

А.А. Третьяк

ТЕХНОЛОГИЯ УПРОЧНЕНИЯ БУРОВЫХ КОРОНОК

Статья посвящена актуальной проблеме-повышению эффективности работы буровых коронок, армированных алмазно-твердосплавными пластинами (АТП). В лабораторных условиях Южно-Российского государственного политехнического университета были проведены исследования по выявлению влияния магнитного поля на прочность и износостойкость буровых коронок, армированных АТП. Опытная проверка осуществлялась в постоянном магнитном поле, предварительно коронки погружались в среду жидкого азота. Повышение прочности коронок достигается за счет обработки во вращающемся магнитном поле с напряженностью постоянного магнитного поля – 4000 эрстед. При этом коронки предварительно в течении 15 минут обрабатываются в сосуде Дьюара при температуре -196 °С. Теоретические и экспериментальные исследования способов магнитной обработки породоразрушающего инструмента позволили разработать устройство для упрочнения буровых коронок во вращающемся постоянном магнитном поле. Применяя криогенно-магнитный способ упрочнения удалось добиться уменьшения потери АТП, повысить твердость корпуса коронки, паяного слоя и твердосплавной подложки ВК-20, добиться увеличения механической скорости бурения и наработки на коронку. Ключевые слова: алмазно-твердосплавные коронки, виды вибраций, зафиксированные изменения, испытание коронок, твердость, вращающиеся магнитное поле, сосуд Дьюара.

Эффективность бурения скважины в различных геологических условиях в значительной степени зависит от эксплуатационных показателей породоразрушающего инструмента (ПРИ), к которым относятся проходка на коронку, механическая скорость бурения и расход твердых сплавов. Наиболее перспективным направлением увеличения износостойкости является упрочнение ПРИ. Анализ классификации способов упрочнения металлов и сплавов, разработанной по признаку «глубина упрочнения», показал, что практический интерес для упрочнения ПРИ, работающего в условиях абразивного износа, представляют способы объемного упрочнения. Наиболее перспективными из них представляются криогенная обработка и в дальнейшем воздействие магнитным полем, поскольку они позволяют производить упрочнение материалов на значитель-

ную глубину, являются доступными, достаточно простыми, не требуют сложного оборудования и капитальных затрат. Кроме того, эти способы позволяют упрочнять уже изготовленный инструмент любой конфигурации.

В 1976 г. кандидатом технических наук Е.С. Жмудь предложен метод обработки инструмента мгновенным погружением в охлаждающую среду, позволяющий повысить его стойкость в 3 и более раз [2]. Обработка инструмента ударом холода производилась путем погружения инструмента в среду жидкого азота с температурой минус 196 °С на 10–15 минут.

Установлено, что криогенная обработка инструментальных материалов-быстрорежущих сталей и твердых сплавов ведет к увеличению стойкости режущих элементов из-за повышения механических характеристик таких материалов. Криогенная обработка закаленных быстрорежущих сталей, является дополнительным их отпускком, сопровождается переходом остаточного аустенита в мартенсит с соответствующим измельчением микроструктуры [1].

Благодаря развитию технологий изготовления и упрочнения материалов, на сегодняшний день износостойкость производимого серийно ПРИ можно увеличить в несколько раз, по сравнению с ранее выпускаемым инструментом. Проходка на коронку может достигать, в зависимости от геолого-технических условий, нескольких сотен метров. Однако и этот инструмент имеет огромные резервы для совершенствования его прочностных свойств.

По мнению С.Я. Рябчикова упрочнение коронок происходит за счет термического удара в области низких отрицательных температур, при этом происходят заметные структурные преобразования – снимаются полностью или рассредоточиваются суперпозиционные поля напряжений, создается равномерное объемное напряженное состояние сжатия, повышается концентрация дислокаций, происходит дробление блоков мозаики [1].

Большой интерес для объемного упрочнения ПРИ представляет метод магнитно-импульсной обработки. Сущность такого упрочнения состоит в том, что при магнитно-импульсном воздействии вещество меняет свои физические и механические свойства. Улучшение свойств у ферромагнитных материалов, прошедших магнитно-импульсную обработку, достигается за счет направленной ориентации внешним полем свободных электронов вещества, вследствие чего увеличивается его тепло- и электропроводность. Взаимодействие импульсного маг-

нитного поля с ферромагнитным веществом тем интенсивнее, чем выше его структурная и энергетическая неоднородность [3]. После обработки ПРИ таким способом повышается его общая прочность, уменьшаются остаточные термические напряжения, все это ведет к повышению износостойкости ПРИ.

Нами впервые предложено упрочнять буровые коронки путем обработки их в криогенно-магнитном поле. На использование данной технологии упрочнение буровых коронок получено патент RU №2566523 [3].

В настоящее время общее представление о теории криогенно-магнитного упрочнения отсутствует, а следовательно отсутствует и количественное описание процессов упрочнения буровых коронок, армированных АТП. В литературе изложены некоторые теоретические подходы по описанию происходящих с ПРИ явлений и процессов при воздействии на него отдельно магнитного поля и отдельно воздействия холодом. Интерпретация результатов экспериментов находится на уровне многочисленных гипотез и предположений.

Как показывает выполненные экспериментальные исследования, время «памяти» обработанной в криогенно-магнитном поле коронки и характер релаксационной зависимости имеют плавную, затухающую во времени кривую. Время релаксации определено опытным путем и составляет 26 часов. Опыты производились на аппарате с постоянными магнитами при напряженности 4 тыс. эрстед в течение 15 минут. Зависимость времени релаксации от эффективности магнитной обработки буровых коронок показана на рис. 1.

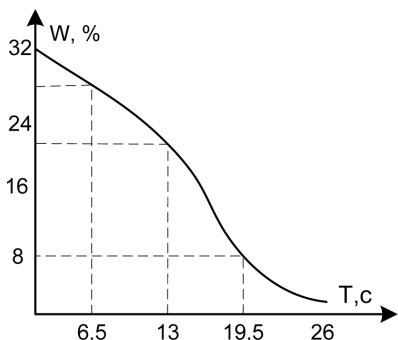


Рис. 1. Зависимость эффективности магнитной обработки буровых коронок, армированных АТП, от времени релаксации при температуре 20 °C

$$W = \frac{B - B_1}{B_1} \cdot 100\%$$

где W – эффективность обработки, %, B и B_1 – соответственно напряженность коронок до и после магнитной обработки.

Анализируя экспоненциальную кривую можно сделать вывод: время «памяти» коронки, обработанной в криогенно-магнитном поле, довольно значительное и измеряется порядком чуть больше

26 часов, аномальные свойства омагниченных буровых коронок не остаются без изменений, они постоянно релаксируют к тем свойствам, которыми коронка обладала до обработки. Это указывает на то, что с течением времени эффективность предварительной обработки в магнитном поле будет все время уменьшаться и через некоторое время исчезнет совсем. Время существования аномальных свойств обработанного комплексным полем коронок (время «памяти» или время релаксации) является чрезвычайно важным, особенно при практическом использовании.

Предварительно многократно намагниченные, а затем размагниченные инструменты обладают повышенной магнитной проницаемостью и по этой причине проявляют повышенную стойкость.

При наложении импульсных магнитных полей ферромагнитная коронка испытывает магнитострикционные напряжения и деформации, в результате которых происходит микропластическая деформация субмикрообъектов коронки, проявляющаяся в изменении структуры. Это явление называется магнитострикционным упрочнением корпуса коронки, паяного слоя и твердосплавной подложки ВК 20.

После магнитной обработки структура коронки была исследована электронно-микроскопическим методом декорирования. В результате магнитной обработки частицы корпуса коронки оказались ориентированными по плоскостям и образовали слои, характеризующие границу между двумя твердыми фазами (корпус коронки — паяный слой).

В процессе перемагничивания материал инструмента испытывает циклически изменяющиеся магнитострикционные напряжения и деформации, в нем возникают индукционные токи. Протекания индукционных токов сопровождается выделением джоулева тепла, работа, затраченная на перемагничивание каждого элементарного объема, сопровождается выделением тепла, количество которого зависит от коэрцитивной силы материала инструмента. На ферромагнитное тело в магнитном поле действуют силы магнитного притяжения. Если тело лишено возможности притягиваться к полюсам, то в его объеме должны возникать напряжения от действия этих сил. При повороте тела направление и знак напряжений, действующих на каждый условно выделенный объем, меняются по отношению к этому объему. При вращении ферромагнетика в поле из-за явления гистерезиса направление намагниченности тела составляет с направлением поля некоторый угол. В результате возникает

скручивающий момент, приводящий к появлению в теле касательных напряжений.

Таким образом, перемагничивание сопровождается достаточно большим числом электромагнитных, тепловых и механических воздействий на ферромагнитный и электропроводный материал.

Перемагничивание закаленных быстрорежущих сталей, как и углеродистых, сопровождается изменениями напряженного состояния и структуры приповерхностного слоя. При этом происходит диффузия к поверхности элементов, как из окружающей среды, так и из более глубоких слоев корпуса коронки и твердосплавной подложки ВК-20. В результате перемагничивания из-за повышенной устойчивости структуры этих высоколегированных сталей аустенит не распадается полностью, но количество его уменьшается. Распад аустенита сопровождается изменениями параметров кристаллической решетки мартенсита и карбидов. Массовое содержание углерода в решетке мартенсита уменьшается. Зафиксированные изменения могут приводить к появлению напряжений сжатия, образованию предкарбидных фаз и росту карбидов с увеличением их твердости.

В лабораторных условиях Южно-Российского государственного политехнического университета были проведены исследования по выявлению влияния магнитного поля на прочность и износостойкость буровых коронок, армированных АТП. Опытная проверка осуществлялась в постоянном магнитном поле с напряженностью 4000 эрстед, предварительно коронки погружались в среду жидкого азота. Изменение твердости тела коронки в зависимости от времени после омагничивания показано на

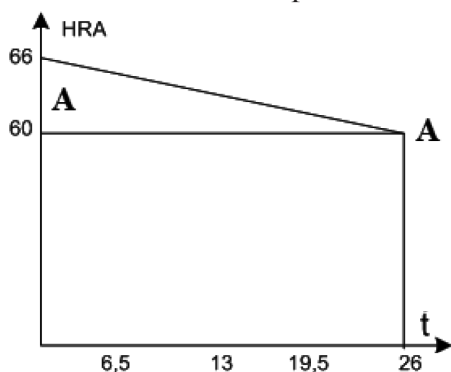


Рис. 2. Изменение твердости коронки в течение времени после омагничивания

рис. 2. Линия AA показывает твердость корпуса коронки до криогенно-магнитного воздействия.

Выполненные исследования показывают, что время начала использования обработанного в криогенно-магнитном поле инструмента должно быть не меньше 26 ч после обработки. Экспериментальные исследования по перемагничиванию осуществляли следующим об-

разом. Коронку помещали в постоянное магнитное поле напряженностью 4000 эстед на 10 мин, после чего измеряли твердость тела коронки. После этого коронку размагничивали и снова в течение 10 мин помещали в постоянное магнитное поле. Твердость измеряли после 12 циклов «намагничивание-размагничивание». Твердость коронки по Роквеллу определялась на стандартном приборе.

Теоретические и экспериментальные исследования способов магнитной обработки породоразрушающего инструмента позволило разработать устройство для упрочнения буровых коронок во вращающемся постоянном магнитном поле (рис. 3). Применение этого устройства позволяет многократно перемагничивать буровые коронки в постоянном магнитном поле, напряженностью 4000 эрстед. Перемагничивание осуществляется вращением вокруг неподвижно закрепленной буровой коронки постоянных магнитов с разноименными полюсами, закрепленными на столе. При этом скорость вращения постоянных магнитов изменяли от 1 об/мин до 10 об/мин, напряженность постоянного магнитного поля при этом не изменялась. Скорость вращения стола определяет частоту перемагничивания.

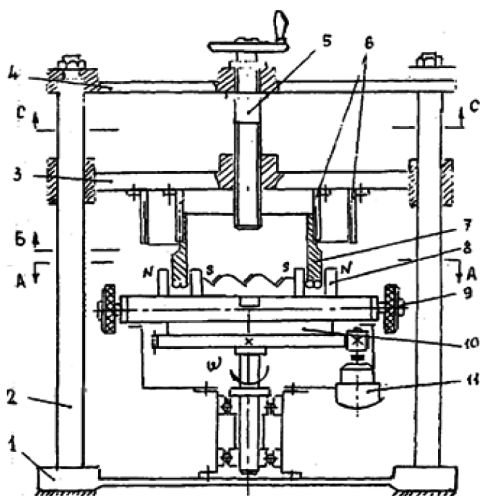


Рис. 3. Стенд для обработки коронок вращающимся магнитным полем: 1 — опорная плита; 2 — направляющие; 3 — подвижная траверса; 4 — неподвижная траверса с винтом; 5 — винт подачи коронок; 6 — втулки с резьбой для установки коронок на стенде; 7 — буровая коронка; 8 — магниты; 9 — винт перемещения магнитов под коронки разных диаметров; 10 — вращающийся стол; 11 — привод стола

Результаты перемагничивания оценивали с помощью рентгеноструктурного анализа и замером величины магнитной напряженности. Длительность перемагничивания изменяли в пределах от 50 до 100 циклов. Результаты исследований представлены в табл. 1. Перемагничивание буровых коронок привело к появлению в поверхностном слое напряжений сжатия. Исследование структуры позволяет установить, что исходная структура буровой коронки имела строение аустенита, а после перемагничивания приобрела мелкодисперсное зернистое строение по всему телу коронки в виде мартенсита.

Экспериментальные исследования по выявлению эффективности применения коронок, обработанных в криогенной среде и магнитном поле с вращающимся постоянными магнитами были выполнены при бурении образцов песчаника на станке СКБ-4.

В лабораторных условиях были исследованы на прочность пары ВК-20 – сталь ХГСА. Результаты испытаний коронок приведены в табл. 1.

Таким образом криогенно-магнитная обработка коронок, армированных АТП, приводит к существенному увеличению прочности. Применяя криогенно-магнитный способ упрочнения удалось добиться уменьшения потери АТП – 29%, повысить твердость корпуса коронки, паяного слоя и твердосплавной подложки ВК-20 в среднем на 1,5 НРС, добиться увеличения механической скорости бурения на 15% и наработки на коронку на 27%.

Для выполнения лабораторных работ использовалось оборудование центра коллективного пользования «Нанотехнологии» НИИ Нанотехнологий и новых материалов ФГБОУ ВПО

Таблица 1

№ п/п	Среда исследования	Не обработанные коронки	Обработанные в жидком азоте	Обработанные в криогенной среде и магнитном поле
		Твердость по Роквеллу, HRA	Твердость по Роквеллу, HRA	Твердость по Роквеллу, HRA
1	Корпус коронки	60	64	66
2	Паяный слой	56	58	61
3	Твердосплавная подложка ВК-20	90	90,5	91
4	Алмазный слой	92	92	92

ЮРГПУ (НПИ) имени М.И. Платова: система измерения твердости по шкале Роквелла модель Wilson Hardes Group 5741, сканирующий электронный микроскоп QUANTA 200 (FEL, Голландия), микроскоп для микроструктурного анализа с цифровой камерой, анализатор фрагментов микроструктуры твердых тел «Siams 700», оптико-эмиссионный спектрометр Q8MA GELLAN.

Используя возможности ЦКП «Нанотехнологии» было выполнено комплексное металлографическое исследование материалов коронок, армированных АТП, – химический и спектральный анализ, структурные исследования (макро-микроструктура), электронно-оптический и рентгеноструктурный анализ, фактографический анализ, дефектообразованные в корпусах буровых коронок.

Испытанию подвергались АТП диаметром 8 мм с толщиной алмазного слоя $h = 2$ мм, высотой подложки $H = 4,5$ мм; АТП диаметром 10 мм ($h = 2$ мм, $H = 4,5$ мм); АТП диаметром 13,5 мм ($h = 0,8-1$ мм, $H = 4,5$ мм).

Кроме того, обследованию подвергались корпуса коронок, фрагменты коронок (сектора), паяный слой, твердосплавная подложка ВК-20 и стыковочные швы между корпусом коронки – паяным слоем, паяным слоем – твердосплавной подложки, твердосплавной подложкой – алмазным слоем.

Тщательно исследовался слой алмазного порошка (манокристаллические синтетические алмазы). Твердость всех составляющих буровых коронок определялась на приборе ПМГ-3 с алмазным индентором по методу Роквелла (HRA). Все испытания выполнялись до и после термоудара в сосуде Дьюэля, до и после воздействия криогенно-магнитным полем.

Экспериментальные исследования корпусов буровых коронок выполнялись на вращающемся магнитном стенде, после охлаждения в сосуде Дьюэля. Результаты эксперимента представлены в табл. 2

Анализ результатов лабораторных и промышленных испытаний буровых коронок, армированных АТП, и прошедших криогенно-магнитное упрочнение во вращающемся магнитном поле позволяет сделать следующие выводы.

1. Твердость буровых коронок увеличилась на 12% и достигла величины – 66 HRA.
2. Доказано, что применение буровых коронок обработанных в криогенно-магнитном поле позволяет достичь увеличения механической скорости бурения до 19,8 м/час и наработки на коронку до 160 м по горным породам VIII категории по буримости.

Таблица 2

Тип коронок	Характеристика криогенно-магнитного поля	Твердость коронок по Роквеллу до обработки	Твердость коронок по Роквеллу после обработки	% увеличения
112 АТП	H-4000Э $t - 15$ мин	60	66,5	11%
225 АТП	H-4000Э $t - 15$ мин	59	66,0	12%
225 АТП	H-4000Э $t - 15$ мин	60,1	66,0	11%
93 АТП	H-4000Э $t - 15$ мин	60,1	66,1	11%
151 АТП	H-4000Э $t - 15$ мин	59,5	66,3	11,2%
112 АТП	H-4000Э $t - 15$ мин	60,0	66,1	10,2%

3. Криогенно-магнитная обработка коронок представляет собой технологический процесс – «низкотемпературная закалка – магнитный отпуск», который позволяет повысить физико-механические характеристики и качество закрепления АТП в корпусе коронки, что обеспечивает существенное повышение износостойкости буровой коронки, а также механической скорости бурения.

4. Рациональный технологическими параметрами криогенно-магнитного упрочнения буровых коронок является: напряженность постоянного магнитного поля – 4000 эрстед, число импульсов – 60, время импульсов – 15 минут.

5. С учетом выполненных опытных работ по криогенно-магнитному упрочнению буровых коронок считаем целесообразным проведение дальнейших исследований по этой проблеме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Рябчиков С. Я., Мамонтов Б. И.* Патент РФ № 2101456. Способ упрочнения твердосплавного и алмазного инструмента для бурения горных пород. 10.01.1998.

2. *Жмудь Е. С.* Патент СССР № 485161. Способ термической обработки инструмента. 10.12.1975.

3. *Третьяк А. А., Литкевич Ю. Ф., Савенок О. В., Туровский И. Г.* Патент РФ № 2566523. Способ упрочнения буровых коронок, армированных алмазно-твердосплавными пластинами. 10.05.2015.

4. *Власюк В. И.* Технические средства и технологии для повышения качества бурения. – Тула: ИПП «Гриф и К», 2013. – 176 с.

5. *Третьяк А. А., Савенок О. В., Швец В. В.* Буровые коронки, армированные алмазно-твердосплавными пластинами. Монография. – Новочеркасск: ИД «Политехник», 2015. **ПАВБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Третьяк Александр Александрович – кандидат технических наук, старший преподаватель, e-mail: 130504t@mail.ru, Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова».

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 10, pp. 121–130.

UDC
622.23.051.1

A.A. Tret'yak

TECHNOLOGY STRENGTHENING OF DRILL BITS

The article is devoted to an actual problem, increase the efficiency of the polycrystalline diamond bits. Under laboratory conditions, the South-Russian State Technical University studies have been conducted to identify the effect of the magnetic field strength and durability of drill bits, reinforced polycrystalline diamond bits. Experimental verification was carried out in a constant magnetic field, pre-crowns were immersed in liquid nitrogen environment. Increasing the strength of crowns is achieved by processing in a rotating magnetic field and the intensity of the constant magnetic field – 4000 Oe. In this pre-crowns within 15 minutes are handled in the Dewar vessel at -196 °C. Theoretical and experimental research methods of magnetic treatment of rock-breaking tool has allowed to develop a device for hardening of the rotating drill bit in a constant magnetic field. Using cryogenic magnetic method of hardening achieved reduce the loss of polycrystalline diamond bits, increase the hardness of the crown body, the solder layer and carbide substrate tungsten-cobalt -20, to achieve increase in penetration rate and developments in the crown.

Key words: polycrystalline diamond bits, vibration types, changes recorded, test bits, hardness, rotating magnetic field, Dewar wessel.

AUTHOR

Tret'yak A.A., Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, e-mail: 130504t@mail.ru, M.I. Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), 346428, Novocherkassk, Russia.

REFERENCES

1. Ryabchikov S. Ya., Mamontov B. I. *Patent RU 2101456*. 10.01.1998.
2. Zhmud' E. S. *Patent USSR 485161*. 10.12.1975.
3. Tret'yak A. A., Litkevich Yu. F., Savenok O. V., Turovskiy I. G. *Patent RU 2566523*. 10.05.2015.
4. Vlasyuk V. I. *Tekhnicheskie sredstva i tekhnologii dlya povysheniya kachestva bureniya* (Equipment and technology to improve drilling quality), Tula, IPP «Grif i K», 2013, 176 p.
5. Tret'yak A. A., Savenok O. V., Shvets V. V. *Burovye koronki, armirovannyyealmazno- tverdospaynnyimi plastinami*. Monografiya (Diamond-carbide insert drill bits. Monograph), Novocherkassk, ID «Politekhnik», 2015.

