

Техніка і технології

УДК 621.91.02:621

БУРОВОЙ ИНСТРУМЕНТ, ОСНАЩЕННЫЙ ТЕРМОСТОЙКИМИ РЕЖУЩИМИ ВСТАВКАМИ АТП

Н.А.Бондаренко, А.С.Осипов, В.А.Мечник, И.А.Петруша, Г.П.Гажга

Институт сверхтвердых материалов им. В.Н. Бакуля НАН Украины,
г. Киев, ул. Автозаводская, 2, тел. (044) 4675625, e-mail: bond@ism.kiev.ua

Подано результати дослідження роботоздатності бурового долота, оснащеного АТП складу алмаз – (SiC + CrB₂). Встановлено, що зносостійкість цих пластин не змінюється при їх нагріванні в муфельній печі до 1100 °С. Промислові випробування бурового долота, оснащеного дослідними АТП, показали їх істотну перевагу за зносостійкістю над долотами, оснащеними АТП стандартного складу.

It is shown the research results about efficiency of drilling bits with PCD which had diamond-(SiC-CrB₂) structure. Wear resistance of these PCD are not change at heating into muffle furnace until 1100°C. Industrial tests of the drilling bits with produced PCD show significant superiority in wear resistance in contrast to drilling bits with standard PCD.

1. Актуальность. Алмазно-твердосплавные пластины (АТП) – одни из самых перспективных материалов для буровых инструментов [1, 2]. Их изготавливают спеканием в условиях высоких давлений 6–9 ГПа и температур 1350–1800°C при различном времени изостатической выдержки. Для обеспечения высоких износостойкости, теплопроводности, термо- и химической стойкости в алмазосодержащем композите должно быть равномерное распределение фазовых составляющих, максимальная уплотняемость компонентов, сформированное однородное напряженное состояние, наличие сильных химических связей на границе контакта твердосплавной полочки с алмазосодержащим слоем. Научно-технический прогресс остро поставил проблему повышения износостойкости инструмента из АТП и производительности бурения нефтяных и газовых скважин. Для разработки технологии изготовления АТП с перечисленными выше характеристиками требуется всеобъемлющее изучение структур и физико-механических свойств – от проверки достоверности результатов до тщательного исследования случаев, которые, по общему мнению, считаются совершенно подлинными. Все данные следует квалифицированно проверять, невзирая на огромный объем работ и трудность поставленных задач.

В поисках путей повышения износостойкости и работоспособности алмазных буровых инструментов в [3–12] было выявлено ряд важ-

ных факторов, связанных с их влиянием на физико-механические свойства АТП:

– износостойкость и надежная работа бурового инструмента определяется термостойкостью АТП и уровнем остаточных напряжений как в алмазосодержащем слое, так и в твердосплавной матрице;

– термостойкость АТП существенным образом зависит от содержания кобальта и ковалентных соединений в алмазосодержащем слое;

– использование в составе исходных веществ композита карбида кремния и диборида хрома препятствует диффузии кобальта из твердосплавной матрицы в алмазосодержащий слой;

– оказалось возможным для кобальта, карбида кремния и диборида хрома, как материала связки в рабочем слое композита, найти способ повышения термостойкости и некоторых механических свойств АТП.

Целью настоящей работы является разработка технологии спекания АТП повышенной износостойкости, термостойкости и конкурентоспособных инструментов на их основе для бурения нефтяных и газовых скважин.

2. Материалы и методы исследования. Образцы композиционного материала получали методом встречной пропитки расплавом кремния и кобальта алмазного микропорошка с добавкой частиц диборида хрома, которые раз-

мещали на подложке твердого сплава ВК15 (85 вес. % WC – 15 вес. % Co). Спекание проводили в АД тороид в условиях давлений 8–9 ГПа и температур 1600–1800°C при различном времени изостатической выдержки. Структуру и фазовый состав образцов композита исследовали методами рентгеноструктурного и рентгенофазного анализа, оптической и электронной микроскопии.

Массу кремния рассчитывали исходя из возможности полного заполнения жидким кремнием пористого пространства алмазного микропорошка за вычетом массы CrB_2 в условиях высокого давления. Спеченные образцы методами алмазноабразивной шлифовки доводили до диаметра 13,5 мм и общей высоты 3,5 мм. Лабораторные испытания АТП проводили путем строгания блока кварцевого песчаника по методике [11]. Промышленные испытания алмазного долота ИСМ-АП-214,3 С проводили в условиях Шебелинского газоконденсатного месторождения.

3. Результаты исследований. Согласно результатов работы [10] следует, что износ АТП стандартного состава после их нагревания в обычной муфельной печи при температуре $T = 650^\circ\text{C}$ и времени выдержки $t = 3$ мин практически не изменяется по сравнению с АТП, испытанных без термообработки. В то время как увеличение времени выдержки до 10 мин при $T = 650^\circ\text{C}$ приводит к увеличению износа образцов АТП более 3 раз, а при увеличении температуры нагревания до 800°C при выдержке 3 мин происходит резкое снижение физико-механических свойств композиционного материала.

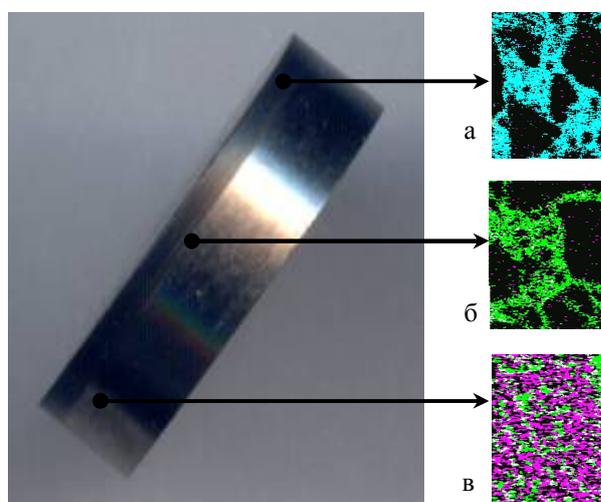
Результаты исследований опытных образцов АТП при тех же условиях, как и для образцов АТП стандартного состава, показали, что их износостойкость не изменяется при увеличении температуры $T = 800^\circ\text{C}$ и времени выдержки до 10 мин. Полученные результаты свидетельствуют о том, что введение карбида кремния и диборида хрома в состав исходных веществ способствует увеличению термостойкости композита и позволяет его использовать в условиях нагрева на воздухе до 1100°C без снижения его износостойкости.

Для подтверждения полученных результатов были проведены дополнительные исследования влияния $p - T - t$ условий спекания на структуру и износ АТП. Термообработку полученных образцов АТП проводили в обычной муфельной печи в течении 3 мин при температуре отжига 900, 1000 и 1100°C . Результаты испытаний на износостойкость показали (рис. 1), что линейные размеры участка износа образцов АТП не изменяются вплоть до термообработки при 1100°C и составляют 0,25 мм. На рис. 2 показано микротопографическое изображение общего вида термостойкой АТП, представляющей собой трехслойный композиционный материал. Верхний слой (рис. 2, а) является результатом процессов, происходящих при спекании композита состава алмаз – $(\text{SiC} + \text{CrB}_2)$.



*а – без термообработки;
б – после термообработки на воздухе при 1100°C в течение 3 мин.*

Рисунок 1 — Изображение алмазно-твердосплавных пластин после испытаний на износостойкость при строгании блока песчаника

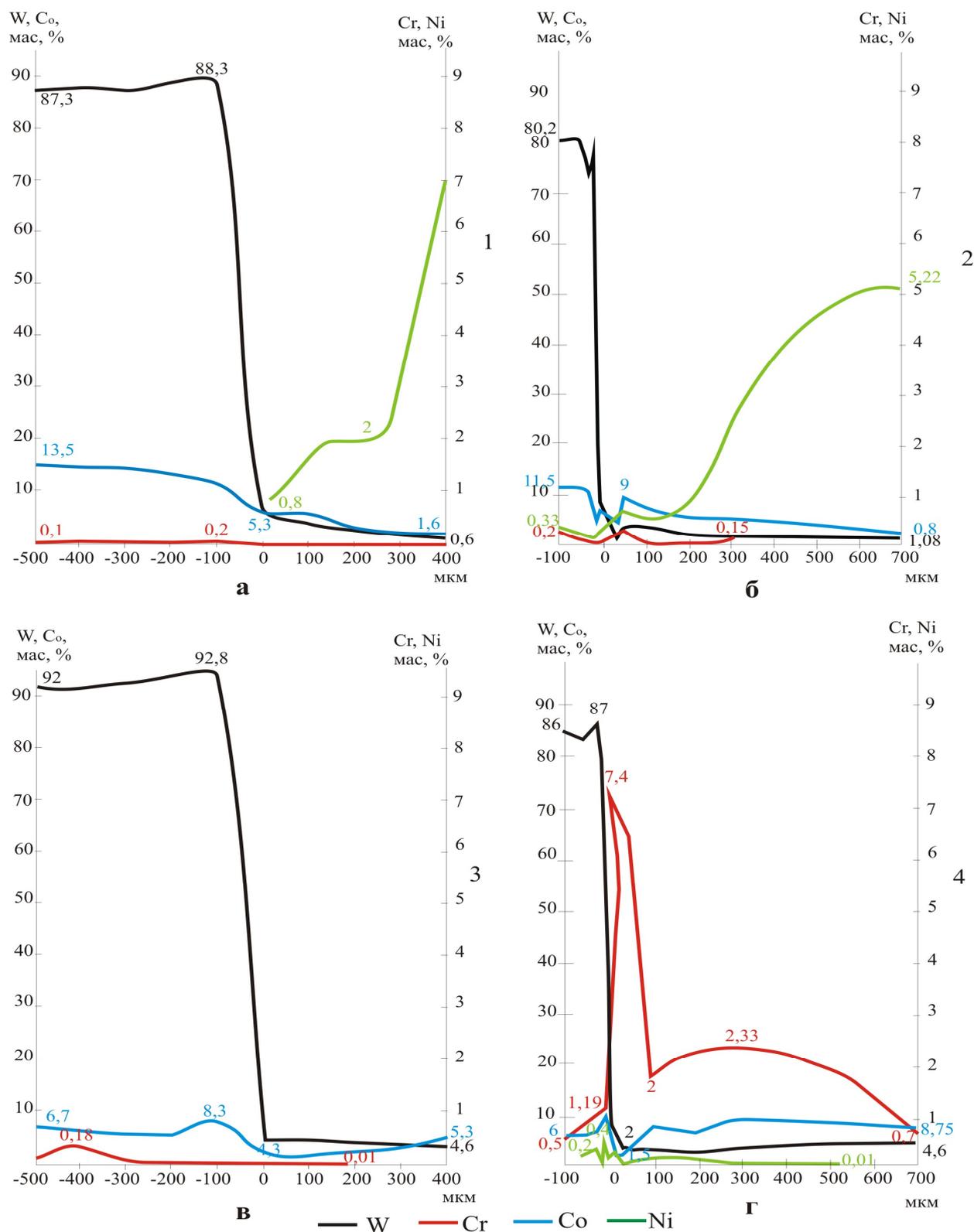


*а) структура композита алмаз-карбид кремния;
б) структура переходного слоя алмаз-кобальт;
в) структура твердого сплава WC/Co 15 вес. %*

Рисунок 2 — Общий вид термостойкой алмазно-твердосплавной пластины

Структура промежуточного слоя (рис. 2, б) имеет такой же вид, как и структура алмазосодержащего слоя стандартных АТП. Таким образом, результаты проведенных исследований позволяют заключить о том, что разработанные с помощью новых технологических приемов АТП могут использоваться для оснащения буровых долот применяемых для бурения абразивных пород средней твердости, а также верхних интервалов твердых пород.

Для выяснения причины изменения термостойкости проведены исследования по распределению исходных веществ по высоте АТП, отличающихся химическим составом и условиями спекания. На рис. 3 приведены графические изображения распределения элементов в алмазосодержащем слое исследуемых образцов, полученных по технологиям: образцы 1 – стандартная технология (рис. 3, а); образцы 2 – оптимизированные технологические режимы (рис. 3, б); образцы 3 – фирмы «De Beers» (рис. 3, в) и образцы 4, содержащие в составе исход-



а – стандартная технология (образцы 1); б – экспериментальная (образцы 2); в – фирмы «De Beers» (образцы 3); г – образцы, содержащие в составе исходных веществ CrB₂

Рисунок 3 — Графические иллюстрации распределения элементов по высоте АТБ

ных веществ образцов 1 и 2 добавку порошков диборида хрома CrB₂ (рис. 3, г). Из анализа этого рисунка следует, что исходные элементы алмазосодержащего слоя и твердосплавной матрицы распределены совершенно по-разному.

При спекании образцов 1 и 2 наблюдается неравномерное распределение никеля, кобальта и вольфрама (см. рисунок 3, а и 3, б соответственно), что и является причиной низкой термостойкости этих пластин. В то время как в об-

Таблица 1 — Сравнительные результаты обработки долот ИСМ, оснащенных новыми АТП в условиях ДК "Укргазвидобування"

Марка долота	№ скважины	Геологическое сечение	Интервал бурения, м		К-во долот, шт.	Проходка на долото	Время бурен., час	Мех. скорость бурен. м/час
			от	до				
ИНМ-АП-214,3 С № 34575	154 Мелиховская	Аргелиты, алевролиты ангидриды, доломиты	2300	2738	1	406	413	0,98
215,9 С - ГВУ	151 Мелиховская		2357	2743	11	35	43	0,82
ИНМ-АП-165,1 С № 34766	31 Кобзовская	Песчаники, кварцитовые известняки	3569	3800	1	193	389	0,5
165,1 СЗ ГАУ, R – 229	26, 33, 27, 39 Кобзовская		3567	3743	10	27,7	65	0,38
6½ SL12TKPR	22 Кобзовская		3530	3655	1	115	219	0,53

разце 3 наблюдается более равномерное распределение вольфрама, кобальта и хрома (см. рис. 3, в). В образце 4, в отличие от образца 3, хром распределяется на границе сопряжений алмазосодержащий слой – твердосплавная матрица и в алмазосодержащем слое равномерно (см. рис. 3, г). Гармония химического состава и технологических режимов спекания позволила получить АТП с повышенной термостойкостью и надежным сцеплением алмазосодержащего слоя с твердосплавной матрицей. Так, испытания на износостойкость показали, что нагревание в течении 3 мин при температуре 650°C практически не влияет на термостойкость образца 1, то есть износ не уменьшается. При увеличении температуры до 670°C приводит к существенному снижению термостойкости этого образца. Термостойкость образца 2 при выдержке $t = 3$ мин составляет 750°C, а при $t = 10$ мин – 620°C. Из анализа представленных данных следует, что образцы пластин АТП 1 и 2 чувствительны к температуре, что ограничивает их использование в долотах при бурении твердых горных пород. Существенно лучшие результаты получены для образцов 3 и 4, их термостойкость составляет 900 и 1100°C соответственно.

4. Результаты промышленных испытаний. Для проведения испытаний в промышленных условиях были приготовлены буровые долота ИСМ-АП-165,1 С (рис. 4) и ИСМ-АП-214,3 С (рис. 5), оснащенные новыми АТП. Испытания долот проводили при бурении скважины на буровых площадях ДК "Укргазвидобування" в теригенных отложениях, в том числе песчаников средней твердости и абразивности. Результаты сравнительных испытаний приведены в таблице 1.

Результаты испытаний показали высокую эффективность использования буровых долот ИСМ, оснащенных АТП нового поколения при



Рисунок 4 — Буровое долото ИСМ-АП-165,1 С



Рисунок 5 — Буровое долото ИСМ-АП-214,3 С

бурении пород средней твердости. Опытные долота по сравнению с шарошечными буровыми долотами производства ООО "Волгабурмаш" имеют преимущества: по проходке в 10–11 раз, а по механической скорости бурения в 1,2 раза.

Экономический эффект от внедрения новых долот ИСМ обеспечивается не только за счет высоких показателей по проходке и механической скорости бурения, но и меньшей в несколько раз стоимости инструмента и сокращения времени на спуско-подъемные операции.

В настоящее время в ИСМ НАН Украины на основании новых АТП разработаны ряд типоразмеров долот и бурильных головок: ИСМ-АП-292,9 С; ИСМ-АП-214,3/80 С; ИСМ-АП-138,1 С и др., которые успешно используются как в Украине, так и в странах ближнего зарубежья.

Литература

1 Scott D.E. The history and impact of synthetic diamond cutters and diamond enhanced inserts on the oil and gas industry // *Industrial Diamond Review*. – 2006. – N1. – P. 48-58.

2 Schell E.J. et all. New stable PDC technology significantly reduces hard rock cost per foot // *SPE/IADC Drilling Technical Conference*. – Amsterdam, The Netherlands, February 19-21, 2003.

3 Butcher T.N. et all. Polycrystalline diamond cutters having modified residual stresses / U.S. Patent 6,220,375, April 24, 2001.

4 Bertagnolli K.E. et all. Polycrystalline diamond compact cutter having a stress mitigating hoop at the periphery / U.S. Patent 6,408,959, June 25, 2002.

5 Vex P.A., Shafto G.R. The Influence of Temperature and Heating Time on PDC Performance // *Industrial Diamond Review*. – 1984. – 44. – P.128-132.

6 Tomlinson P.N. Clark I.E. Syndax3 pins – new concepts in PCD drilling // *Industrial Diamond Review*. – 1992. – N3. – P. 109-114.

7 Воронин Г.А., Осипов А.С. Физико-механические свойства композиционных материалов на основе алмаза и карбида кремния // *Сверхтвердые материалы в ускорении научно-технического прогресса*. – К.: ИСМ АН УССР, 1897. – С. 29-33.

8 Осипов А.С., Петруша И.А., Мельничук Ю.А, Ткач С.В. Алмазно-твердосплавные пластины с термостойким режущим слоем // *Международная конференция «Современное материаловедение: достижение и проблемы» MMS-2005, 26-30 сентября 2005 г.: Тезисы докладов*. – К., 2005. – С 432-433.

9 Мельничук Ю.А, Петруша И.А., Осипов А.С. Технологические возможности лезвийного инструмента, оснащенного алмазно-керамическими пластинами // *Технологии механической обработки материалов: Сб. научн. тр. (Сер. Процессы механической обработки, станки и инструменты) / НАН Украины, ИСМ им. Бакуля*. – 2006. – С. 19-25.

10 Стасюк Л.Ф., Мельник М.П., Бондаренко Н.А. и др. Термостойкие АТП и результаты их применения в буровых инструментах ИСМ // *Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения*. – К.: ИСМ НАН Украины, 2006. – С.25-30.

11 Новиков Н.В., Шульженко А.А. Структура алмазно-твердосплавных пластин для бурового инструмента // *Буровой инструмент из сверхтвердых материалов*. – К.: ИСМ АН УССР, 1986. – С. 3-8.

12 Воронин Г.О., Осипов О.С., Шульженко О.О. Композит на основе алмазу та карбиду кремнію, призначений для оснащення бурового інструменту // *Минералогический журнал*. – 1995. – № 6. – С. 90-95.



Кафедра методів та приладів контролю якості і сертифікації продукції

Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу

Для участі в роботі вказаної конференції і виставки запрошені відомі спеціалісти і науковці з неруйнівного контролю (НК) і технічної діагностики (ТД) України, Росії, Білорусії і Молдови, організації-виробники і постачальники засобів НК і ТД в Україні, представники нафтогазовидобувних, нафтогазотранспортних, машинобудівних підприємств України, де експлуатуються засоби НК і ТД, а також організації, які здійснюють контроль за проведенням НК і ТД на промислових підприємствах.

5-а Міжнародна науково-технічна конференція і виставка

СУЧАСНІ ПРИЛАДИ, МАТЕРІАЛИ І ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ І ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ МАШИНОБУДІВНОГО І НАФТОГАЗОПРОМИСЛОВОГО ОБЛАДНАННЯ

Оргкомітет:

тел.: (+380 3422) 42430, 46077

факс: (+380 3422) 40089

<http://www.nung.edu.ua>

e-mail: zarichna@nung.edu.ua