нагрева на свойства алмазного слоя, т. е. сохраняющей при этом физико-технологические характеристики алмазного слоя как режущего инструмента. Они в свою очередь влияют на механическую скорость и величину проходки

долота. В данной статье приведены результаты исследований по креплению АТП к ТД методом пайки твердыми припоями. Исследованы АТР, изготавливаемые ведущими зарубежными фирмами и отечественным производителем.

АТР фирмы «Element-six» (Великобритания) марки «Syndrill» и АТП ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины исследовали на термо- и износостойкость. Термин термостойкость АТП и АТР определяет границы температуры и времени нагрева, при которых алмазосодержащий слой сохраняет свои физико-механические характеристики, особенно показатели износостойкости. Это касается как процесса спекания пластин, так и их эксплуатации. Чем выше значение термостойкости АТП, тем лучше перспективы их использования для бурения нефтяных и газовых скважин алмазными буровыми долотами.

Нагрев АТП и АТР проводили в муфельной печи в температурном интервале 500...1000 °С в течение от 1 до 20 мин. Анализ полученных результатов показывает, что температура и время выдержки значительно влияют на термостойкость АТП и АТР (рис. 1). Для АТП отечественного производства нагрев при температуре выше $T = 650$ °С и выдержке 3 мин приводит к деградации алмазного слоя. Значительно лучшие результаты по термостойкости в сравнении с АТП получены для АТР фирмы «Element-six» марки «Syndrill». Их термостойкость составляет 850 °С при времени нагрева 3 мин.

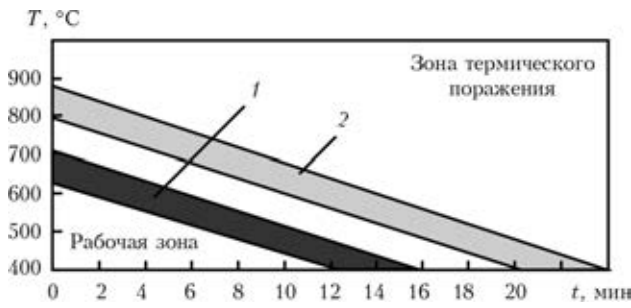
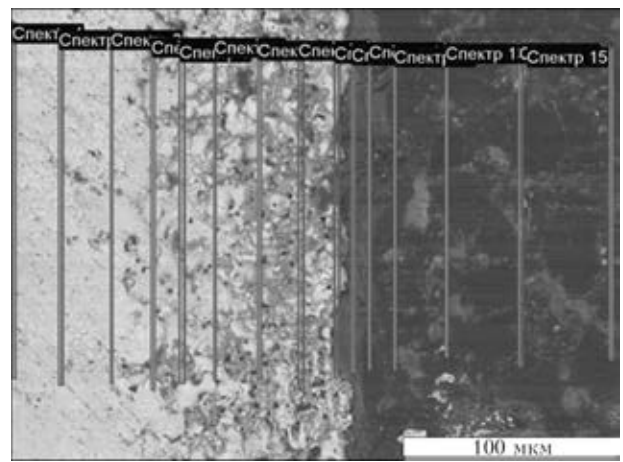
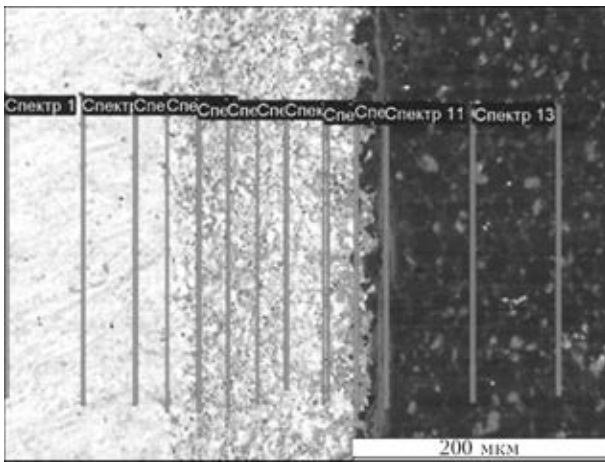


Рис. 1. Области термостойкости АТП и АТР: 1 — серийная технология ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины; 2 — технология фирмы «Element-six» (марка «Syndrill»)

Для определения различий в термостойкости АТП ИСМ им. В. Н. Бакуля НАНУ и АТР фирмы «Element-six» марки «Syndrill» провели исследования микроструктуры алмазосодержащего слоя (рис. 2). Из результатов исследований вытекает, что причиной низкой термостойкости образцов АТП (ИСМ им. В. Н. Бакуля НАНУ) является большое содержание кобальта в алмазном слое. Проведенные исследования на электронном микроскопе Zeiss EVO 50 XVP позволили установить, что в образцах АТР фирмы «Element-six» марки «Syndrill» наблюдается равномерное распределение кобальта в алмазосодержащем слое и его количество составляет 7 мас. %, в отличие от отечественных АТП, где количество кобальта сос-



Номер спектра	C	Co	W
1	28,72	4,24	67,04
2	30,70	4,04	65,26
3	31,00	3,19	65,81
4	35,78	2,73	61,49
5	44,06	3,61	52,33
6	48,21	3,36	48,43
7	46,95	3,23	49,82
8	38,77	2,74	58,49
9	34,18	3,73	62,09
10	40,71	6,97	52,32
11	93,01	2,34	4,65
12	95,95	1,70	2,35
13	95,11	2,53	2,36
Среднее значение	51,01	3,42	45,57
Стандартное отклонение	25,63	1,28	24,96
Максимальное значение	95,95	6,97	67,04
Минимальное значение	28,72	1,70	2,35

Номер спектра	C	Co	W
1	13,28	12,72	73,99
2	8,25	11,66	80,10
3	10,50	11,30	78,19
4	21,96	9,62	68,42
5	19,36	9,82	70,83
6	15,23	8,16	76,61
7	14,22	6,60	79,18
8	12,60	8,33	79,07
9	6,69	11,95	81,36
10	10,07	26,01	63,92
11	71,73	9,62	18,64
12	89,85	4,06	6,09
13	87,66	3,84	8,50
14	88,58	4,97	6,45
15	93,54	3,60	2,87
Среднее значение	37,57	9,48	52,95
Стандартное отклонение	36,13	5,51	33,01
Максимальное значение	93,54	26,01	81,36
Минимальное значение	6,69	3,60	2,87

а

б

Рис. 2. Микроструктуры и элементный состав спектров (мас. %) АТР фирмы «Element-six» марки «Syndrill» (а) и АТП ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины (б)

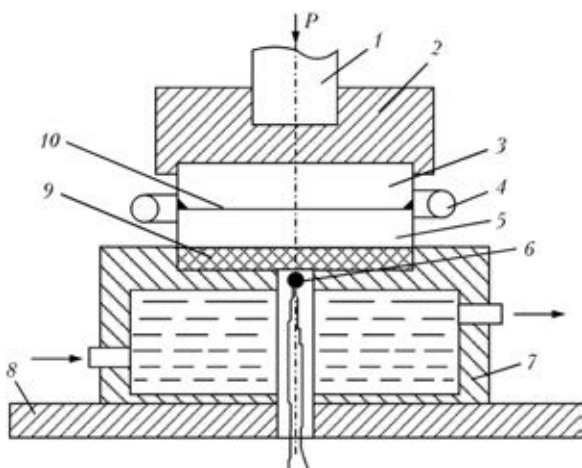


Рис. 3. Схема устройства для индукционной пайки АТР: 1 — суппорт; 2 — керамическая вставка; 3 — ТД; 4 — индуктор; 5 — АТП; 6 — термопара; 7 — холодильник; 8 — основание; 9 — алмазоносный слой; 10 — паяный шов

тавляет 26 мас. %. Увеличение содержания кобальта и уменьшение содержания углерода отрицательно влияют на термо- и износостойкость (снижают их значения). Это следует учитывать при соединении АТП (ИСМ им. В. Н. Бакуля НАНУ) с ТД.

При нагреве АТП до критической температуры (670...700 °С) [2] физико-механические свойства алмазного слоя резко деградируют вследствие диффузионного взаимодействия между алмазными частицами и кобальтом. Происходит графитизация поликристаллических синтетических алмазов, образование трещин, вызванных различием коэффициентов теплового расширения алмаза и кобальта, и, как следствие, разрушение алмазного слоя.

Ранее исследования процессов пайки АТР проводили в ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины [3]. Для экспериментальной отработки технологии пайки АТР использовали медно-цинковые припои марок Л63, ЛНКоМц 49-9-0,2-0,2, ЛНМц 60-9-5, МНМц 68-4-2, ЛМцЖ 51-1,5-0,75 с температурным интервалом плавления этих припоев от 880 до 1000 °С. Однако температура плавления этих припоев на 150...250 °С выше температуры деструкции синтетических алмазов, что требовало применения специальных мер по охлаждению алмазного слоя при пайке. Наибольшие трудности при отработке технологии пайки АТР представлял нагрев поверхности подложки АТП до температуры, обеспечивающей растекание припоя, при интенсивном одновременном охлаждении алмазного слоя.

Так как, по мнению авторов этой работы, температура алмазного слоя АТП не должна превышать 700...720 °С, а температура пайки поверхности подложки АТП должна составлять не менее 930...950 °С, то градиент температур по высоте АТП должен быть порядка 80...90 °С/мм. Анализ процесса образования паяного шва и его состо-

яние после испытания на срез показал, что лучшие и наиболее стабильные результаты были получены при использовании припоя ЛНКоМц. Однако авторы не приводят данные по износостойкости паяных соединений, что является основной характеристикой при эксплуатации буровых долот.

При соединении АТП с ТД фактически осуществляется пайка двух твердых сплавов, поскольку алмазное покрытие расположено на наружной поверхности АТП. Температура графитизации каждой марки синтетических поликристаллических алмазов зависит от многих факторов, в том числе степени чистоты (количества примесей металлов-катализаторов), среды нагрева и времени выдержки при повышенной температуре [4]. Такие особенности синтетических алмазов необходимо учитывать при выборе состава припоя, его температурного интервала плавления. В ИЭС им. Е. О. Патона проведены широкие исследования в этом направлении [5–7].

В результате исследований термостойкости АТР и АТП (см. рис. 1) установлено, что алмазный слой в отечественных АТП деградирует при температуре 650...680 °С. Поскольку существующие припои имеют температуру ликвидуса выше 700 °С, то для соединения АТП с ТД разработан метод пайки с принудительным охлаждением АТП. Это требование реализовано на специально спроектированной установке, имеющей оригинальное устройство (рис. 3), которое позволяет осуществлять совместный или раздельный нагрев АТП и ТД, замерять температуру на поверхности алмазного слоя АТП, а также изменять температуру нагрева и охлаждения АТП и ТД.

Расчет индуктора для пайки представляет значительные трудности. Вследствие поверхностного эффекта плотность тока неравномерно распределена по сечению индуктирующего провода. Фактически большинство индукторов для пайки, особенно на радиочастотах (СВЧ), делают на основании экспериментальных данных с последующей доводкой их после проверки в работе. При проектировании индуктора стремились к применению охватывающей конструкции, когда индуктор располагается снаружи паяемого изделия и повторяет конфигурацию узла в зоне пайки. Охватывающие индукторы характеризуются наиболее высоким КПД и обеспечивают более равномерный нагрев [8].

При конструировании паяемых деталей нами предусмотрена возможность размещения индуктора такой конфигурации, которая обеспечила бы прогрев требуемой зоны. Положение индуктора выбрано с учетом массы, теплофизических свойств материалов с таким расчетом, чтобы соединяемые части достигали температуры пайки одновременно.

Температуру нагрева АТП+ТД определяли с помощью термопар типа ТХА двухканального из-

мерителя-регулятора типа ТРМ 202. В результате проведенных экспериментов выбрали местоположение индуктора к сопрягаемым составным частям АТР. Нагрев вели от более массивной детали, учитывая, что менее массивная деталь может нагреться как индукционными токами, так и за счет теплопередачи от массивной детали (рис. 4). Для повышения эффективности нагрева зазор между индуктором и нагреваемой поверхностью деталей выбрали минимальным в пределах 5...7 мм.

Продолжительность нагрева при пайке существенно влияет на качество паяных соединений. Малое время нагрева (менее 5...10 с) недостаточно для завершения процесса очистки флюсом паяемых поверхностей и достижения всеми элементами, участвующими в пайке, одинаковой температуры. При более продолжительном времени нагрева происходит окисление припоя и паяемого металла, что приводит к ухудшению результатов (дефектам) паяных соединений.

В результате проведения экспериментов по отработке технологических приемов и режимов нагрева построен график распределения температуры в теле паяемых деталей. На рис. 4 представлены кривые распределения температуры при индукционном нагреве твердосплавной подложки при условии, что на глубине 0,1 см температура равна 700 °С. Из приведенных данных следует, что чем меньше глубина проникновения тока, тем выше температура поверхности и ниже температура в более глубоких слоях. В нашем случае выбран индуктор, который дает равномерный нагрев температурного поля паяемых деталей.

Для выбора оптимального состава припоя при получении АТР необходимо определить прочность на срез паяных соединений и износостойкости. На первом этапе при пайке образцов для испытаний на срез применяли припои, приведенные в табл. 1. Там же приведены результаты испытаний, осуществляемые с помощью специаль-

Таблица 1. Прочность на срез соединений твердосплавных пластин ВК8+ВК8

Номер образца	Марка или система припоя	$T_n, ^\circ\text{C}$	Усилие сжатия P , кг	Прочность на срез $\tau_{ср}$, МПа
1	Ag-Cu-Zn-Ni-Mn	700	3217	225
2	Ag-Cu-Zn-Ni-Mn-2Pd	730	3575	250
3	ПМ-50	850	4032	282
4	ПМ-72	950	3675	257
5	ПСр-40	620	3500	245
6	Ag-Cu-Zn-Ni-Mn-5Pd	750	4500	315
7	Ag-Cu-Zn-Sn-Mn-Ni	750	5634	394

ного устройства на разрывной машине Р-05 в ИСМ им. В. Н. Бакуля НАНУ.

На втором этапе — при определении износостойкости соединяли АТР+ТД. Для этого изготовили АТР с помощью упомянутых выше припоев и провели испытания на износостойкость алмазного слоя АТР на специальном стенде, который имитирует реальные условия эксплуатации. Сущность этого метода [9] заключается в том, что производят трение испытуемого образца об абразивную поверхность и затем определяют интенсивность его изнашивания. Другими словами, осуществляют строжку той горной породы, для которой предназначен данный образец.

Пайка АТР без охлаждения различными припоями приводит к полному износу алмазного слоя. Результаты испытаний на износостойкость показали, что при пайке припоями марок ПМ-50 и ПМ-72 АТР характеризуются наименьшей износостойкостью даже при наличии охлаждения и не могут применяться при изготовлении бурового инструмента, хотя при исследовании смачивания твердосплавного материала данные припои показали один из наилучших результатов и удовлетворительную прочность на срез.

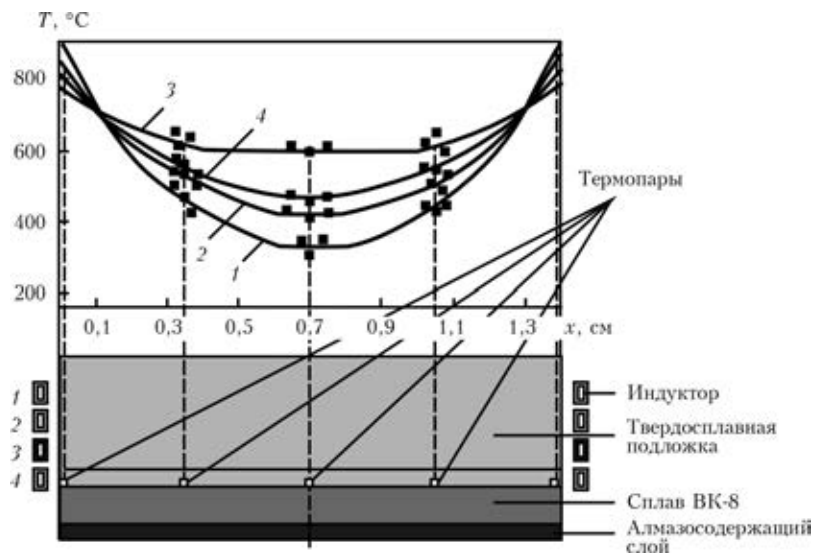


Рис. 4. Влияние положения индуктора (1–4) относительно заготовки на распределение температур по сечению твердосплавной подложки



Таблица 2. Испытания на износостойкость твердосплавных пластин АТР

Номер образца АТР (АТП+ТД)	Система легирования припоя	Охлаждение АТП	Путь резания, м (порода — песчаник)	Величина износа по одной грани h , мм
1	Ag-Cu-Zn-Cd (ПСр-40)	Есть	50	0,15...0,2
2	Ag-Cu-Zn-Ni-Mn	»	50	0,18...0,2
3	Ag-Cu-Zn-Ni-Mn-5Pd	Нет	30	Полный износ
4	Ag-Cu-Zn-Ni-Mn-5Pd	Есть	50	0,15...0,22
5	Cu-Zn-Mn-Ni-Sn-Cr (ПМ-50)	Нет	20	Полный износ
6	Cu-Zn-Mn-Ni-Sn-Cr (ПМ-50)	Есть	50	1,5...2,0
7	Cu-Mn-Ni-Si-Fe (ПМ-72)	»	15	Полный износ
8	Ag-Cu-Zn-Sn-Mn-Ni	»	50	0,15...0,22

Повысить износостойкость АТР при наличии системы охлаждения до требуемого уровня позволило применение припоев систем Ag-Cu-Zn-Cd, Ag-Cu-Zn-Ni-Mn, Ag-Cu-Zn-Ni-Mn-5Pd и Ag-Cu-Zn-Sn-Mn-Ni, имеющих более низкую температуру плавления (610, 700, 740 и 720 °С соответственно). Они обеспечивают требуемое значение износа, не превышающее 0,3 мм, что позволяет использовать их при изготовлении долот, предназначенных для бурения скважин по мягким, средним и твердым абразивным горным породам. Данные исследований приведены в табл. 2.

Выводы

1. Установлено влияние температурно-временного цикла пайки на алмазный слой АТР и его работоспособность (термо- и износостойкость).

2. Разработанная технология пайки АТП+ТД обеспечивает снижение теплового воздействия на алмазный слой и позволяет сохранять его эксплуатационные характеристики на высоком уровне.

1. ТУ 88. Украина 90. 1244-91. Пластины алмазно-твердосплавные для режущего инструмента. — К., 1991. — 24 с.
2. Новиков Н. В. Инструменты из сверхтвердых материалов. — М.: Машиностроение, 2005. — 555 с.
3. Артюхов В. П., Прусс О. П. Исследование процессов пайки алмазно-твердосплавных резцов // Сверхтвердые материалы. — 1997. — № 2. — С. 38-43.
4. Найдич Ю. В., Уманский В. П., Лавриненко И. А. Прочность алмазо-металлического контакта и пайка алмазов. — Киев: Наук. думка, 1988. — 136 с.
5. Хорунов В. Ф., Максимова С. В., Стефанив Б. В. Изготовление буровых долот для добычи рассеянного метана в шахтных выработках // Автомат. сварка. — 2010. — № 6. — С. 48-51.
6. Хорунов В. Ф., Максимова С. В., Стефанив Б. В. Влияние присадок олова на структуру и технологические свойства припоев системы Ag-Cu-Zn // Там же. — 2010. — № 7. — С. 19-24.
7. Хорунов В. Ф., Максимова С. В., Стефанив Б. В. Влияние палладия на структуру и технологические свойства припоев системы Ag-Cu-Zn-Ni-Mn // Там же. — 2012. — № 9. — С. 23-28.
8. Вологдин В. В., Куц Э. В. Индукционная пайка. — Л.: Машиностроение, 1979. — 80 с.
9. СТП 28.5 05417377 100 2003. Метод оценки износостойкости алмазно-твердосплавных пластин. — 2003.

Поступила в редакцию 29.11.2012

НКМЗ ЭКОНОМИТ ГАЗ

В кузнечно-прессовом цехе №2 Новокраматорского машиностроительного завода (г. Краматорск Донецкой обл.) введена в промышленную эксплуатацию еще одна новая современная нагревательная печь с выкатным подом. Это третья из таких печей, построенных в цехе в прошлом году в соответствии с проектом модернизации автоматизированного ковочного комплекса АКК-3000/30.

Согласно проекта в процессе обновления АКК-3000/30 были демонтированы старый пресс усилием 3000 тс, три из пяти нагревательных печей, вместо которых смонтированы и введены в эксплуатацию новый современный пресс с таким же усилием и три новые нагревательные печи. Входящие в новый АКК-3000/30 новый пресс усилием 3000 тс и нагревательные печи были спроектированы и изготовлены на НКМЗ.

В конструкции новых печей использованы эффективные решения, благодаря которым затраты на нагрев заготовок будут уменьшены на 30 %.

В нынешнем году в том же цехе уже запланирован ввод в эксплуатацию после коренной реконструкции семи новых печей.