
Р а з д е л Ш

ПАЙКА. АДГЕЗИОННЫЕ ПОКРЫТИЯ. АДГЕЗИОННЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ ПОЛУЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

УДК 622.233.05

Ю. В. Найдич, В. П. Уманский, А. А. Бугаёв*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВСТАВОК АВКМ ПРИ СВЕРЛЕНИИ ГРАНИТНЫХ ПЛАСТИН В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Приведены результаты испытаний в лабораторных условиях вставок из АВКМ, закреплённых в специально разработанных и сконструированных стальных образцах. Вставки из АВКМ содержали алмазы различных марок и зернистостей. Показано, что с повышением концентрации природных и синтетических алмазов в АВКМ улучшаются эксплуатационные характеристики инструмента: увеличивается скорость сверления и уменьшается его износ. Предложенная и освоенная методика испытаний таких вставок моделирует их эксплуатацию в буровых коронках при геологоразведочном бурении КП (казённого предприятия) "Кировгеология".

Ключевые слова: вставки АВКМ, алмазные зёрна, испытания при сверлении гранита.

Введение

В настоящее время в мировой практике в качестве главного сырья для изготовления буровых коронок используют синтетические алмазы [1—5]. С повышением их качества увеличивается их применение. После алмазов марок АС32, АС50 и АС100 появились алмазы АС400 и АС500 со средней прочностью при сжатии единичных зёрен до 400 и 500 Н. Предлагаются большие партии алмазов зернистостью 500/400 [1]. Важным фактором является также низкая стоимость синтетических алмазов по сравнению с природными. Сейчас наибольшую популярность имеют буровые алмазные

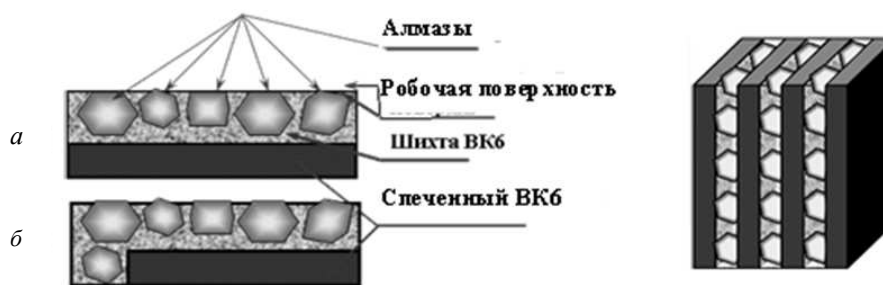
* Ю. В. Найдич — академик НАН Украины, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом, Институт проблем материаловедения им. И. Н. Францевича НАН Украины, Киев; В. П. Уманский — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, там же; А. А. Бугаёв — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, там же.

© Ю. В. Найдич, В. П. Уманский, А. А. Бугаёв, 2016

коронки с матрицей ВК6 (Со — 6%, WC — 94% (мас.)), пропитанные медью, что позволяет бурить твёрдые породы [6]. Достигнутые высокие экономические показатели в алмазном бурении не исключают необходимости их дальнейшего развития и усовершенствования: увеличения скорости бурения (подачи), эксплуатационной прочности, износостойкости и т. д. Этого можно достичь за счёт использования более качественных алмазов, применения адгезионно-активных покрытий, повышения прочности удержания зёрен в матрице и концентрации алмазов в импрегнированном слое до оптимальной величины, а также улучшения эксплуатационных характеристик буровых коронок благодаря использованию вставок новых материалов.

В работе [7] предложен совершенно новый подход к созданию алмазно-твердосплавного макрокомпозита. В созданном материале реализуются высокие механические свойства матрицы из монолитного твёрдого сплава (твёрдость, стойкость к абразивному износу) и сохраняются полностью неповреждёнными алмазные зёрна. При этом прочность закрепления алмазов в матрице весьма высока и достигает 300 МПа. Схема разработанного нового алмазно-твердосплавного макрокомпозитного материала, названного авторами АВКМ (алмазный вольфрамо-кобальтовый материал), показана на рис. 1. Вставки из АВКМ успешно используются в алмазном буровом инструменте, в правящих карандашах и т. д.

В ИПМ НАН Украины разработана вакуумная технология получения алмазных буровых коронок типа БА с адгезионным закреплением алмазных зёрен в связке [5] и оснащённых вставками из АВКМ. По этой технологии изготовили и испытали в производственных условиях при бурении пород высокой твёрдости (X—XI категории буримости) партию алмазных буровых коронок диаметром 76 мм. Опытные коронки показали повышенную работоспособность по сравнению с серийными: средняя проходка на коронку составила 20—25 м (средняя проходка серийной коронки — 15—18 м) [8]. Такие положительные результаты были получены благодаря использованию в опытных коронках новых вставок из АВКМ



Общий вид новой вставки

Рис. 1. Схема размещения алмазов во вставке из АВКМ по одной (а) и по двум (б) поверхностям

Fig. 1. The schema of placing diamonds in the insertion of АВКМ one (а) and (б) two surfaces

Цель настоящей работы — исследовать в лабораторных условиях эксплуатационные свойства вставок из АВКМ и вставок из импрегнированной алмазонасной матрицы, закреплённых в стальных державках и оснащённых алмазными зёрнами различных марок, размеров и концентраций.

Методика экспериментов и объекты исследований

Авторы изготовили стальные державки, оснащённые вставками из АВКМ (рис. 2) и вставками из импрегнированной алмазонасной матрицы, где алмазные зёрна закреплены в прессованной шихте твёрдого сплава марки ВК6.

Эти державки представляли собой цилиндры двух диаметров: меньший — 10 мм предназначен для закрепления в патроне сверлильного станка и больший — 18 мм, торец которого оснащён двумя вставками АВКМ с закреплёнными в них зёрнами алмазов либо двумя вставками из импрегнированной алмазонасной матрицы. Всего изготовлено 12 таких державок, среди которых 9 оснащены вставками из АВКМ с различными конструктивными параметрами и 3 — вставками из импрегнированной алмазонасной матрицы. Использовали алмазы трёх различных марок и зернистостей: природные — А8 1000/800, синтетические — АС500 500/400 и АС500 400/315. Все алмазы предварительно металлизировали хромом и медью для прочного закрепления их в матрице инструмента. На рабочей торцевой поверхности твердосплавных вставок размером 6 x 6 x 3 фрезировали три параллельные канавки глубиной и шириной по 1 мм, в которые сначала помещали тонкий слой суспензии порошка шихты ВК6 и биндера (6%-ный раствор полибутилметакрилата в этиловом эфире уксусной кислоты), а затем засыпали зёрна алмазов. В каждой из трёх пар пластин заполняли алмазными зёрнами одну, две и три канавки, в которые помещали примерно 6 зёрен природных алмазов марки А8 1000/800, либо 13 зёрен синтетических алмазов марки АС500 500/400 с взаимным перекрытием, либо 45 зёрен более мелких алмазов марки АС500 400/315 также с взаимным перекрытием. Таким образом, получили 9 вариантов державок со вставками из АВКМ.

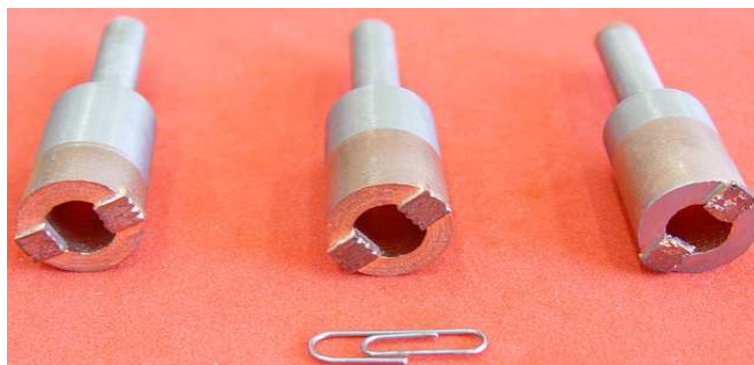


Рис. 2. Стальные образцы с закреплёнными вставками из АВКМ

Fig. 2. Steel standards with the envisaged insertions АВКМ

После засыпки зёрен алмазов в канавки пластины сверху их заливали той же суспензией и сушили. Затем в пазы, расположенные на торце каждой из державок, помещали по две пластины с алмазными зёрнами так, чтобы канавки были ориентированы радиально. То есть продольная ось канавок должна быть перпендикулярна направлению вращения при испытаниях (рис. 2). Между пластиной и поверхностью паза наносили немного клея — того же биндера и также сушили. Данную операцию выполняли для того, чтобы твердосплавные пластины с алмазами не выпадали в процессе последующей пропитки. Затем на приклеенных пластинах размещали кусочки меди массой 0,46 г. Державку с приклеенными двумя пластинами и кусочками меди в вертикальном положении помещали в алундовый тигель, а затем загружали в вакуумную установку марки СШВЭ. Пропитку—пайку медью выполняли при температуре 1120 °С в течение 5 мин. Вакуум был не ниже $2 \cdot 10^{-3}$ Па. В процессе данной операции биндер выгорал и откачивался вакуумными насосами, а расплавленная медь пропитывала и заполняла поры между алмазными зёрнами и шихтой ВК6 в канавках пластин, а также заполняла зазор между вставкой и пазом стальной державки. После охлаждения и извлечения из печи полученные образцы с запаянными вставками и закреплёнными в них алмазными зёрнами обтачивали на абразивном круге, чтобы удалить излишки меди и вскрыть алмазы.

Для изготовления образцов, оснащённых вставками из импрегнированной алмазонасной матрицы, применяли следующую технологию. Мелкий порошок шихты ВК6 гранулировали с использованием биндера. Гранулы размером 500—300 мкм смешивали с тремя группами упомянутых алмазов так, чтобы получить три вида различных смесей. Гранулирование шихты ВК6 позволило равномерно разместить в ней зёрна алмазов при перемешивании. Концентрация алмазов по объёму составляла примерно 31,25% (125% условных единиц, применяемых в инструментальной промышленности). Такая же концентрация достигалась при заполнении всех трех канавок в твердосплавных пластинах при получении АВКМ. Шихту с различными алмазами впоследствии прессовали под давлением 100 МПа в специальной пресс-форме для изготовления образцов размером 3,5 x 6 x 12 мм. Извлеченные из формы прессовки разрезали пополам для получения примерно таких же размеров, как и твердосплавные пластины: 3,5 x 6 x 6 мм — основы АВКМ. В дальнейшем были изготовлены три образца, оснащённые вставками из импрегнированной алмазонасной матрицы, пропиткой медью по методике получения образцов со вставками из АВКМ.

Для лабораторных испытаний использовали стенд, на котором осуществляли сверление пластин из гранита X-й категории буримости. Стенд представлял собой настольный сверлильный станок марки “Комунарс” модели 2М112, дополненный рычажной системой и устройством для принудительной подачи охлаждающей воды. Режим испытаний моделировал условия работы буровых коронок: линейная скорость вращения составляла 4 м/с, давление коронок на породу — 6 МПа. В нашем случае число оборотов патрона достигало 4500 об/мин, а усилие прижима модели к гранитной пластине было постоянным — 42 кг,

что обеспечивало идентичность с эксплуатационными параметрами буровых коронок. Для приложения постоянного усилия прижима к рычагу вертикальной подачи станка крепили специальный груз.

Испытания проводили следующим образом. Испытуемый образец закрепляли в патроне сверлильного станка. После включения станка вращающийся с заданной скоростью образец вместе с системой принудительной подачи воды плавно опускали на поверхность гранитной пластины толщиной 23 мм, расположенной в ёмкости с холодной водой (15—20 °С). Таким образом, каждый образец просверливал в пластине по четыре сквозных отверстия (общая глубина просверленных отверстий составила 92 мм). Скорость сверления рассчитывали как отношение общей глубины просверленных отверстий к суммарному времени сверления.

Убыль массы моделей (алмазоносного слоя) в результате сверления определяли взвешиванием до и после испытаний на лабораторных весах марки АДВ-200М. Удельную проходку рассчитывали как отношение проходки к убыли массы образцов. В самом начале исследований на разрывной машине Р-05 с помощью специального устройства определяли среднюю (по 20 измерениям) прочность при сжатии контрольной партии всех используемых зёрен алмазов.

Результаты экспериментов и их обсуждение

В табл. 1 представлены результаты сравнительных испытаний 12 образцов с вставками из АВКМ и из импрегнированных алмазоносных матриц, оснащённых природными и синтетическими алмазами с различной насыщенностью на рабочей поверхности. Кроме того, в таблице приведены данные измерений прочности при сжатии всех зёрен алмазов как природных, так и синтетических. Максимальную прочность при сжатии имели синтетические алмазы марки АС500 500/400 — 700 Н. Более мелкие алмазы марки АС500 400/315 оказались менее прочными — 421 Н. Природные алмазные зёрна имели промежуточное значение.

Испытания при сверлении гранитных пластин показали, что с повышением насыщенности вставок из АВКМ (увеличением количества заполненных алмазами канавок в пластине из твёрдого сплава) возрастает скорость сверления и уменьшается их износ. Особенно это заметно при испытаниях образцов с вставками из АВКМ, оснащённых относительно мелкогабаритными зёрнами синтетических алмазов — 400/315. Скорость сверления возросла в 3,5 раза и резко уменьшился износ. Важно отметить, что такие образцы показали самую высокую скорость сверления (подачу), которая составила 13,3 мм/мин. Как уже отмечалось, прочность при сжатии таких алмазов ниже, чем у алмазов более крупных. Но за счёт большего количества зёрен, участвующих в процессе резания гранита (в одном карате содержится почти в 2 раза больше зёрен размером 400/315, чем у крупных размером 500/400 [8] — табл. 1), производительность образцов, оснащённых такими вставками из АВКМ, гораздо выше.

Т а б л и ц а 1. Результаты испытаний образцов, оснащенных различными алмазами, расположенными в шихте ВК6, и АВКМ при сверлении гранитных пластин X-й категории буримости (проходка — 92 мм)

Table 1. Results of tests of standards, equipped by the different diamonds located in the charge of ВК6, and АВКМ at boring of granit plastins of X of category of rillability (driving is a 92 mm)

Состав образца (с алмазами, металлизированными хромом)	Прочность при сжатии зёрен алмазов, Н	Скорость сверления (подача), 10^{-2} м/ч	Расход алмазного слоя, г	Удельная проходка, м/г	Количество зёрен в одном карате, шт.
АВКМ с А8	470	3,1(18,6)	0,080	1,150	120
1000/800, 1 ряд		4,2(25,2)			
1000/800, 2 ряда		2,3(13,8)			
1000/800, 3 ряда	470	3,1(18,6)	0,024	3,833	120
АВКМ с АС500	700	4,5(27)	0,013	7,077	120
500/400, 1 ряд		6,5(39)			
500/400, 2 ряда		700			
500/400, 3 ряда	700	4,5(27)	0,022	4,182	832
АВКМ с АС500	421	10,222	0,009	10,222	832
400/315, 1 ряд		3,8(22,8)			
400/315, 2 ряда		6,2(37,2)			
400/315, 3 ряда	421	13,3(80)	0,034	2,706	1600
ВК6 с А8	470	10(60)	0,182	0,505	120
1000/800		9,7(58,2)			
ВК6 с АС500		700			
500/400	421	11,1(66,6)	0,07	1,314	1600
ВК6 с АС500	421	11,1(66,6)	0,07	1,314	1600
400/315		11,1(66,6)			

Интересно отметить, что скорость сверления образцов, оснащённых природными алмазами, практически не зависела от числа заполненных канавок в АВКМ и находилась на относительно низком уровне — примерно 2—4 мм/мин. Этот факт можно объяснить тем, что в канавках АВКМ размещали овализованные зёрна алмазов, представляющие собой шарики либо эллипсоиды размером 1,0—0,8 мм, режущие свойства которых значительно уступали таковым октаэдров с острыми рёбрами синтетических алмазов. Большое количество зёрен на рабочей поверхности не влияло на скорость сверления, по-видимому, из-за того, что с увеличением количества зёрен при постоянном усилии резания (420 Н) давление на одно зерно снижалось. При гладкой поверхности природных алмазов это весьма существенно. В случае синтетических

алмазов, когда имели место точечные контакты зёрен с поверхностью гранита, повышение их концентрации практически не снижало давления. Поэтому скорость сверления была пропорциональна количеству алмазных зёрен, участвующих в работе (числу заполненных канавок в АВКМ).

При испытаниях образцов с вставками, представляющими собой импрегнированную матрицу (шихту ВК6, пропитанную медью и насыщенную алмазами трёх зернистостей в количестве 31,25% (об.)), скорость бурения изменялась незначительно — от 10 до 11 мм/мин.

В процессе сверления при большем по сравнению с АВКМ износе образцов с импрегнированной матрицей овализованные зёрна природных алмазов скалывались из-за большего своего выступания из связки и становились заострёнными, как и синтетические. Поэтому скорость сверления всех испытанных образцов с импрегнированной связкой примерно одинакова, но достаточно высока благодаря интенсивному обновлению зёрен алмазов в процессе работы.

В табл. 2 приведены значения относительной скорости сверления гранитных пластин всеми испытанными образцами. За единицу были приняты скорости сверления (подача) импрегнированных образцов для каждого отдельного вида алмазных зёрен. Данные табл. 2 подтверждают изложенное. Лишь образцы, оснащённые АВКМ со всеми заполненными канавками относительно мелкими синтетическими алмазами, имели более высокую скорость сверления.

Важно отметить, что образцы, оснащённые АВКМ, значительно эффективнее аналогов с импрегнированной матрицей по такому важному показателю, как удельная проходка (табл. 1). Удельная проходка представляет собой производительность алмазного бурового инструмента. Она равна отношению проходки (в нашем случае — 92 мм) к убыли массы

Т а б л и ц а 2. Относительная скорость сверления (подача) гранитных пластин испытанными образцами

Table 2. Relative speed of boring (serve) of granit plastins by examinee standards

Марка алмаза	Шихта ВК6 с алмазами*	АВКМ с заполненными алмазами рядами		
		1 ряд	2 ряда	3 ряда
A8 1000/800	1	0,31	0,42	0,23
AC500 500/400	1	0,32	0,46	0,67
AC500 400/315	1	0,34	0,56	1,2

*Скорость сверления образцов, оснащённых шихтой ВК6 (с импрегнированной алмазоносной матрицей), принята за единицу.

Т а б л и ц а 3. Относительная удельная проходка при сверлении гранитных пластин испытанными образцами

Table 3. Relative specific driving at boring of granit plastins by examinee standards

Марка алмаза	Шихта ВК6 с алмазами*	АВКМ с заполненными алмазами рядами		
		1 ряд	2 ряда	3 ряда
A8 1000/800	1	2,28	7,6	14,0
АС500 500/400	1	1,6	3,6	8,9
АС500 400/315	1	0,6	1,3	2,1

*Удельная проходка образцов, оснащённых шихтой ВК6 (импрегнированной алмазоносной матрицей) с алмазами, принята за единицу.

алмазоносного слоя, которую определяли взвешиванием образцов до и после испытаний.

Испытанные образцы продемонстрировали хорошую эффективность при эксплуатации. Из табл. 3 следует, что удельная проходка образцов, оснащённых вставками из АВКМ с заполненными тремя рядами канавок, во много раз выше удельной проходки инструментов с импрегнированной матрицей. Так, удельная проходка образцов, оснащённых вставками из АВКМ с природными алмазами, превышала аналогичный показатель импрегнированных аналогов с теми же алмазами в 14 раз. Полученные результаты объясняются значительно более прочным закреплением зерен алмазов в канавках твердосплавных пластин — основы АВКМ. Благодаря этому расход алмазоносного слоя и самих алмазов существенно снижался и, как результат, значительно возрастала удельная проходка инструмента.

Выводы

Исследованы эксплуатационные свойства вставок из АВКМ и вставок из импрегнированной алмазоносной матрицы, закреплённых в стальных образцах, при сверлении гранитных пластин в лабораторных условиях.

Определена зависимость работоспособности вставок из АВКМ и вставок из импрегнированной алмазоносной матрицы от марок алмазов, их размера и концентрации. На специальном стенде проведены их лабораторные испытания при сверлении гранитных пластин X-й категории буримости.

Всего изготовлено и испытано 12 образцов, среди которых 9 оснащены вставками из АВКМ с различными конструктивными параметрами и 3 — вставками из импрегнированной алмазоносной матрицы. Использовали алмазы трёх групп различных марок и зернистостей: природные — А8 1000/800, синтетические — АС500 500/400 и АС 500 400/315.

Испытания показали, что образцы, оснащённые АВКМ со всеми заполненными канавками относительно мелкими синтетическими алмазами (фракции 400/315), имели самую высокую скорость сверления — 13,3 мм/мин. Достаточно высокий уровень продемонстрировали импрегнированные (шихта ВК6, пропитанная медью) образцы, которые имели среднюю скоростью сверления — 10,3 мм/мин. В то же время наиболее экономичные образцы при сверлении гранитных пластин были оснащены вставками из АВКМ с крупными зёрнами алмазов: природными — А8 1000/800 и синтетическими — АС500 500/400. Максимальная удельная проходка таких образцов достигала 7,1 и 10,2 м/г соответственно. Этот факт объясняется прочным закреплением алмазных зёрен в матрице инструмента. Такие вставки можно рекомендовать для оснащения эффективных алмазных буровых коронок.

Предложенная и освоенная методика испытаний образцов, оснащённых вставками из АВКМ и вставками из импрегнированной алмазоносной матрицы, закреплённых в стальных державках, при сверлении гранитных пластин в лабораторных условиях в некоторой степени моделирует промышленные испытания серийных и опытных коронок. Эту методику можно рекомендовать для дальнейших исследований эксплуатационных характеристик вставок из АВКМ с целью совершенствования алмазных буровых коронок.

РЕЗЮМЕ. Досліджено експлуатаційні властивості вставок із АВКМ і вставок з імпрегнуваною алмазоносною матрицею, закріплених в сталевих зразках, при свердлінні гранітних пластин в лабораторних умовах. Визначено залежність працездатності вставок із АВКМ і вставок з імпрегнуваною алмазоносною матрицею від марок алмазів, їх розміру і концентрації. Найбільш економічні зразки при свердлінні гранітних пластин були оснащені вставками із АВКМ з великими зернами алмазів: природними — А8 1000/800 і синтетичними — АС500 500/400 з усіма заповненими канавками. Зразки, оснащені вставками із АВКМ з усіма заповненими канавками відносно дрібними синтетичними алмазами (фракції 400/315), мали найвищу швидкість свердління — 13,3 мм/хв. Такі вставки можна рекомендувати для оснащення ефективних алмазних бурових коронок. Запропонована і освоєна методика випробувань зразків, оснащених вставками із АВКМ і вставками з імпрегнуваною алмазоносною матрицею, закріплених в сталевих державках, при свердлінні гранітних пластин в лабораторних умовах в деякій мірі моделює промислові випробування серійних і дослідних коронок. Цю методику можна рекомендувати для подальших досліджень експлуатаційних характеристик вставок із АВКМ з метою вдосконалення алмазних бурових коронок.

Ключові слова: вставки із АВКМ, алмазні зерна, випробування при свердлінні граніту.

1. Бугаёв А. А. Синтетические алмазы в геологоразведочном бурении / [А. А. Бугаёв, В. Н. Лившиц, В. В. Иванов и др.]. — К. : Наук. думка, 1978. — 232 с.

2. Корнилов Н. И. Применение синтетических сверхтвёрдых материалов в геологоразведочном бурении // Разведка и охрана недр. — 1988. — № 2. — С. 24—30.
3. Синтетические сверхтвёрдые материалы: в 3-х т. Т. 2. Композиционные инструментальные сверхтвёрдые материалы / Под ред. Н. В. Новикова. — К. : Наук. думка, 1986. — 264 с.
4. Clark I. E. Алмазное бурение с помощью синдакса / I. E. Clark, G. R. Saftoll // I. D. R. — 1987. — 47, No. 521. — P. 169—173.
5. Уманский В. П. Вакуумный метод изготовления буровых коронок / [В. П. Уманский, А. А. Бугаёв, В. А. Евдокимов и др.] // Адгезия расплавов и пайка материалов. — 2004. — Вып. 37. — С. 95—102.
6. Корнилов Н. И. Породоразрушающий инструмент для геологоразведочных скважин: (Справ.) / [Н. И. Корнилов, В. С. Травкин, Л. К. Берестень и др.]. — М. : Недра, 1979. — 359 с.
7. Пат. № 85947 України. Спосіб виготовлення алмазно-твердосплавного макрокомпозитного матеріалу / [Ю. В. Найдіч, О. О. Бугайов, В. О. Євдокімов та ін.]. — Опубл. 10.03.2009. Бюл. № 5.
8. Бугаёв А. А. Промышленное применение алмазных коронок новых модификаций в сложных геолого-технических условиях разведочного бурения / [А. А. Бугаев, В. А. Евдокимов, Т. Б. Коноваленко и др.] // Разведка и охрана недр. — 2009. — № 1. — С. 45—50.

Поступила 01.11.16

Nadich Yu. V., Umansky V. P., Bugajov A. A.

Research of operating characteristics of ABKM insertions at boring of granit plastins in laboratory conditions

Results over of tests are brought in the laboratory terms of the insertions of ABKM, envisaged in specially worked out and constructed steel insertions. The insertions of ABKM contained the diamonds of different brands and size. It is shown that with the increase of concentration of natural and synthetic diamonds in ABKM operating descriptions of instrument get better: boring speed increases and his wear diminishes. Offered and mastered methodology of tests such insertions designs their industrial tests in boring crownsat the geological survey boring drilling of КП (public enterprise).

Keywords: *the insertions of ABKM, diamond grains, tests at boring of granite.*