



## ИЗГОТОВЛЕНИЕ БУРОВЫХ ДОЛОТ ДЛЯ ДОБЫЧИ РАССЕЯННОГО МЕТАНА В ШАХТНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Чл.-кор. НАН Украины **В. Ф. ХОРУНОВ**, **С. В. МАКСИМОВА**, канд. техн. наук, **Б. В. СТЕФАНИВ**, инж.  
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследовано влияние температуры пайки на работоспособность алмазно-твердосплавных резцов. Показано, что при сочетании предложенных припоев и разработанной технологии пайки удалось значительно увеличить длину и скорость проходки скважин, что подтверждено результатами промышленных испытаний.

*Ключевые слова:* сверхтвердые материалы, алмазный слой, алмазно-твердосплавный резец, породоразрушающий инструмент, долото, метан, пайка, припой

Основным инструментом для эффективного бурения недр земли при добыче углеводородов является долото для вращательного бурения, которое классифицируется как долото с фиксированными резцами, или шарошечное, предназначенное для различных пород и широкого спектра условий [1]. Долота с фиксированными резцами имеют лопасти, составляющие с корпусом одно целое и вращаются одновременно с ним. Шарошечные долота имеют металлические шарошки, которые независимо вращаются во время вращения долота в забое.

Буровые долота составляют только 1...5 % общей стоимости скважины, но от них напрямую зависит стоимость проходки единицы длины скважины, поскольку время, необходимое для ее бурения, определяется скоростью бурения и продолжительностью работы долота до износа. Долота с фиксированными резцами стоят дороже, но бурят быстрее и служат дольше, чем шарошечные в некоторых твердых и абразивных породах. Они могут оснащаться резцами с природными и синтетическими алмазами. Резцы с синтетическими поликристаллическими алмазами более устойчивы к ударной нагрузке, чем природные алмазы, и очень эффективны в твердых, умеренно абразивных породах. Эффективность применения этих алмазов ограничивается толщиной алмазной пластины, которая определяется диффузией кобальта от подложки из твердого сплава в алмазный слой, а также напряжениями, создаваемыми при тепловом расширении карбида вольфрама и при его усадке. Высокие остаточные напряжения и несмоченные зерна алмазов в результате неполного проникновения кобальта во время синтеза поликристаллических алмазов могут вызвать расслоение, отслоение и образование

трещин в алмазных пластинах, что сокращает срок службы резца и долота в целом [1].

В странах СНГ основными материалами для изготовления инструмента служат металлокерамические твердые сплавы типа ВК-6, ВК-8, ВК-15, ВК-20 и др., а также сверхтвердые материалы, которые представлены природными и синтетическими алмазами. Теоретические и технологические основы получения таких материалов созданы в Институте сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины [2, 3].

Целью настоящей работы является выбор припоев, разработка технологии пайки алмазно-твердосплавных резцов (АТР) и технологии изготовления буровых долот. АТР (рис. 1) получают путем пайки алмазно-твердосплавных пластин (АТП) с твердосплавными державками (ТД) — сплавами на основе карбида вольфрама, где в качестве связки используют кобальт (от 2 до 25 мас. % в зависимости от марки сплава). Используемые в экспериментах АТП представляли собой цилиндры из твердого сплава диаметром 13,5 мм и высотой 3,5 мм, на которых расположен слой синтетических поликристаллических алмазов толщиной 0,7...0,8 мм. Алмазы, используемые в виде кристаллов с максимальным размером 20...60 мкм, отличаются стабильностью формы, высокой твердостью, износостойкостью, низким коэффициентом термического расширения.

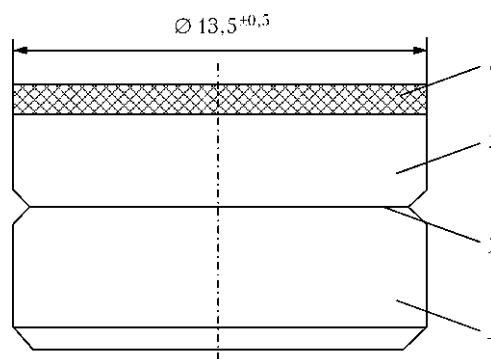


Рис. 1. Схема АТР: 1 — алмазный слой; 2 — твердосплавная подложка; 3 — паяный шов; 4 — ТД

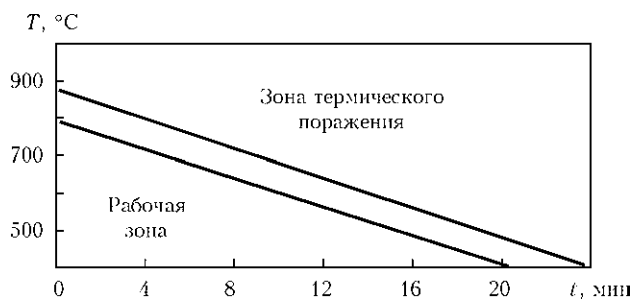


Рис. 2. Зависимость предельной температуры нагрева АТП от времени нагрева

Алмаз является метастабильной модификацией углерода и при нагреве АТП до критической температуры (670...700 °С) [3, 4] вследствие диффузионного взаимодействия между алмазными частицами и кобальтом физико-механические свойства алмазного слоя резко деградируют (рис. 2). Происходит каталитическая графитизация поликристаллических синтетических алмазов, образование трещин, вызванных различием коэффициентов теплового расширения алмаза и кобальта, и, как следствие, разрушение алмазного слоя.

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. Поэтому при изготовлении АТР путем пайки традиционных АТП (с поликристаллическими синтетическими алмазами) с твердыми сплавами необходимо учитывать указанные особенности синтетических алмазов. Температура плавления припоя не должна превышать 650...700 °С, он должен характеризоваться хорошей жидкотекучестью и смачиваемостью по отношению к паяемым материалам. Так как имеется существенная разница в коэффициентах термического расширения основного материала и применяемых металлических припоев, последние должны характеризоваться высокой пластичностью для релаксации возникающих на межфазной границе напряжений. Кроме того, учитывая нагрузки, действующие на АТР во время эксплуатации, прочность паяного шва на срез должна быть не ниже 300 МПа и износ АТР

в оговоренных ниже условиях испытаний не более 0,2 мм.

Такие противоречивые требования сложно было выполнять при существующей еще с советских времен технологии изготовления АТР и имеющейся базе припоев. Так, широкое применение для соединения твердых сплавов получили медно-цинковые припои, легированные различными элементами, которые улучшают их физико-ме-

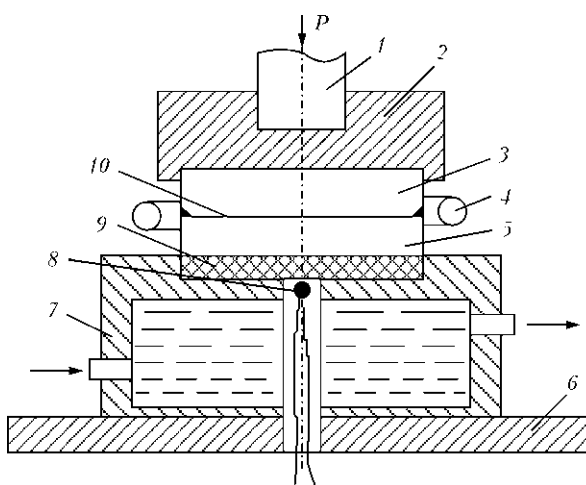


Рис. 3. Схема приспособления для пайки АТР: 1 — прижим; 2 — суппорт; 3 — ТД; 4 — индуктор; 5 — АТП; 6 — основа; 7 — холодильник; 8 — термопара; 9 — алмазный слой; 10 — паяный шов

ханические и технологические характеристики. Они хорошо растекаются по твердым сплавам и сталям и широко используются при получении соединений из этих материалов, но при пайке АТП их применение приводит к деградации синтетических алмазов из-за высокой температуры процесса.

Для пайки АТП с твердыми сплавами более перспективны медно-серебряные припои, характеризующиеся невысокой температурой плавления, достаточной пластичностью, хорошей жидкотекучестью. Базовым служит эвтектический сплав системы Cu–Ag с температурой плавления 779 °С [5]. Введение таких металлов, как цинк, кадмий, олово, позволяет снизить температуру плавления припоя, что положительно сказывается на их технологических свойствах. Так, площадь растекания припоев в значительной степени зависит от их состава (таблица).

Следует отметить, что при соединении АТП с ТД фактически осуществляется пайка двух твердых сплавов, поскольку алмазное покрытие расположено на наружной поверхности АТП. Поэтому на первом этапе для определения прочности паяных соединений на срез паяли две пластины твердого сплава ВК-8, которые имитировали АТР,

**Площадь растекания припоев по подложке из твердого сплава**

Базовая система (марка припоя)	Продолжительность нагрева, с	Интервал плавления припоя, °С	Площадь растекания припоя, мм <sup>2</sup>
Ag–Cu–Zn–Cd (ПСр-40)	24	590...610	89,87
Ag–Cu–Zn (ПСр-45)	27	665...730	67,63
Ag–Cu–Zn–Sn (BAg-7)	26	618...651	46,33
Ag–Cu–Zn–Ni–Mn (BAg-22)	23	680...699	121,40
Cu–Zn–Mn–Sn–Ni (ПМ-50)	25	780...870	119,18
Cu–Mn–Fe–Ni (ПМ-72)	40	810...890	50,19

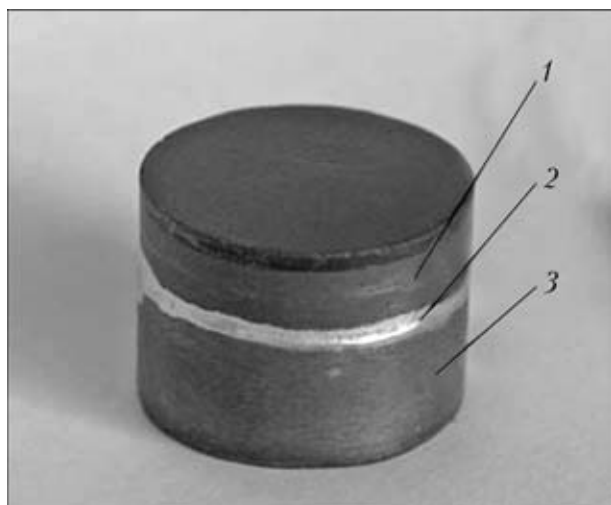


Рис. 4. Паяный АТР для бурового инструмента: 1 — АТР; 2 — паяный шов; 3 — ТД

что существенно упрощало и удешевляло проведение исследований.

Результаты механических испытаний показали, что припои системы медь–серебро, легированные другими элементами (цинком, марганцем, никелем и др.), обеспечивают достаточную прочность на срез (около 300 МПа). Однако для выбора оптимального состава припоя при изготовлении АТР прочность на срез паяных соединений является обязательным параметром, но недостаточным.

Для получения достоверной информации необходимо проводить комплексные испытания паяных соединений, которые позволяют оценить прочность и износостойкость. Износостойкость является основным параметром, наиболее реально отражающим условия эксплуатации буровых долот, оснащенных алмазными резцами. Уровень износостойкости зависит от температуры нагрева алмазного слоя и времени пребывания при этой температуре, поэтому пайку АТР для изучения износостойкости проводили в специальном приспособлении (рис. 3), в котором алмазный слой контактировал с охлаждаемой поверхностью (для сравнения отдельные резцы паяли без охлаждения). Параметры нагрева с помощью генератора ВЧИ4-10У4 следующие:  $I_{\text{сетки}} = 0,1 \text{ А}$ ,  $I_{\text{анода}} = 0,6 \dots 0,7 \text{ А}$ . Полученные резцы (рис. 4) испытывали на стенде, который имитирует реальные условия эксплуатации; другими словами, осуществляли строжку той горной породы (например, кварцевый песчаник), для которой предназначен данный резец.

Параметры испытаний были следующими: скорость продольной подачи 0,55 м/с; глубина реза 0,5 мм; поперечная подача 28 мм/проход, охлаждение отсутствовало, продукты разрушения горной породы не удалялись из зоны строгания (воду не использовали). Значение износа после строжки измеряли на задней грани АТР с по-



Рис. 5. Лопasti буровых долот с паянными АТР

мощью оптического микроскопа. Проведенные испытания позволили выбрать припои, которые обеспечивали необходимый уровень износостойкости, не превышающий 0,2 мм. Полученные результаты использовали при разработке технологии пайки АТР с лопастью. Это наиболее ответственная технологическая операция с точки зрения сохранения свойств алмазного слоя. В традиционной технологии пайка резцов проводится последовательно, т. е. предыдущий резец подвергается вторичному нагреву при пайке последующего. Более того, индукционный нагрев иногда сочетается с газопламенным (поверхностным), что создает опасность непосредственного контакта алмазного слоя с пламенем горелки.

В процессе проведения настоящей работы разработана специальная конструкция индуктора, которая позволяет получать равномерное температурное поле в области пайки резцов. На основании этого стало возможным осуществлять одновременную пайку всех резцов при использовании только высокочастотного нагрева. При использовании такой технологии алмазный слой находится при высокой температуре минимальное время и сохраняет необходимые при эксплуатации свойства. Следует отметить, что оптимальные составы припоев хорошо смачивают низколегированную сталь лопасти и материал подложки резцов и обеспечивают надежное крепление последних в лопасти (рис. 5).

Соединение лопастей с корпусом проводили полуавтоматической сваркой плавящимся электродом под защитой аргона. Были отработаны режимы сварки, количество и порядок наложения швов, временные паузы на остывание швов и др. Особое внимание уделено сварке верхней части долота, где сварочная дуга близко подходила к алмазному слою.

С использованием разработанной технологии и припоев изготовили партию долот, предназначенных для бурения горных пород средней твердости (рис. 6), которая успешно прошла промышленные испытания и внедрение в технологический процесс добычи рассеянного метана на шахте им. А. Ф. Засядько.



Рис. 6. Буровое долото, оснащенное АТР

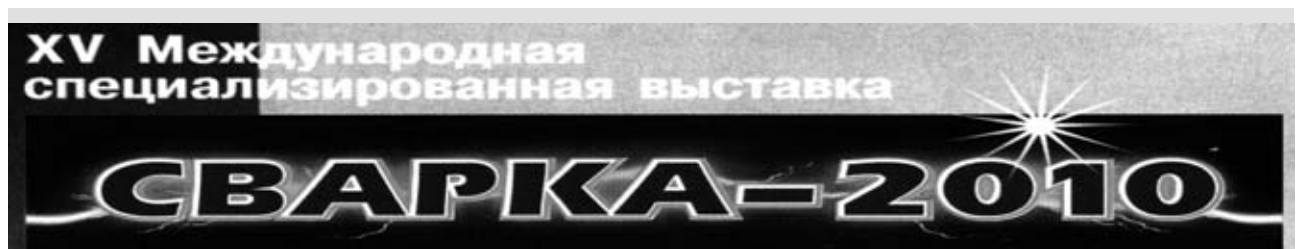
В процессе проведения промышленных испытаний установлено, что применение оптимальных составов припоев и разработанной технологии с

использованием отечественных АТР позволило увеличить значение проходки со 100...120 до 400...450 м. При использовании АТР зарубежного производства без изменения конструкции долота и стабилизатора проходка несколько увеличилась, однако возможности этих резцов в значительной степени не были реализованы. И только при сочетании усовершенствованной конструкции долота и стабилизатора, разработанных припоев и технологии пайки удалось достичь значения проходки более 1000 м (без ремонта). После устранения случайных повреждений, вызванных, например, включениями более твердых пород, значение проходки возросло до 1500...1700 м и более.

1. *On the cutting edge* / A. Besson, V. Burr, S. Dillard et al. // *Oilfield Review*. — 2000. — Autumn. — P. 36–57.
2. Новиков И. В. Развитие синтеза сверхтвердых материалов // Актуальные проблемы современного материаловедения: В 2 т. Т. 2. — Киев: ИД «Академперіодика», 2008. — С. 42.
3. *Инструменты из сверхтвердых материалов* / Под ред. Н. В. Новикова. — М.: Машиностроение, 2005. — 555 с.
4. Артюхов В. П., Прусс О. П. Исследование процессов пайки алмазотвердосплавных резцов // Сверхтвердые материалы. — 1997. — № 2. — С. 38–43.
5. *Диаграммы состояния двойных металлических систем*: Справочник: В 3 т.: Т.1 / Под общ. ред. Н. П. Лякишева. — М.: Машиностроение, 1996. — 991 с.

The effect of the brazing temperature on performance of diamond — hard-alloy cutters was investigated. It was shown that the length and rate of well drilling were substantially increased owing to a combination of the proposed brazing filler metals and developed brazing technology, which was proved by the industrial test results.

Поступила в редакцию 19.02.2010



21–23 июня 2010

г. Нижний Новгород

#### Тематика выставки:

Оборудование и оснастка для контактной сварки, оборудование для специализированных способов сварки, машины и оборудование для дуговой сварки и резки, источники питания, приспособления и инструменты, оборудование для плазменной обработки металлов, машины и оборудование для газовой сварки, вспомогательный инструмент, оборудование, приспособления и инструменты для сварки в среде защитного газа, оборудование для подготовки поверхности, автоматические системы управления для сварочных процессов, роботы и робототехнические комплексы, измерение, контроль, испытания, обработка данных, средства защиты сварщиков и охрана окружающей среды, научное и информационное обеспечение.

**Всероссийское ЗАО «Нижегородская ярмарка»**  
 тел.: (831) 277-54-96; факс: 277-55-86, 277-54-89; E-mail: kaa@yarmarka.ru