

Рис. 4. Микроструктура гранулятов 28 (а) и 29 (б)

для фидстоков «Catamold 42CrMo4» технологии МИМ. После спекания образцы имели металлический блестящий внешний вид, не потрескались, вздутий и других визуальных дефектов не наблюдалось. Исследование этих образцов продолжается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны составы и технологические режимы изготовления в лабораторных условиях гранулятов для МИМ-технологии из отечественного сырья: порошка карбонильного железа и связующего на основе полиформальдегида с добавками парафина, стеариновой кислоты и полиэтиленов низкого и высокого давления.

УДК 621.762.5 : 679.826

ЗАВИСИМОСТЬ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЛМАЗНЫХ СЕГМЕНТОВ ОТ ИХ СОСТАВА

© 2013 г. **Р.Х. Атабиев, Н.И. Полушин, А.И. Лаптев, М.Н. Сорокин, А.Б. Тлеужев, А.С. Кушхабиев**

Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», г. Москва
ОАО «Терекалмаз», г. Терек, Кабардино-Балкарская респ.

Р.Х. Атабиев – аспирант кафедры функциональных наносистем и высокотемпературных материалов НИТУ «МИСиС» (119049, г. Москва, В-49, Ленинский пр-т, 4). E-mail: mail@terekalmaz.ru.

Н.И. Полушин – канд. техн. наук, доцент этой кафедры, зав. науч.-исслед. лабораторией сверхтвердых материалов (НИЛ СТМ) НИТУ «МИСиС». Тел.: (495) 638-46-95. E-mail: polushin@misis.ru.

А.И. Лаптев – докт. техн. наук, вед. науч. сотр. НИЛ СТМ. Тел.: (495) 638-44-64, 638-44-67. E-mail: laptev@misis.ru.

М.Н. Сорокин – ст. науч. сотр. НИЛ СТМ. Тел.: (495) 638-44-64. E-mail: sorokin@misis.ru.

А.Б. Тлеужев – ген. директор ОАО «Терекалмаз» (361200, Кабардино-Балкарская респ., г. Терек, ул. Татуева, 1). Тел.: (86632) 44-249. E-mail: mail@terekalmaz.ru.

А.С. Кушхабиев – зам. ген. директора ОАО «Терекалмаз». E-mail: a.kushkhabiev@terekalmaz.ru.

ЛИТЕРАТУРА

1. German R. M., Bose A. Injection molding of metals and ceramics. Princeton (New Jersey, USA): MPIP, 1997.
2. Пархоменко А. В., Амосов А. П., Самборук А. Р. и др. // Металлургия машиностроения. 2012. № 3. С. 38.
3. Пархоменко А. В., Амосов А. П., Самборук А. Р. // Научно-технические технологии в машиностроении. 2012. № 12. С. 8.
4. Пархоменко А. В., Амосов А. П., Самборук А. Р., Ермошкин А. А. // Высокие технологии в машиностроении: Матер. Всерос. науч.-техн. интернет-конф. с междунар. участием (Самара, 11–17 нояб. 2010 г.). Самара: СамГТУ, 2010. С. 202.
5. Пархоменко А. В., Амосов А. П., Самборук А. Р. и др. // Высокие технологии в машиностроении: Матер. Всерос. науч.-техн. интернет-конф. с междунар. участием (Самара, 25–28 окт. 2011 г.). Самара: СамГТУ, 2011. С. 165.
6. Pat. 0465940 (EP). Thermoplastic masses for preparing metallic moldings. 1992.

Работа посвящена изучению механических свойств матриц бурового алмазного инструмента. Методом инфильтрации при температуре 1100–1150 °C в течение 15 мин в атмосфере водорода были изготовлены модельные алмазосодержащие и безалмазные образцы матриц размером 24×7×8 мм двух типов, различающихся содержанием никеля и релита (плавленного карбида вольфрама), а именно WC–Co–Cu (1) и WC–Co–Cu–Ni + релит (2). В качестве алмазного наполнителя использовали алмазы А8К160 (500/400 мкм), АС50 (500/400 мкм) и SDB1125 (30/40 меш., т. е. 600/425 мкм) – их концентрация в матрице составляла 9 об.%. Были определены прочность на изгиб, твердость, плотность, пористость и абразивная стойкость образцов матриц бурового инструмента. Установлено, что образцы матриц WC–Co–Cu–Ni имеют большую твердость и абразивную стойкость по сравнению с WC–Co–Cu, что объясняется наличием в них никеля и твердых частиц релита. Введение алмазов в матрицы приводит к существенному увеличению их твердости (на 8–10 ед. HRC), что искажает данные по измерению твердости матриц алмазного слоя буровых коронок.

Ключевые слова: алмазный буровой инструмент, матрица, абразивная стойкость, прочность, твердость, плотность.

The work is devoted to studying the mechanical characteristics of diamond-drilling-tool matrix. The infiltration method at temperature of 1100–1150 °C for 15 min in hydrogen medium was used for production of model diamond-containing and diamond-free samples of 24×7×8 mm matrices of two types, which differ in the contents of nickel and cast tungsten carbide, namely WC–Co–Cu (1) and WC–Co–Cu–Ni + cast tungsten carbide (2). Diamonds А8К160 (500/400 μm), АС50 (500/400 μm) and SDB1125 (30/40 mesh, i. e. 600/425 μm) were used as filling materials - their density in matrix was 9 vol.%. Bending strength, hardness, density, porosity, and abrasive resistance of drilling tool matrix samples have been measured. It is found that WC–Co–Cu–Ni matrix samples have higher hardness and abrasive resistance as compared with WC–Co–Cu, these characteristics are explained by existence of nickel and cast tungsten carbide solids in them. Introduction of diamonds in the matrices results in significant increase in their hardness (by 8–10 HRC units), distorting the hardness measured data of matrices in diamond layer of crown bits.

Key words: diamond drilling tool, matrix, abrasive resistance, strength, hardness, density.

Алмазное бурение является наиболее производительным и самым перспективным способом бурения геологоразведочных скважин в твердых горных породах. Его эффективность в значительной степени зависит от работоспособности применяемого инструмента, на которую, наряду со многими техническими и технологическими факторами, существенно влияют физико-механические свойства матриц бурового инструмента [1, 2]. В соответствии с техническими регламентами при производстве алмазного инструмента после его изготовления проводится оценка твердости и плотности алмазосодержащего слоя. Большое влияние на эти свойства оказывают как химический состав матрицы, так и марка, количество и размер алмазных частиц, находящихся в матрице алмазного инструмента.

Цель настоящей работы – комплексное определение механических свойств металлических матриц буровых коронок и изучение влияния введения алмазов в матрицу на механические свойства алмазного слоя бурового инструмента.

В качестве модельных образцов были изготовлены сегменты размером 24×7×8 мм из безалмазных и алмазосодержащих матриц двух типов, различающихся содержанием никеля и релита (плавленного карбида вольфрама и дробленого до фракции 250/100 мкм). В качестве матриц буровых инструментов применяли сплавы WC–Co–Cu (1) и WC–Co–Cu–Ni + релит (2). Сегменты получали по следующей технологии: из порошка твердого сплава ВК6 (1) или твердого сплава ВК6, смешанного с релитом (2), при давлении 80 МПа формовали образцы, которые затем при температуре 1100–1150 °C в

течение 15 мин в атмосфере водорода спекали методом инфильтрации расплавом меди (1) или расплавом медь–никель (2) по технологии [3, 4]. В работе были использованы натуральные и синтетические алмазы А8К160 (500/400 мкм), АС50 (500/400 мкм) и SDB1125 (30/40 меш, или 600/425 мкм), концентрация алмазов в матрице составляла 9 об.%.

После изготовления сегментов их шлифовали, определяли твердость, плотность, прочность на изгиб, абразивную стойкость безалмазных матриц, проводили металлографические, фрактографические исследования, изучение фазового состава. На рис. 1 и 2 приведены микроструктуры шлифов безалмазных матриц 1 и 2 соответственно.

На рис. 1 светлые участки соответствуют карбиду вольфрама WC, а темные – меди. Распределение структурных составляющих (их размеры колеблются от 1 до 3 мкм) равномерно по всей площади снимка.

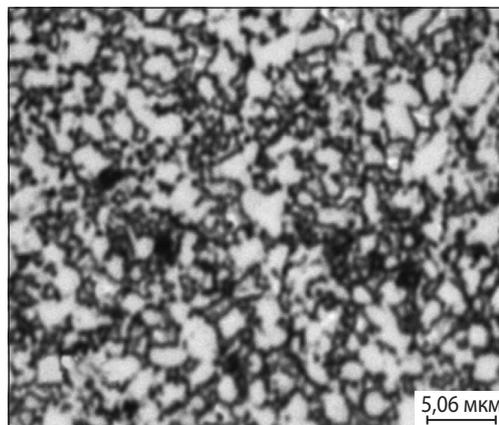


Рис. 1. Микроструктура матрицы WC–Co–Cu (×2500)

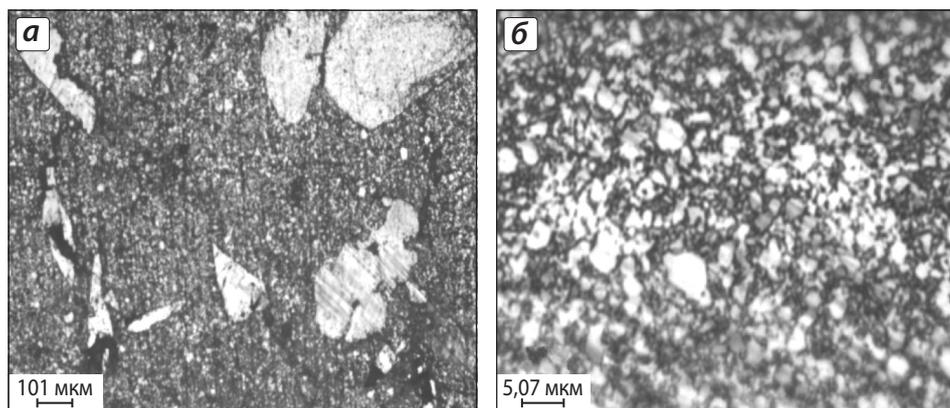


Рис. 2. Микроструктура матрицы WC-Co-Cu-Ni + релит
Увеличение – 100[×] (а) и 2500[×] (б)

На рис. 2, а видны крупные светлые образования – это зерна релита размером от 100 до 300 мкм. На рис. 2, б светлые участки соответствуют карбиду вольфрама, темные – медно-никелевому сплаву.

Фазовый состав, определенный методом количественного рентгенофазового анализа шлифов матриц на дифрактометре ДРОН-3М, включает, %:

– для образцов матрицы 1: твердый раствор на основе Cu – 38, Co (β) – 3, WC – 59;

– для образцов матрицы 2: твердый раствор на основе Cu – 36, WC – 56, W₂C – 8.

Изучение сколов алмазосодержащих и безалмазных образцов матриц проводили на сканирующем микроскопе марки JSM 6610, распределение элементов по поверхности шлифа исследовали методом рентгеновского микроанализа на микроанализаторе «X-Max Oxford Instruments» на платформе INKA. На рис. 3, 4 представлены фотографии сколов образцов матриц, из которых следует, что разрушение происходит по телу матрицы, при

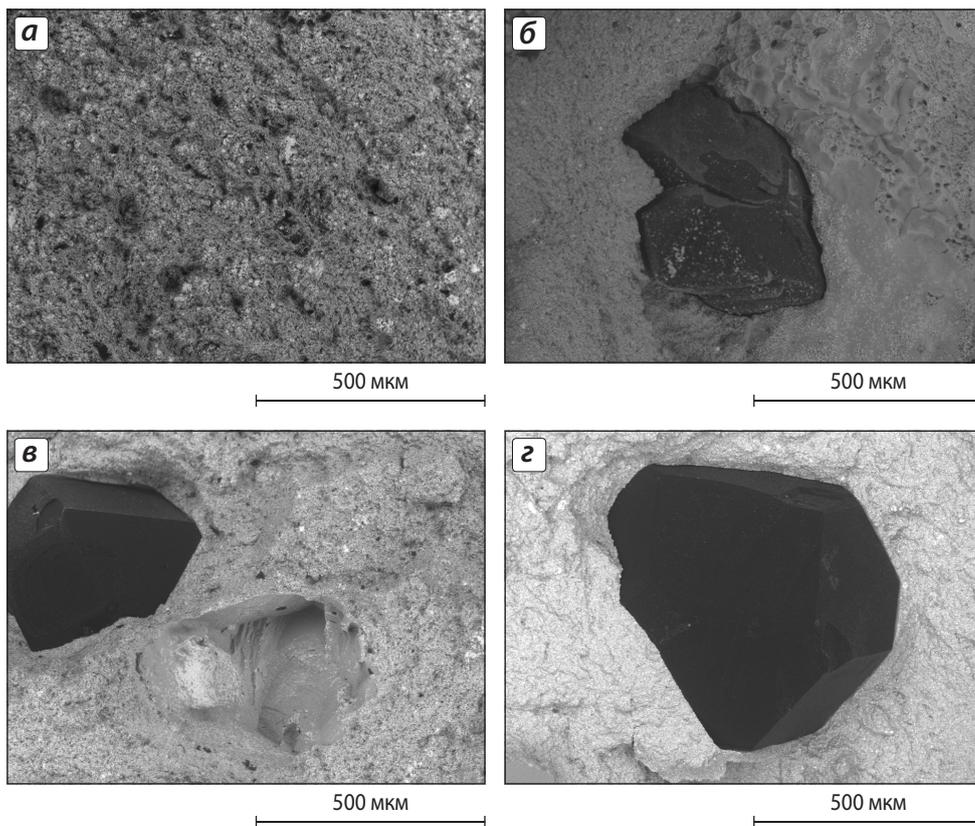


Рис. 3. Фотографии сколов образцов матриц WC-Co-Cu

а – безалмазных; б–г – с алмазами А8К160 500/400 (б), АС50 500/400 (в) и SDB 1125 30/40 меш. (г)

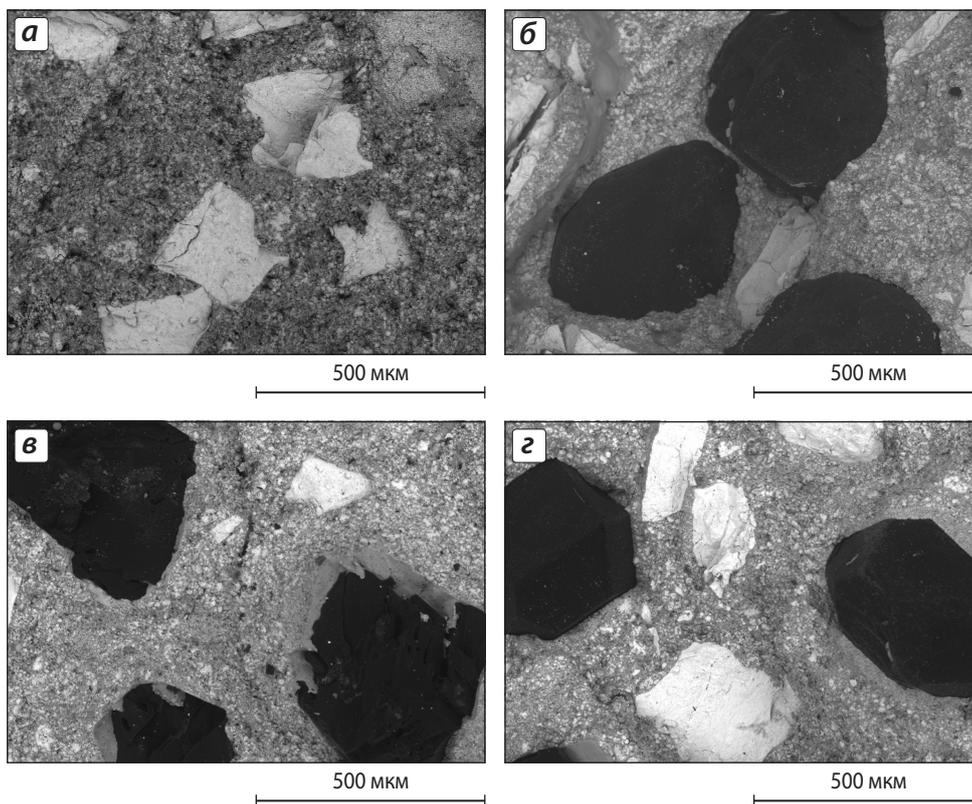


Рис. 4. Фотографии сколов образцов матриц WC-Co-Cu-Ni + релит
а – безалмазных; **б-г** – с алмазами A8K160 500/400 (**б**), AC50 500/400 (**в**) и SDB 1125 30/40 меш. (**г**)

этом алмазные зерна не разрушаются. Наблюдается увеличенный зазор между алмазными кристаллами и матрицей, что свидетельствует об их плохой адгезии. Для обоих типов матриц характерно механическое удержание алмазов.

На рис. 5 приведены данные о распределении меди по глубине образцов для безалмазных матриц 1 и 2. Видно, что количество пропитывающего материала от глубины инфильтрации зависит незначительно, что говорит о равномерности процесса инфильтрации.

Плотность образцов связок определяли газовым (на гелиевом пикнометре «Ассурус 1340») и гидростатическим методами. В последнем случае измерение плотности проводили в воде, смазывая перед этим образцы тонким слоем вазелина. По результатам измерений рассчитывали открытую пористость образцов матриц. Полученные данные приведены в табл. 1. Следует отметить, что открытая пористость образцов матриц, как безалмазных, так и алмазосодержащих, составила менее 1 %, что вполне удовлетворительно для данного метода их получения.

Для оценки механических свойств полученных образцов определяли их твердость по Рок-

веллу (табл. 2), микротвердость (табл. 3) и предел прочности ($\sigma_{пр}$) при поперечном изгибе (табл. 4).

Из данных, представленных в табл. 2, следует, что большей твердостью обладают образцы матрицы 2, что объясняется содержанием в ней Ni и релита. При введении в матрицы алмазов их твердость повышается на 8–10 ед. HRC и не зависит от марок используемых алмазов. Увеличение твердости объясняется наличием в металлокерамической матрице твердых и прочных армирующих алмазных частиц.

Микротвердость шлифов безалмазных матриц и исходных материалов определяли на при-

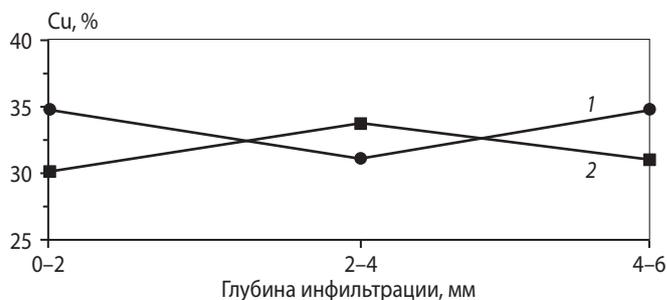


Рис. 5. Зависимость содержания меди в матрице от глубины инфильтрации
1 – в матрице WC-Co-Cu, **2** – в матрице WC-Co-Cu-Ni + релит

Таблица 1. Результаты измерения плотности и расчета пористости образцов матриц

Тип матрицы	Марка алмазов	Плотность, г/см ³		Пористость, %
		Газовый метод	Гидростатический метод	
WC-Co-Cu	Отсут.	11,891	11,883	0,07
	A8K160 500/400	11,239	11,176	0,56
	SDB1125 30/40	11,051	11,048	0,03
	AC50 500/400	10,928	10,909	0,17
WC-Co-Cu-Ni + релит	Отсут.	12,433	12,408	0,20
	A8K160 500/400	11,763	11,737	0,23
	SDB1125 30/40	11,542	11,517	0,22
	AC50 500/400	11,899	11,853	0,39

Таблица 2. Твердость образцов разных матриц

Тип матрицы	Марка алмазов	Твердость, HRC
WC-Co-Cu	Отсут.	30
	A8K160 500/400	38
	AC50 500/400	40
	SDB1125 30/40	39
WC-Co-Cu-Ni + релит	Отсут.	34
	A8K160 500/400	42
	AC50 500/400	43
	SDB1125 30/40	42

Таблица 4. Результаты расчета предела прочности при поперечном изгибе сегментов

Тип матрицы	Марка алмазов	$\sigma_{пр}$, МПа
WC-Co-Cu	Отсут.	1090
	A8K160 500/400	760
	AC50 500/400	860
	SDB1125 30/40	890
WC-Co-Cu-Ni + релит	Отсут.	930
	A8K160 500/400	840
	AC50 500/400	820
	SDB1125 30/40	920

боре ПМТ-3 при нагрузке 2Н. Из приведенных в табл. 3 результатов следует, что бóльшую микротвердость имеют шлифы матрицы на основе WC-Co-Cu-Ni + релит. Это связано с тем, что медно-никелевый сплав превосходит по микротвердости чистую медь, а также с присутствием частиц релита с высокой микротвердостью.

Испытания при поперечном изгибе проводили на алмазных и безалмазных сегментах. Диаграммы разрушения образцов показаны на рис. 6. Установлен хрупкий характер разрушения образцов обеих матриц.

Из представленных в табл. 4 результатов видно, что предел прочности у безалмазных сегментов со-

става WC-Co-Cu-Ni + релит ниже, чем у подобных сегментов состава WC-Co-Cu, что, по-видимому, связано с наличием крупных частиц релита, которые являются концентраторами напряжений. Введение в матрицу алмазов приводит к уменьшению прочности образцов обеих матриц, причем более значительному – в случае матрицы 1 (WC-Co-Cu).

Таблица 3. Микротвердость безалмазных матриц

Тип матрицы	Структурная составляющая	Микротвердость, ГПа
WC-Co-Cu	WC-Co-Cu	3,4
WC-Co-Cu-Ni + релит	WC-Co-Cu-Ni	4,4
	Релит	25,0
Cu	Cu	0,89
Cu-10Ni	Cu-10Ni	1,66

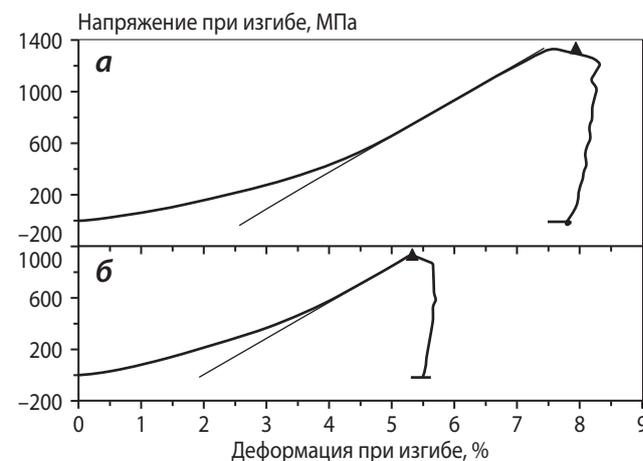


Рис. 6. Диаграммы разрушения образцов при поперечном изгибе

а – связка 1; **б** – связка 2

Таблица 5. Результаты измерения абразивной стойкости

Тип матрицы	Масса блока с образцами, г		Убыль массы, г	Средняя убыль массы, г
	до испытания	после испытания		
WC-Co-Cu	65,361	65,063	0,298	0,295
	65,063	64,771	0,292	
WC-Co-Cu-Ni + релит	65,756	65,499	0,258	0,253
	65,499	65,250	0,249	

Оценка абразивной стойкости (A) заключалась в определении убыли массы безалмазных образцов после шлифования при установленном режиме испытания. Использовали установку УАС-2М [5, 6] со следующими характеристиками: частота вращения планшайбы 100 ± 8 об/мин; число двойных ходов блока с образцами по планшайбе 59 ± 5 за 1 мин; длина хода 50 ± 2 мм; суммарная масса груза, прижимающего образцы к планшайбе, $2 \pm 0,05$ кг. Одновременно испытывали по три образца каждой матрицы, размеры образцов составляли $10 \times 7 \times 6$ мм, нагрузка – $0,3$ Н/мм². В качестве абразивного порошка применяли алмазный микропорошок АСМ 10/7. В табл. 5 приведены результаты измерения абразивной стойкости матриц.

Убыль массы у образцов матриц на основе WC-Co-Cu-Ni + релит оказалась меньше, чем на основе WC-Co-Cu, а следовательно, они обладают большей абразивной стойкостью. Это объясняется наличием в них частиц релита. Данная связка также обладает большей твердостью. Данные по механическим испытаниям образцов матриц сведены в табл. 6.

По комплексу механических свойств алмазные коронки на основе матриц WC-Co-Cu могут быть рекомендованы для бурения более прочных и менее абразивных горных пород, а на основе матриц WC-Co-Cu-Ni + релит – для бурения горных пород высокой абразивности.

Таблица 6. Результаты механических испытаний и определения абразивной стойкости образцов связок алмазного бурового инструмента

Тип матрицы	Твердость, HRC	$\sigma_{пр}$, МПа	A , мг
WC-Co-Cu	30	1090	295
WC-Co-Cu-Ni + релит	34	930	253

ВЫВОДЫ

1. Определены механические свойства матриц, применяемых для изготовления бурового инструмента. Установлено, что образцы матриц WC-Co-Cu-Ni имеют большую твердость и абразивную стойкость, чем матриц WC-Co-Cu, что объясняется наличием в них никеля и твердых частиц релита.

2. Введение алмазов в матрицы приводит к существенному увеличению их твердости (на 8–10 ед. HRC), что искажает данные по измерению твердости матриц алмазного слоя буровых коронок.

Работа была выполнена по госконтракту № 14.513.11.0045 «Разработка нового поколения однокристалльного и металлорежущего инструмента из сверхтвердых материалов из наномодифицированной металлической связкой» в рамках ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы».

ЛИТЕРАТУРА

- Будюков Ю. Е., Власюк В. И., Спиринов В. И. Алмазный инструмент для бурения направленных и многоствольных скважин. Тула: ЗАО «Гриф и К», 2007.
- Полушин Н. И., Лаптев А. И., Барагунов Э. М. // Цв. металлы. 2013. № 2. С. 72.
- Основы проектирования и технология изготовления абразивного и алмазного инструмента / Под ред. В. Н. Бакуля. М.: Машиностроение, 1975.
- Полушин Н. И., Лаптев А. И., Барагунов Э. М. // Цв. металлы. 2013. № 1. С. 60.
- ГОСТ 9206-80. Порошки алмазные (технические условия). М.: Изд-во стандартов, 1989.
- Бугаков В. И., Лаптев А. И., Полушин Н. И. и др. // Материаловедение. 2004. № 2. С. 24.