

УДК 622.24.051

Л. Ф. Стасюк¹, канд. техн. наук; М. П. Мельник², инженер; Н. А. Бондаренко¹,
канд. техн. наук; Н. Н. Мельник², инженер; В. А. Мечник¹, канд. техн. наук

¹ Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины,
г. Киев, Украина

² ГК “Укргаздобыча” НАК “Нефтегаз Украины”

ТЕРМОСТОЙКИЕ АТП И РЕЗУЛЬТАТЫ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В БУРОВЫХ ИНСТРУМЕНТАХ ИСМ

The reasons are explained of low thermal stability of the generally marketed PDC bits. The technology has been proposed of sintering the PDCs with improved thermal stability. The results are given of testing the drills equipped with new PDC bits.

Актуальность проблемы

Создание алмазно-твердосплавных пластин (АТП) было значительным этапом в совершенствовании алмазных буровых инструментов, так как их использование в качестве породоразрушающих элементов позволило существенно повысить эксплуатационные характеристики, в частности, увеличить механическую скорость бурения, до уровня скорости шарошечных долот, превысив показатель по проходке на долото в несколько раз. Высокие показатели бурения в верхних интервалах по мягким породам способствовали повышению уровня использования таких долот в некоторых регионах до 30 %. Но с увеличением глубины залегания нефтегазоносных горизонтов увеличиваются твердость и абразивность пород, что значительно снижает показатели бурения долот, оснащенных АТП, а в продуктивных горизонтах, представленных доломитами и песчаниками, их использование становится нерентабельным. Это объясняется низкой (650 °С) термостойкостью пластин АТП, т. е. способностью сохранять свои свойства до температуры нагрева 650 °С. Как было установлено в результате лабораторных исследований, температура в зоне контакта АТП с породой достигает > 700 °С при бурении абразивных пород средней твердости и > 1000 °С при бурении твердых абразивных пород.

Создание термостойких пластин АТП, для оснащения буровых долот, используемых при бурении в продуктивных горизонтах, являлось целью настоящей работы.

Исследование процесса получения АТП

АТП представляют собой двухслойные пластины, один слой – алмазный поликристалл, а другой – подложка из твердого сплава. Основной эксплуатационной характеристикой АТП является износостойкость алмазоносного слоя.

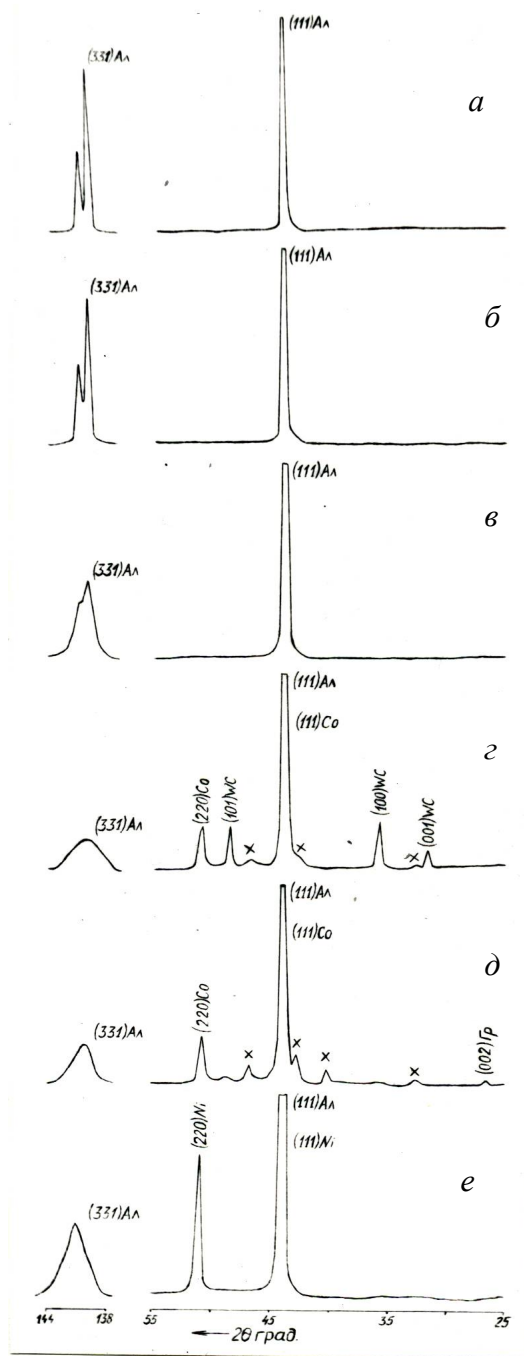


Рис. 1. Фрагменты дифрактограммы: микропорошка АСМ 60/40 –исходного (а), после действия давления 7,7 ГПа (б); алмазоносного слоя АТП после спекания твердофазного (в); жидкофазного (г); в области стабильности графита (д); с добавками никеля (е). × – линии двойного карбида титана $Co_xW_yC_z$.

Для изготовления (спекания) АТП используются пресса ДО – 0,43 и ДО – 0,44 усилием 2000 – 2500 т. Для исследования механизма спекания АТП использовали порошок синтетического алмаза АСМ 60/40 и подложку из твердого сплава ВК20. Спекание проводили в АД тороид при давлении 7,7 ГПа, температуре 1500 – 2000 °С и времени изотермической выдержки 15 – 20 с. Процесс спекания алмазных зерен при получении АТП можно условно разделить на 3 стадии. Первая – создание давления в аппарате, которое происходит без нагрева реакционного объема. Во время действия давления на формируемый алмазоносный слой происходит значительное уменьшение его пористости. Так, если в состоянии свободной засыпки пористость алмазного брикета составляет 45 %, то после воздействия давления она уменьшается до 19%. Процесс усадки на этой стадии происходит за счет измельчения, проскальзывания и укладки алмазных зерен. Дифрактограммы исходного и подверженного давлению 7,7 ГПа порошка практически идентичны (рис. 1, а, б). Расширение линии (331), вызванное увеличением дефектности кристаллической решетки, несущественно.

Второй стадией спекания можно считать период нагрева реакционного объема АД от комнатной температуры до температуры получения жидкой фазы. Продолжительность этого неизотермического периода составляет 10 – 15 с. Усадка алмазного слоя АТП на этой стадии твердофазного спекания проходит в основном в соответствии с механизмом термического активирования процесса укладки зерен и механизма пластического течения. Пористость алмазного слоя при завершении этой стадии спекания составляет приблизительно 10 %. На протекание процесса пластического течения и как следствие возрастание дефектности кристаллической решетки указывает изменение формы линии (331) алмаза на дифрактограмме (см. рис. 1, в). Разделения α дублета не происходит, а наблюдается ее значительное расширение. По данным работы [1] пластическое течение алмаза возможно при параметрах спекания $P > 7 \text{ ГПа}$ и $T > 1000 \text{ }^\circ\text{C}$. Третья стадия спекания начинается с момента достижения температуры пропитки алмазного шара жидкой фазой. Продолжительность изотермической выдержки на этой стадии составляет 20 – 25 с.

Пропитка осуществляется за счет разности давлений в беспористой подложке, подверженной всестороннему сжатию, и в порах алмазного слоя, где давление приблизительно равно атмосферному.

По мере проникновения расплава в алмазный слой начинается процесс жидкофазного спекания. Он состоит в дальнейшем уменьшении пористости и увеличении степени пластической деформации алмазных зерен. Окончательная пористость алмазного слоя, рассчитанная по объемному содержанию заполняемой поры связующей фазы, составляет 4 %. Линия алмаза (331) на дифрактограмме спеченной пластины значительно расширилась (см. рис. 1, г).

По данным микрорентгеноспектрального анализа связующая фаза алмазоносного слоя пластины вмещает 65-70 % (по массе) Со и 30-35 W. Такое соотношение компонентов приблизительно соответствует составу эвтектики Со-WС согласно диаграмме состояния системы W-С-Со [2].

По данным работы [3] при температуре плавления эвтектики (1320 °С при атмосферном давлении) жидкая фаза в твердом сплаве составляет 64 % (по массе) Со и 36 % W, причем ее объем в сплаве марки ВК20 составляет 41,9%. На дифрактограмме алмазного слоя спеченных АТП (см. рис.1), кроме линии алмаза, видны линии карбида вольфрама и кобальта. Это дает основание утверждать, что пропитка алмазного слоя пластины осуществляется расплавом Со – WС эвтектического состава.

Утверждение о графитизации алмазов в порах алмазной прессовки в процессе нагрева до температуры спекания, которая наблюдалась в работе [4], не подтвердилось. Графитизация алмаза происходит при спекании в области температур выше 2000 °С, что при используемом давлении отвечает области термодинамической стабильности графита на Р – Т диаграмме углерода. Характерно, что если на дифрактограмме АТП, спеченных в условиях термодинамической стабильности алмаза (см. рис. 1, г), видны только следы двойного карбида вольфрама кобальта типа $Co_xW_yC_z$, то в пластинах, полученных в условиях термодинамической стабильности графита (см. рис. 1, д), он присутствует в значительном количестве. При этом монокарбид WС практически отсутствует. По данным работы [2] двойной карбид вольфрама кобальта типа $Co_xW_yC_z$ может образовываться при недостаточном для нормальной кристаллизации содержании углерода. Таким образом, можно утверждать, что эвтектический расплав Со – WС, который проникает в алмазный слой с твердосплавной подложки при температуре и давлении в области термодинамической стабильности графита, кристаллизуется в виде графита двойного карбида вольфрама кобальта и кобальта.

При введении порошка никеля в алмазный порошок для активирования процесса спекания на дифрактограмме, снятой с поверхности алмазного слоя спеченной АТП, присутствует только линия алмаза и никеля (см. рис. 1, е). В то же время в алмазном слое в области подложки находился кобальт и карбид вольфрама. Вероятно, жидкая фаза, которая образуется в подложке, вытесняет расплав никеля до поверхности алмазного слоя. Этот факт можно связать с повышенной вязкостью металлических расплавов, которые содержат тугоплавкие частицы. По данным работы [5] пропитка алмазного порошка кобальтом при давлении 8,0 ГПа начинается при 1440 °С, а расплавом из твердого сплава – при 1700 °С, и для достижения одинаковых констант скорости пропитки твердый сплав необходимо нагреть на 150 – 200 градусов выше, чем чистый кобальт. Этим объясняется необходимость использования высоких температур для спекания алмазных твердосплавных пластин. Так, при температурах спекания 1500 – 1600 °С алмазоносный слой диспергируется и отслаивается от подложки.

Лабораторные исследования термостабильности АТП

С целью максимального приближения наших исследований к условиям реального процесса изготовления инструмента (пайки АТП) пластины размещали в предварительно нагретую муфельную печь при атмосферном давлении и выдерживали заданное время с последующим охлаждением на воздухе. Исследования проводили в диапазоне температур 500 – 800 °С и выдержки 1 – 10 мин.

Испытания износостойкости АТП после нагрева и охлаждения проводили в соответствии с методикой, описанной в стандарте ИМ НАНУ СТП 90.103–93. Сущность метода заключается в определении износа АТП при строгании кварцевого песчаника, имеющего прочность на одностороннее сжатие 140 МПа и абразивность 35 мг. Режимы испытаний: скорость резания – 0,55 м/с, глубина резания – 0,5 мм, поперечная подача – 2,8 мм/ход. Длина пути резания 50 м.

Результаты исследования термостабильности АТП представлены на рис. 2. Для пластин, изготовленных по серийной технологии (1), нагрев пластин в течение 3 мин до температуры 650 °С не приводит к снижению износостойкости АТП, тогда как нагрев выше 650 °С приводит к их деградации. При 10 мин нагрева термостабильность пластин составляет 500 °С. Для АТП, спеченных по экспериментальной технологии (2), термостабильность составляет 750 °С при 3 мин нагрева и 620 °С при 10 мин нагрева. Таким образом, спекание АТП по экспериментальной технологии способствует повышению термостойкости пластин на 100 °С. Для сравнения с отечественным АТП на рис. 2 приведены данные по термостабильности пластин фирмы De Beers (3).

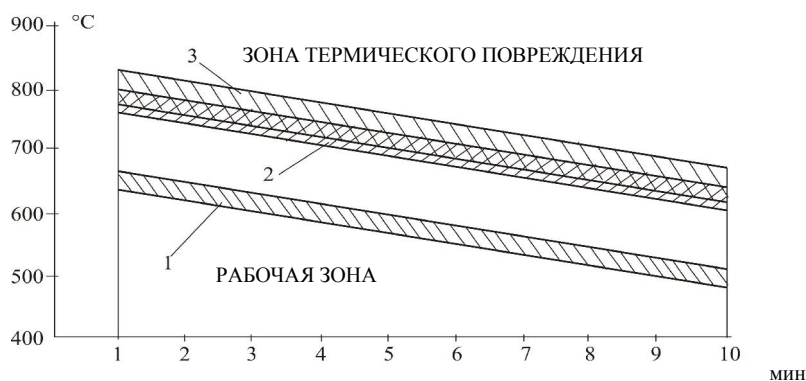


Рис. 2. Термостабильность АТП, спеченных по серийной технологии (1), по экспериментальной технологии (2) и пластин фирмы De Beers (3).

Для анализа причин различных значений термостабильности АТП, изготовленных разными способами, проведены исследования микроструктуры алмазного слоя пластин. Методом микрорентгеноспектрального анализа изучено содержание металлов активаторов в направлении от подложки до поверхности алмазоносного слоя (рис. 3).

Спекание пластин по серийной технологии проводится с дошихтованием алмазного порошка 10 % (по массе) порошка никеля, температура плавления которого под давлением на 150 °С ниже температуры плавления эвтектики Со – WС, что способствует увеличению скорости пропитки и спекания алмазоносного слоя. Суммарная масса металлов – активаторов в серийных пластинах составляет 15 %, причем наблюдается эффект вытеснения никеля к поверхности алмазного слоя более вязким эвтектическим раствором Со – WС, который проникает в алмазный слой с твердосплавной подложки. Уменьшение массы дошихтованного никеля до 3 % приводит к более равномерному распределению металлов – активаторов в экспериментальных АТП, а их суммарная масса уменьшается до 10 %. В импортных АТП металлы – активаторы Со и W равномерно пропитывают алмазоносный слой, а их суммарная масса составляет 7 %.

Промышленные испытания

Для проведения испытаний пластин АТП с повышенной термостойкостью было изготовлено буровое долото ИСМ-АП-214,3 С (рис. 4), которое оснащалось указанными пласти-

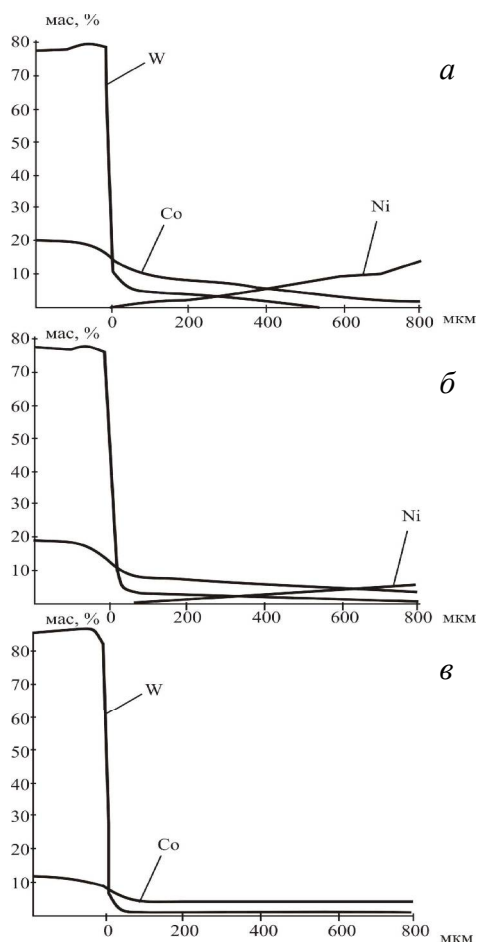


Рис. 3. Распределение металлов-активаторов в алмазном слое АТП, спеченных по серийной технологии (1), по экспериментальной технологии (2), пластин фирмы “De Beers” (3).

нами. Долото состоит из стального корпуса, в шести лопастях которого закреплялись 47 пластин АТП Ø 13,5 мм.

Испытания долота проводились на скважине № 154 Мелиховского месторождения Шебелинского УБР в интервале глубин 2300–2738 м, по породам представленным ангидридами, аргиллитами и доломитами. Результаты производственных испытаний представлены в таблице.

Эффективность применения долот ИСМ-АП-214,3 С, оснащенных термостойкими пластинами АТП, подтверждается значительным увеличением проходки (более 11 раз) и механической скорости бурения (на 20 %). Результаты отработки долот ИСМ приводятся в сравнении с результатами отработки шарошечных долот, так как ни импортные долота с пластинами РСД, ни отечественные с пластинами АТП серийного производства, в твердых породах не используются. Неэффективность первых обуславливается высокой ценой, вторых – низкой проходкой на долото.



Рис. 4. Буровое долото ИСМ – АП – 214,3 С.

Таблица. Сравнительные результаты бурения долотами ИСМ, оснащенных термостойкими пластинами АТП, в условиях Шебелинского УБР

Типоразмер и номер долота	Номер скважины	Геологический разрез	Диапазон бурения, м	К-во долот, шт.	Проходка на долото, м	Время бурения, ч.	Механическая скорость бурения, м/ч.
ИСМ-АП214,3 С № 34575	154. Мелиховская	Аргиллиты, алевролиты ангидриды, доломиты	300 – 738	1	406	413	0,98
215,9 С - ГВУ	151. Мелиховская		357 – 743	11	35	43	0,82

Выводы

В результате проведения научно-исследовательских работ и производственных испытаний установлено следующее:

1. Созданы новые пластины АТП, термостойкость которых составляет 750 °С при времени нагревания 3 мин.
2. С уменьшением количества металлов – активаторов в алмазном слое термостабильность АТП увеличивается.
3. Разработанные долота ИСМ-АП-214,3 С, оснащенные термостойкими пластинами АТП, показали высокую эффективность применения в гомогенных отложениях.

Литература

1. De Vriec R. C. Plastic deformatich and «wab–hardenirq» of diamond //Material Rereach Bulletin – 1975 – **10**, № 11 – Р. 1193–1200.
2. Третьяков В. И. Основы металловедения и технологии производства спеченных твердых сплавов. – М. : Металлургия, 1976. – 528 с.
3. Лисовский А. В. Миграция расплавов металлов в спеченных композиционных телах. – Киев : Наук. думка, 1984. – 256 с.
4. Поликристаллические материалы на основе алмаза / Шульженко А. А., Гаргин В. Г., Шишкин В. А., Бочечка А. А. – Киев : Наук. думка. – 1989. – 192 с.
5. Бочечка А. А., Гаргин В. Г. Миграция кобальта в алмазный порошок из твердого сплава при высоком давлении // Влияние высоких давлений на свойства материалов. – Киев : ИПМ АН УССР, 1990. – С. 103–107.

Поступила 13.04.2006 г.