



## ОСОБЕННОСТИ ИНДУКЦИОННОЙ ПАЙКИ АЛМАЗНО-ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЗЦОВ С ЛОПАСТЬЮ КОРПУСА СОСТАВНОГО БУРОВОГО ДОЛОТА

Б. В. СТЕФАНОВ

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

Установлено, что применение существующей технологии пайки алмазно-твердосплавных пластин (АТП) и твердосплавной державки с лопастью долота не обеспечивает требуемого качества изделий из-за перегрева впаяного резца при пайке следующего, что приводит к перегреву очередного алмазно-твердосплавного резца (АТР) и деградации алмазного слоя вследствие графитизации. Проанализированы разные источники нагрева лопастей долот под пайку. Разработана технология индукционной пайки АТР с лопастью бурового долота, которая обеспечивает необходимые характеристики алмазного слоя АТР как режущего инструмента. Разработан технологический процесс индукционной пайки АТР с лопастью бурового долота, позволяющий осуществлять пайку АТР с лопастью без перегрева его алмазного слоя и сохранить его эксплуатационные характеристики на высоком уровне. Показано, что предложенная технология индукционной пайки АТР с лопастью долота позволяет применять припой с температурой пайки не более 680...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 перспективны для индукционной пайки АТР с лопастью припои систем Ag-Cu-Zn-Ni-Mn и Ag-Cu-Zn-Sn-Ni-Mn. Разработана технология сварки лопастей с корпусом бурового долота, которая позволяет снизить разбрызгивание электродного металла на алмазный слой АТР и улучшить формирование сварных швов. Эта технология пайки АТР с лопастью корпуса составного бурового долота применена в натуральных изделиях и испытана в реальных условиях эксплуатации при поверхностном бурении газовых скважин. Библиогр. 6, табл. 1, рис. 5.

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

В Украине технология изготовления бурового инструмента с алмазно-твердосплавными пластинами (АТП) разработана в Институте сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины. Однако отечественная технология изготовления буровых алмазных долот, разработанная много лет назад, не отвечает современным требованиям. В известной технологии пайка АТП и твердосплавных державок с лопастью была совмещена, что не позволяло контролировать температуру алмазного слоя. Положение усугублялось тем, что применяли индукционный нагрев с петлевым одновитковым индуктором, с помощью которого последовательно впаивали твердосплавную державку и АТП в лопасть. В этом случае создавалось неравномерное температурное поле при пайке очередного АТР, а также осуществлялся повторный нагрев впаянного АТР при пайке следующего. Более того, индукционный нагрев иногда сочетался с газопламенным (поверхностным) нагревом, что создает опасность непосредственного контакта алмазного слоя с пламенем горелки. Создание новой технологии требует исследований разных аспектов этого процесса.

Цель настоящей работы — разработать технологию пайки АТР с лопастью и сварки лопасти

с корпусом составного долота для обеспечения минимального влияния нагрева на свойства алмазного слоя, т. е. сохранение эксплуатационных характеристик алмазного слоя АТР как режущего инструмента, повышения износостойкости и величины проходки бурового долота до уровня зарубежных аналогов.

Поставленная цель достигается путем создания новых конструкций бурового инструмента [1, 2], т. е. для бурового долота — это установка дополнительных алмазно-твердосплавных резцов (АТР) на калибрующей поверхности долота, а для калибратора — это увеличение размеров трапециевидных канавок для промывки и выноса бурового шлама и новой технологии пайки.

В данной статье приведены результаты исследований по креплению АТР к лопасти с помощью пайки твердыми припоями. Проанализированы разные источники нагрева лопастей долот под пайку. Большое значение имеет выбор способа и оборудования, обеспечивающего необходимую производительность процесса, удобство и надежность эксплуатации оборудования, а также контроль параметров пайки. Правильный выбор оборудования и способа пайки обеспечивает достижение оптимальных условий формирования прочного шва, исключение высокого уровня остаточ-

ных напряжений, и следовательно, увеличение срока службы и надежности инструмента в процессе его эксплуатации.

При пайке инструмента используют готовые припои, поэтому пайку обычно классифицируют по способу нагрева. В свою очередь эти способы подразделяют по методам защиты паяных соединений от окисления в процессе пайки. Кроме того, их выбор зависит от масштаба планируемого производства, т. е. будет ли оно мелкосерийным при большом разнообразии продукции или крупносерийным производством однотипного инструмента (таблица).

Несмотря на большое количество вариантов осуществления процесса пайки и многообразие оборудования, наиболее распространенным способом изготовления бурового инструмента является индукционная пайка. В дальнейшем основное внимание уделим именно этому способу пайки бурового инструмента, рассмотрим основные принципы подготовки его к пайке, размещения АТР, твердосплавных вставок, припоя и флюса, позиционирования изделия в индукторе.

Индукционная пайка является наиболее распространенным способом изготовления твердосплавного инструмента как при мелкосерийном производстве и штучной пайке, так и при крупносерийном производстве.

Эффективность индукционного нагрева зависит от электрических данных, обусловленных характеристиками генератора и индуктора (частоты тока, напряженности поля, эффекта близости и пр.), и физико-химических свойств инструментальных и конструкционных материалов. С повышением частоты тока генератора резко уменьшается глубина проникновения тока в паяемый материал, т. е. увеличивается градиент температур на его поверхности и в глубине.

Теплопроводность твердого сплава вольфрамовой группы (ВК) в 1,5 раза выше теплопроводности конструкционной стали и в 3 раза выше теплопроводности твердых сплавов титановоль-

фрамовой группы (ТК). С повышением содержания кобальта она несколько возрастает. Удельное электросопротивление твердых сплавов ТК группы в 2 раза выше, чем у твердых сплавов ВК группы, а температуропроводность твердого сплава группы ТК в 3,5 раза меньше, чем у твердого сплава ВК группы. Этим объясняется низкая термостойкость твердого сплава ТК группы по сравнению с ВК группой. На практике это проявляется в появлении трещин в инструменте с использованием твердых сплавов ТК групп. Данные материалы требуют соблюдения условий равномерного плавного нагрева и охлаждения инструмента в процессе пайки.

Главное в процессе пайки — не допускать полосчатого нагрева твердого сплава, особенно ВК группы, что может привести к появлению трещин в инструменте. В настоящее время наиболее универсальными являются генераторы ТВЧ с частотой 10...66 кГц. Для мелких изделий можно применять и более высокие значения частоты, однако возникают определенные технологические трудности с управлением равномерным нагревом, что приводит к потере производительности процесса и возникновению критических остаточных напряжений. Современные установки ТВЧ нагрева могут комплектоваться программатором с контроллером, которые обеспечивают прогрев изделий с высокой равномерностью по заданной программе, со скоростью, соответствующей скорости отвода тепла во внутренние слои материалов. Оптимальной скоростью нагрева считается 40...100 °С/с, что, кроме всего отмеченного, достигается соответствующим выбором зазора между деталью и индуктором (8...15 мм). Уменьшение зазора приводит к появлению неравномерного нагрева.

Конфигурацию индуктора выбирали исходя из минимального перепада температур при нагреве рабочих органов лопасти под пайку. Равномерность нагрева определяли экспериментально. Для этого в гнезде лопасти сверлили глухие отверстия.

**Классификация способов пайки твердосплавного инструмента**

Способ пайки	Инструмент	Характер производства
Пайка в печи непрерывного действия с защитной атмосферой	Все, за исключением крупногабаритных резцов отрезных фрез	Массовое, крупные серии, мелкие серии разных видов инструмента при большом объеме производства
Пайка в камерных печах с защитной атмосферой	То же	Мелкосерийное, штучное
Индукционная пайка с рабочей частотой 2...66 кГц	Крупногабаритные и отрезные резцы, буровой инструмент, дорожные фрезы	Любое
Индукционная пайка с рабочей частотой 66...440 кГц	Отрезные резцы, буровой инструмент, отрезные фрезы с толщиной корпуса не более	»
Пайка электросопротивлением	Дисковые пилы и фрезы для обработки	Специализированное
Газопламенная пайка	Негабаритный буровой инструмент	Мелкосерийное, штучное производство, ремонт

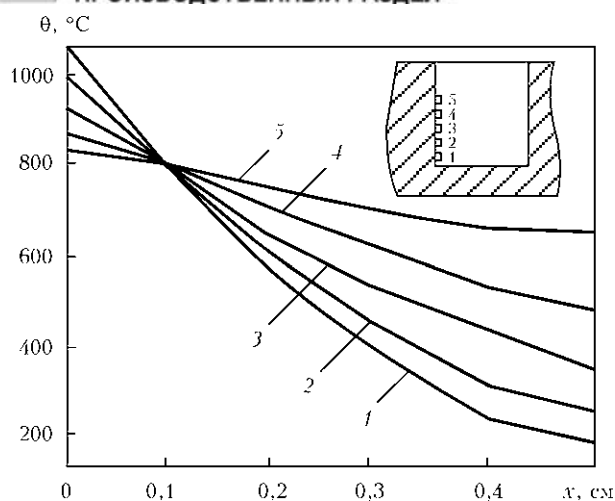


Рис. 1. Распределение температуры в стальном теле лопасти при установленной удельной тепловой мощности при условии получения на глубине 0,1 см заданной температуры поверхности  $\theta = 800 \pm 20$  °C: 1 —  $t = 1,5$  с; 2 — 2,8; 3 — 3,2; 4 — 4,5; 5 — 10

Распределение температуры в глухих отверстиях лопасти определяли с помощью термопар типа ТХА и нескольких приборов ТРМ202 при установленной удельной тепловой мощности (рис. 1). При поверхностном нагреве не может быть равномерного распределения температур в поверхностном слое. Температура поверхности тела всегда будет выше, чем заданная для внутренней границы слоя. Из рисунка видно, что чем меньше время нагрева, тем выше температура поверхности и ниже температура в более глуболежащих слоях.

Для пайки АТР в рабочую область лопасти была разработана специальная конструкция двухпетлевого индуктора (рис. 2), обеспечивающая равномерное температурное поле в области пайки резцов. Методику выбора размера и формы индуктирующего провода (индуктора) определяли опытным путем. В нашем случае значение тока в каждом из витков зависит как от зазора между деталью и индуктирующим проводом, так и геометрических размеров витков. Это явление в некоторых случаях используют для достижения требуемой температуры нагрева детали различного сечения и размеров.

Как видно из рис. 2, где представлены также кривые распределения температур в нагреваемом теле (гнездах) лопасти, первая петля индуктора прогревает рабочую зону до  $680 \dots 700$  °C, а вторая петля выполняет роль предварительного подогрева  $580 \dots 600$  °C. При индукционном нагреве извне через поверхность тела внутрь его проходит электромагнитная энергия, которая затем уже внутри тела превращается в тепловую. Вследствие явления теплопроводности тепловая энергия движется от мест с высокой температурой к местам с низкой. Температура отдельных точек тела непрерывно меняется. Зависимость температуры от геометрических координат определяется распре-

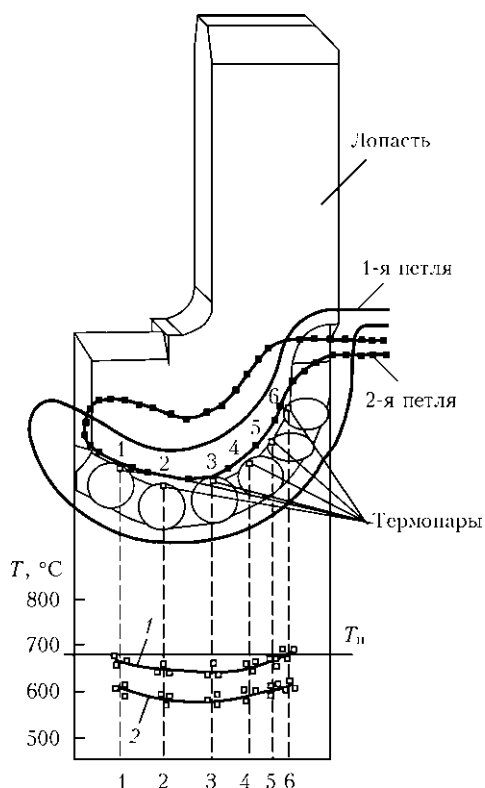


Рис. 2. Схема расположения двухпетлевого индуктора и распределение температур в зоне пайки при подключении двух (1) и одной (2) петли

делением источников тепла в нагреваемой лопасти, свойствами материала и временем, в течение которого идет нагрев.

В нашем случае используется поверхностный и глубинный нагрев, позволяющие получать равномерный прогрев изделия в нужной зоне без перегрева отдельных участков, для чего приходится увеличивать время прогрева и снижать удельную мощность, подводимую к изделию. Явление теплопроводности наблюдается и в нашем случае, обеспечивая передачу тепла к менее нагретым участкам. Характер распределения температур в этом случае иной, чем при передаче тепла извне с использованием только явления теплопередачи. Так как теплота в основном выделяется в слое толщиной  $\Delta$  (где  $\Delta$  — глубина проникновения тока), то температура в этом слое нарастает наиболее быстро. В более глуболежащих слоях за одно и то же время температура достигает меньших значений. В пределах же слоя толщиной  $\Delta$  разница в температурах мала [3].

С помощью только высокочастотного нагрева стало возможным осуществлять одновременную пайку всех резцов с лопастью. При этой технологии алмазный слой резца находится при высокой температуре минимальное время и сохраняет необходимые при эксплуатации технологические свойства. При этом температурное поле в зоне пайки резцов выравнивается по всему рабочему

органу лопасти, температура пайки составляет примерно 680...700 °С. Следует отметить, что разработанные составы припоев систем Ag–Cu–Zn–Ni–Mn и Ag–Cu–Zn–Ni–Mn–Pd [4, 6], которые применяли при пайке составного АТР, хорошо смачивают низколегированную сталь лопасти и материал подложки резцов, а также обеспечивают надежное крепление последних в лопасти. Анализ микроструктуры паяного соединения показывает, что припой системы Ag–Cu–Zn–Ni–Mn хорошо смачивает как твердосплавный сплав, так и сталь, причем граница соединения с обеих сторон ровная, без образования широких диффузионных зон. Микроструктура паяного соединения АТР+сталь показана на рис. 3.

Результаты механических испытаний показали, что припой системы медь–серебро–цинк–олово, легированные другими элементами (марганцем, никелем, палладием и др.), обеспечивают достаточную прочность на срез (около 300 МПа) и хорошее растекание припоя как по стальной лопасти, так и твердому сплаву.

Следует отметить, что припой систем Ag–Cu–Zn–Sn–Ni–Mn и Ag–Cu–Zn–Ni–Mn–Pd по своим технологическим свойствам пригодны для пайки АТР к корпусам буровых долот. Эксперименты проводили с использованием генератора ВЧИ4-10У4 мощностью 10 кВт. Для пайки АТР с лопастью были разработаны и изготовлены:

- одновитковый петлевой индуктор для передней торцевой части рабочей лопасти, где происходит пайка алмазно-твердосплавных вставок;
- двухвитковый петлевой индуктор для передней части рабочей лопасти, где происходит пайка АТР;
- регулирующее устройство, которое держит лопасть в заданном положении по отношению к индуктору.

Перед пайкой АТР с лопастью соединяемые поверхности деталей лопасти очищали от грязи, жира, продуктов коррозии. Проверяли соблюдение величины зазоров по диаметру отверстия в пределах 0,05...0,1 мм относительно АТР. Затем

наносили флюс марки ПВ-209 в зону пайки в виде пасты, изготовленной путем замешивания флюса на воде в виде кашеобразной смеси при соотношении флюса и воды 100:60 (мас. %), а также вводили в отверстия лопасти закладные детали припоя и АТР. Производили высокочастотный нагрев рабочей зоны сопрягаемых деталей, т.е. АТР и паяемой зоны рабочих органов лопасти, до полного расплавления припоя и образования наружных галтельных участков по всему сечению АТР с отверстиями лопасти. При выявлении неполного пропаявания АТР с отверстиями лопасти в зону пайки дополнительно вводили припой в виде проволоки диаметром 1,2...2,0 мм. Параметры источника нагрева, при которых производили пайку АТР с лопастью, были таковыми:  $I_{\text{сет}} = 0,7 \text{ А}$ ;  $I_{\text{анод}} = 1,5...2,0 \text{ А}$ . Внешний вид лопастей с впаянными АТР бурового долота показан на рис. 4.

Технологию соединения лопастей с корпусом бурового долота, разработанную в ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, производили ручной электродуговой сваркой. При этом использовали электроды марки АНО-4 диаметром 4 и 5 мм. Катет сварного шва усиливали с помощью ручной электродуговой сварки электродами марки УОНИ-13/55 диаметром 3 мм. Основным недостатком этой технологии сварки является повторный нагрев АТР при сварке лопастей с корпусом, при котором происходит деградация алмазного слоя АТР, которая в свою очередь влияет на химико-физические свойства АТР. В процессе сварки наблюдалось очень сильное разбрызгивание электродного металла в зону паяемых АТР. Для устранения этих недостатков при соединении лопастей с корпусом долота была использована технология сварки сталей в защитных средах [5]. В результате удалось снизить разбрызгивание электродного металла на алмазный слой АТР и улучшить формирование сварных швов. При поддер-

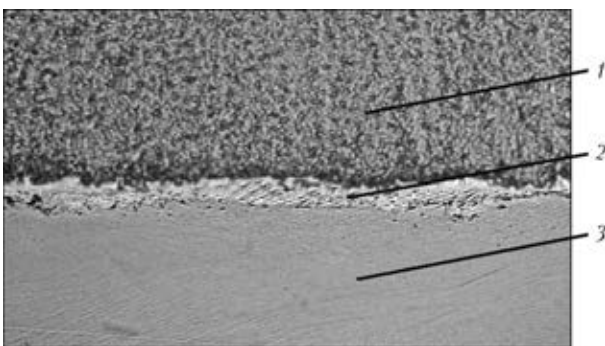


Рис. 3. Микроструктура ( $\times 300$ ) паяного соединения АТР + сталь до испытания бурового долота: 1 — твердый сплав VK8; 2 — паяный шов; 3 — сталь 30X



Рис. 4. Внешний вид лопасти долота с впаянными АТР



Рис. 5. Буровое долото с калибратором для поверхностного бурения скважин

жании оптимальных режимов сварки не происходит перегрев рабочих органов алмазно-твердосплавных пластин, когда может произойти вторичное расплавление припоя.

Согласно предложенной технологии соединение лопастей с корпусом бурового долота производили полуавтоматической сваркой в смеси защитных газов (82 % Ar + 18 % CO<sub>2</sub>) омедненной проволокой марки Св-08Г2С диаметром 1,2 мм на аппарате «Фрониус» при сварочном токе  $I_{св} = 180...200$  А, напряжении  $U = 18...20$  В. Усиления катетов сварных швов не производили, так как заполнения разделки лопасти с корпусом долота удовлетворяли прочностным характеристикам сварного соединения долот, опробованных в реальных условиях эксплуатации. Отработаны оптимальные режимы сварки, количество и порядок наложения швов, временные паузы на остывание швов и др. Особое внимание уделено сварке верхней части лопасти долота, где сварочная дуга близко подошла к алмазному слою АТР.

На рис. 5 показана новая конструкция бурового алмазного долота с калибратором диаметром 132 мм после пайки и сварки для поверхностного бурения газовых и нефтяных скважин. С использованием новых конструкций и новой технологии пайки были успешно проведены промышленные испытания в реальных условиях эксплуатации на ПАТ «Шахта им. А. Ф. Засядько».

С применением опытных припоев систем Ag–Cu–Zn–Ni–Mn и Ag–Cu–Zn–Ni–Mn–Pd [6] была изготовлена опытно-промышленная партия буровых долот для подземного и наземного бурения скважин для добычи рассеянного метана, которая позволила не только продлить их рабочий ресурс, но и в несколько раз увеличить величину проходки скважин.

## Выводы

1. Создана новая технология пайки алмазно-твердосплавных резцов в лопасть, согласно которой все резцы в отличие от известных решений вплавляются в лопасть одновременно, что исключает вторичный нагрев резца и снижает опасность деградации алмазного слоя.

2. Разработанная в ИЭС им. Е. О. Патона технология по производству буровых долот и калибратора была внедрена на ПАТ «Шахта им. А. Ф. Засядько» (г. Донецк) для подземного и поверхностного бурения газовых скважин.

3. В результате проведенных производственных испытаний алмазных буровых долот, оснащенных алмазно-твердосплавными резцами, установлено, что при использовании указанных долот при поверхностном бурении газовых скважин повышается износостойкость бурового инструмента и скорость бурения по сравнению с серийными буровыми долотами России, Украины.

1. Пат. 92268 Украина, (51) МПК (2009) E21B 10/46 E21B 10/54. Буровое алмазное долото / Б. С. Патон, Б. В. Стефанів, В. Ф. Хорунов та ін.; заявл. 05.05.2009; опубл. 11.10.2010, Бюл. № 19.
2. Пат. 92820 Украина, (51) МПК (2009) E21B 10/26 E21B 7/28. Калибратор / Б. С. Патон, Б. В. Стефанів, В. Ф. Хорунов та ін.; заявл. 10.03.2009; опубл. 10.12.2010, Бюл. № 23.
3. Глуханов Н. П. Физические основы высокочастотного нагрева / Под ред. А. Н. Шамова. — 5-е изд., перераб. и доп. — Л.: Машиностроение, 1989. — 56 с.
4. Стефанів Б. В. Разработка технологии пайки алмазно-твердосплавных резцов // Автомат. сварка. — 2013. — № 2. — С. 38–42.
5. Свецинский В. Г., Римский С. Т., Галинич В. И. Сварка сталей в защитных газовых смесях на основе аргона в промышленности Украины // Там же. — 1994. — № 4. — С. 41–44.
6. Хорунов В. Ф., Максимова С. В., Стефанів Б. В. Влияние палладия на структуру и технологические свойства припоев системы Ag–Cu–Zn–Ni–Mn // Там же. — 2012. — № 9. — С. 23–28.

Поступила в редакцию 24.05.2013