

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ АРМИРОВАНИЯ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА СИНТЕТИЧЕСКИМИ СВЕРХТВЕРДЫМИ МАТЕРИАЛАМИ В СТАНДАРТНЫХ СВЯЗКАХ-МАТРИЦАХ

Л. К. Горшков, Н. Н. Суманев, Г. А. Сенькин

Стандартные связки на основе карбида вольфрама-кобальта в зависимости от их твердости и назначения изготавливают методами холодного (№ 3, 20—25 HRC, и № 4, 30—35 HRC) и горячего (№ 5, 50—55 HRC) прессования. Температуры спекания связок-матриц изменяются [5] в пределах от 1150 (№ 3) до 1350°C (№ 5) и в восстановительной среде не приводят к появлению заметных следов графитизации или потере механической прочности у совершенных монокристаллов природного алмаза.

Термостойкость синтетических алмазов заметно падает при увеличении содержания примесей и в зависимости от совершенства кристаллической решетки: если монокристалльные порошки синтетического алмаза САМ могут выдерживать кратковременное нагревание до 1300°C, то алмазы АСП, отличающиеся характером строения скелета зерен, быстро теряют механическую прочность и интенсивно графитизируются уже при 1000—1100°C [3, 8]. Исследование термостойкости поликристаллических синтетических алмазов АСБ [6] показало, что при температуре нагрева на воздухе до 700—720°C зерна этих алмазов полностью теряют свои первоначальные свойства и превращаются в порошок буровато-зеленоватого цвета. В водородной среде (восстановительной) эти алмазы выдерживают нагрев до 950°C. Поэтому, учитывая пониженную термостойкость синтетических алмазов, породоразрушающие и металлообрабатывающие инструменты армируются ими с помощью специально разрабатываемых низкотемпературных связок, спекание которых производят при температурах 750—900°C [2, 5].

По аналогии с алмазными синтетическими материалами абразивные материалы на основе кубического нитрида бора (КНБ) как монокристалльные (термостойкость на воздухе 1500—1600°C [9]), так и поликристаллические (термостойкость на воздухе 1050—1100°C [3]) используют для армирования абразивных и породоразрушающих инструментов также в низкотемпературных связках. Хотя при этом и получены положительные результаты [2], но создание низкотемпературных связок еще не вышло из опытной стадии, и они пока не получили широкого рас-

пространения при изготовлении буровых инструментов. Кроме того, низкотемпературные связки очень хрупки и имеют пониженную износостойкость. Поэтому для оценки возможности использования некоторых сверхтвердых материалов в стандартных карбид-вольфрамово-кобальтовых связках [1] было предпринято исследование термостойкости этих материалов. Выбор синтетических материалов обуславливался перспективой их использования в тех условиях, где применение природных и монокристалльных синтетических алмазов не обеспечивает требуемых технико-экономических показателей (например, в условиях бурения скважин в железистых кварцитах Кривого Рога). По данным опытного бурения в Криворожском бассейне, проведенного в 1971 г. совместно сотрудниками ЛГИ и треста «Кривбассгеология», обнадеживающие результаты дало применение коронок, армированных материалом ПТНБ (на основе КНБ). Кроме того, для сравнения были также опробованы монокристалльный эльбор ЭПК (на основе КНБ) и материал ЛК-160/125, изготовленные в институте ВНИИАШ, а также коронки типов 01А3 и 02И3 из природных алмазов.

Перед изготовлением бурового инструмента названные материалы подвергались нагреву в условиях, аналогичных условиям изготовления стандартных коронок методом холодного прессования, т. е. нагреву в водородной среде до 1150°C при давлении, близком к атмосферному, что соответствует условиям спекания коронок с матрицей № 3. По 3—5 зерен (весом около одного карата) каждого материала и для сравнения несколько зерен природных алмазов А160 (с таким же весом) помещали в закрытой керамический тигель и прокаливали в колпаковой камере водородной электрической печи сопротивления типа СГН-2,3/12,2. Конструкция камеры печи обеспечивала равномерность температурного поля по всему объему тигля. Температура в камере измерялась самопишущим потенциометром ПСР-1-08. Для регулирования и стабилизации температуры в камере использовалось программное регулирующее устройство РУ-5-01м в комплекте с вольфрамо-рениевыми термopарами, магнитным усилителем УМ. ЗП. 40. 81 и трансформатором ТСУ-50/0, 5А. Режим термообработки: нагрев до температуры 1150°C , выдержка 60 мин, охлаждение вместе с печью и разгрузка. После прокаливания зерна ЭПК, ПТНБ, ЛК, АСБ и природного алмаза А160 испытывались на прочность на приборе УМГП-3 по методике УфНИИ [7]. Каждое зерно после визуального обследования ставили на вершину конуса и подвергали одноосному статическому сжатию. Нагрузку, при которой зерно разрушалось, принимали за его прочность.

Как видно из табл. 1, практически полностью сохранили свою прочность после прогрева только зерна ЭПК, ПТНБ и природного алмаза А160, что подтверждает возможность их применения в буровом инструменте со стандартными связками. Низкие значения прочности зерен ЭПК можно объяснить нарушениями еще недостаточно отработанной технологии его синтеза в институте ВНИИАШ.

После нагрева до 1150°C алмазы АСБ потеряли блеск, потемнели и под воздействием легких ударов пинцета рассыпались в порошок темно-буро-зеленого цвета с полной потерей абразивных свойств. Таким образом, использование его в буровом инструменте со стандартной связкой исключалось.

Материал ЛК также утратил блеск, приобрел сажистый оттенок в цвете, потерял более 50% прочности, но в какой-то мере сохранил свои абразивные свойства.

Таблица 1

Результаты сравнительных испытаний
на прочность зерен

Материал	Средний диаметр зерен, мм	Среднее значение разрушающей нагрузки, кгс	
		до нагрева	после нагрева
ЭПК	0,5—0,6	6,7	6,5
ЛК	2,0	119	57
АСБ	2,1	218	—
ПТНБ	2,0—2,2	230	226
А160	1,6	240	238

Материал ПТНБ после первого нагрева до 1150°C подвергли дальнейшему нагреву до полной потери им абразивных качеств. При температуре 1400—1500°C зерна ПТНБ начали растрескиваться на отдельные блоки (рис. 1) под влиянием термических напряжений, возникающих, видимо, вследствие различия коэффициентов термического расширения металлических примесей и наиболее твердых кристаллитов. Вероятно, такой процесс имел место и при разрушении зерен АСБ, но при более низкой температуре.



Рис. 1. Изменение агрегатной стойкости заготовок ПТНБ при нагреве: а — до 1150°С; б — до 1500°С

Таким образом, в ходе исследования отобраны материалы для армирования буровых коронок в стандартных связках, получаемых методом холодного прессования, а именно: ЭПК, ДК, ПТНБ. Из этих материалов для стендовых испытаний изготовлены 11 рабочих макетов коронок диаметром 46 мм каждый. Все макеты выполнены импрегнированными; в качестве объемных резцов во всех макетах использовались зерна синтетических абразивов, а в качестве подрезных — овализованные зерна природного ал-

маза А0160 по МРТУ2-037-1-62. Конструкции рабочих макетов (табл. 2) были аналогичны конструкциям серийных коронок.

Таблица 2

Характеристики рабочих макетов и стандартных алмазных коронок

Тип макета или коронки	Материал объемных резцов	Твердость матрицы, HRC	Количество коронок или макетов, шт.	Зернистость объемных резцов, шт./карат	Содержание абразива в коронке, макете, карат		
					общее	объемных резцов	под-резных резцов
Импрегнированные	ЭПК, монокристаллический	20—25	4	800—1200	8,0	5,6	2,4
	ЛК, дробленый	20—25	2	60—90	13,6	11,2	2,4
Импрегнированные	ПТНБ	20—25	3	30—40	13,6	11,2	2,4
		15—20	1	40—60	8,3	5,9	2,4
Импрегнированные О2ИЗ	Природный алмаз А100, дробленый	15—20	1	60—90	9,3	6,9	2,4
		20—25	2	90—150	8,0	5,6	2,4
Однослойные О1АЗ	Природный алмаз А100, дробленый	20—25	2	30—40	8,0	4,0	4,0

Все рабочие макеты обрабатывались на стенде, оборудованном на базе бурового станка ЗИФ-300М с низкооборотным двигателем. В качестве циркуляционного агента использовалась техническая вода, подаваемая с помощью плунжерного насоса ИНБ-79 с расходом 15—20 л/мин. Бурение осуществлялось по блокам малоабразивного джеспилита XII категории по буримости (горизонт К^ж Криворожского бассейна).

Осевые нагрузки для каждого макета и коронок задавались таким образом, чтобы во всех опытах обеспечить постоянство удельных контактных нагрузок, определяемых как отношение общей осевой нагрузки к суммарной площади контактов. Принималось, что одновременно с забоем контактируется примерно $\frac{2}{3}$ всех резцов в одном условном слое [4]. Число условных слоев представляет собой отношение высоты абразивосодержащего слоя (4 мм) матрицы к среднему определяющему размеру зерна (усредненному диаметру).

На каждом технологическом режиме, т. е. при определенных значениях осевой нагрузки и скорости вращения, бурение производилось в течение постоянного времени (10 мин) для всех макетов и серийных коронок, после чего фиксировалась проходка и определялась средняя механическая скорость бурения за указанное время.

Из-за низкого качества материала ЭПК и низкой термостойкости материала ЛК, представляющего собой поликристаллический агрегат из КНБ и алмаза, эти материалы в стандартной связке не работают. Эффективным оказался только материал ПТНБ. Рабочие макеты, армированные этим материалом с различной насыщенностью объемных резцов, как видно из табл. 3 и рис. 2, обеспечивают при равных значениях удельных контактных нагрузок примерно равные механические скорости бурения по блоку джеспилита. Причем при контактных нагрузках, равных 1200 и 2400 кг/см², процессы бурения макетами со связками твердостью как 20—25 HRC, так и 15—20 HRC имеют одинаковый характер изменения механической скорости в зависимости от скорости вращения коронки. Несомненно более высокие значения механической скорости бурения макетами с более мягкой матрицей объясняются лучшим обнажением объемных резцов, в то время как в случае более износоустой-

чивой матрицы наблюдается при относительно малых нагрузках недостаточное обнажение объемных резцов.

Обратная картина имеет место при более высоких нагрузках: в процессе бурения по твердой породе высокая контактная нагрузка способствует вдавливанию объемных резцов в цементирующий металл связи, который как бы «замазывает» резцы, вызывая «засаливание» торца, что резко снижает механическую скорость; в случае более твердой связи характер изменения механической скорости при высоких нагрузках не меняется.

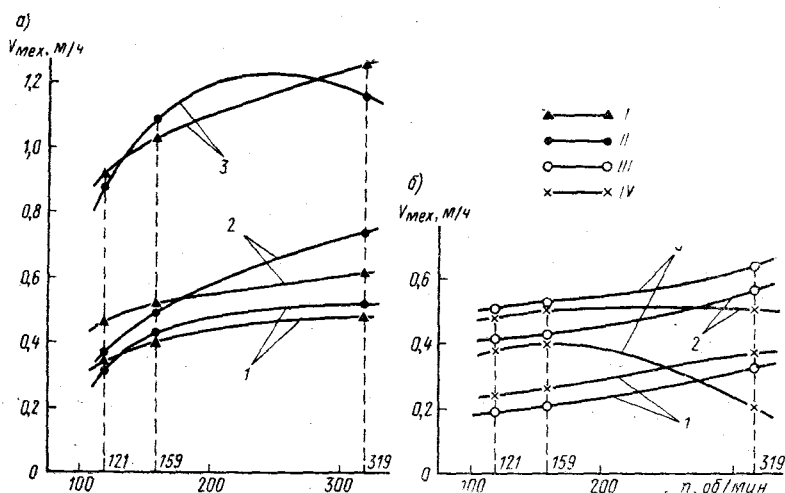


Рис. 2. Изменение механической скорости бурения в зависимости от технологии и вида абразивного материала при разбуривании блоков джеспилита XII категории по буримости: а — макетами коронок из материала ПТНБ; б — коронками из природных алмазов

I и II — содержание объемных резцов 11,2 и 5,9 карата, матрицы 20 — 25 HRC и 15—20 HRC соответственно; III и IV — коронки 0213 и 01A3

1—3 — удельные контактные нагрузки соответственно 1200; 2400 и 3600 кг/см²

Бурение серийными коронками из природных алмазов характеризовалось высокими начальными механическими скоростями (примерно на уровне бурения макетами из ПТНБ), но через 3—5 мин после начала процесса бурения наблюдалось резкое падение скорости по причине зашлифования и выколов алмазов. Последнее особенно характерно для однослойной коронки 01A3. Средняя же скорость бурения алмазными коронками была ниже таковой при бурении макетами из ПТНБ примерно в 1,5—2 раза в зависимости от значений технологических параметров режима бурения,

Таким образом, из результатов проведенного исследования вытекает, что качественно синтезированный поликристаллический материал ПТНБ на основе КНБ может быть успешно использован взамен природных алмазов при изготовлении бурового инструмента на стандартных карбид-вольфрамово-кобальтовых связках для бурения в условиях высоких контактных температур, как, например, при бурении скважин в железистых кварцитах Кривого Рога. Кроме того, представляется возможным использовать материал ПТНБ и при бурении с продувкой в нежелезистых, но твердых породах, где применение алмазных коронок не всегда обеспечивает требуемые технико-экономические показатели.

Таблица 3

Условия и результаты испытаний рабочих макетов и серийных коронок

Абразивный материал	Вес объемных резцов, карат	Твердость матрицы, HRC	Площадь контактов объемных резцов с забоем, см ²	Режим бурения			Средняя механическая скорость,* м/ч
				осевая нагрузка		скорость вращения, об/мин	
				удельная, кг/см ²	общая, кг		
ПТНБ	11,2	20—25	0,616	1200	750	121	0,36
						159	0,39
						319	0,47
				2400	1500	121	0,46
						159	0,51
						319	0,61
	5,9	15—20	0,417	3600	2250	121	0,91
						159	1,03
						319	1,26
				1200	500	121	0,31
						159	0,42
						319	0,51
6,9	15—20	0,577	2400	1000	121	0,36	
					159	0,48	
					319	0,73	
			3600	1500	121	0,88	
					159	1,08	
					319	1,16	
02ИЗ, серийная импрегнированная с природными алмазами	6,9	15—20	0,577	1200	700	121	0,33
						159	0,41
						319	0,55
				2400	1400	121	0,35
						159	0,48
						319	0,76
	5,6	20—25	0,374	3600	2100	121	0,87
						159	1,11
						319	1,22
				1200	450	121	0,20
						159	0,22
						319	0,32
01АЗ, серийная однослойная с природными алмазами	4,0	20—25	0,664	2400	900	121	0,41
						159	0,43
						319	0,57
				3600	1350	121	0,50
						159	0,52
						319	0,63
	4,0	20—25	0,664	1200	800	121	0,24
						159	0,26
						319	0,36
				2400	1600	121	0,49
						159	0,52
						319	0,50
3600	2400	121	0,38				
		159	0,40				
		319	0,20				

* Определена как среднее арифметическое по результатам 2—3-кратных повторений каждого опыта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блинов Г. А. и др. Породоразрушающий инструмент для алмазного бурения Л., «Недра», 1969.
2. Варзанов М. А. и др. Результаты испытаний эльбора поликристаллического типа в буровом инструменте. — В сб. «Алмазы», вып. 5, Л., Изд. ОНТИ ВНИИАШ, 1968.
3. Верещагин Л. Ф., Коняев Ю. С., Довбня А. В. Термостойкость поликристаллических образований алмаза и боразона при давлении до 50 кбар в условиях их спекания с металлокерамическими связками. — В сб. «Алмазы», вып. 4. М., Изд. НИИМАШ, 1970.
4. Горшков Л. К., Будюков Ю. Е., Яковлев А. М. Рациональные насыщенность и крупность объемных алмазов импрегнированных коронок для бурения с продувкой. Изв. вузов. «Горн. журн.», 1971, № 9.
5. Друй М. С. и др. К разработке новых металлокерамических связок для бурового инструмента из синтетических алмазных материалов. — В сб. «Алмазы», вып. 3. М., Изд. НИИМАШ, 1970.
6. Кагарманов Н. Ф. и др. Исследование некоторых физико-механических свойств синтетических алмазов АСБ. — В сб. «Алмазы», вып. 1, М., Изд. НИИМАШ, 1971.
7. Кагарманов Н. Ф., Баландин П. С., Рассказова С. П. Применение якутских алмазов для армирования опытных буровых долот и коронок. Тр. УфНИИ, вып. 16. Уфа, Башкирское книжн. изд-во, 1965.
8. Каменкович А. С. и др. Исследование процесса точения деталей из закаленных сталей. — В сб. «Алмазы», вып. 1. М., Изд. НИИМАШ, 1971.
9. Рекомендации по применению инструментов из эльбора. Л., Изд. ВНИИАШ, 1969.