

УДК 621.785.5

**В.И. Колмыков, В.В. Горожанкин, Д.Н. Романенко**  
**ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ КОРПУСОВ**  
**ШНЕКОВЫХ БУРОВЫХ ДОЛОТ ХИМИКО-**  
**ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ**

Показано, что высокотемпературная нитроцементация шнековых буровых долот из легированных хромомарганцевых сталей позволила повысить их долговечность, по сравнению с долотами, армированными твердосплавными вставками, более чем в 4 раза за счет более полного использования металла корпуса. При этом нитроцементация в высокоактивной насыщающей среде обеспечила образование поверхностных диффузионных слоев с большим количеством твердых карбонитридных включений, типа легированного цементита, что обусловило высокую износостойкость и самозатачиваемость долот в процессе работы.

*Ключевые слова:* долговечность, шнековые буровые долота, химико-термическая обработка, упрочнение, твердость.

---

**Ш**нековые буровые долота широко используются для бурения геофизических, гидрогеологических и др. скважин в горных породах до четвертой категории буримости [1, 2]. Буровые долота в больших количествах выпускает ряд специализированных заводов, но потребность в них далеко неудовлетворяется, в основном, из-за их низкой стойкости.

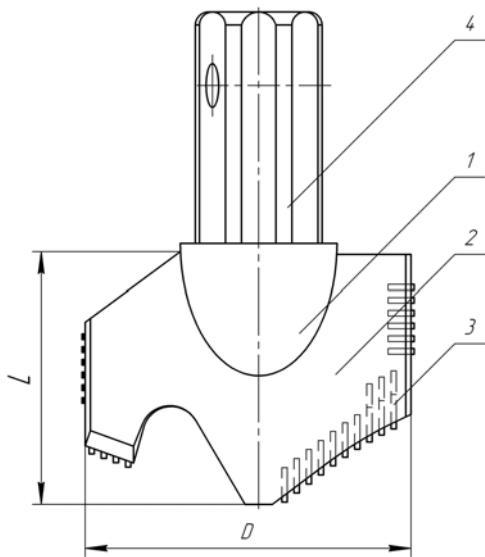
Традиционно, шнековые буровые долота (рис. 1) армируются по режущей части твердосплавными пластинками или стержневыми вставками, которые соединяются со стальным корпусом пайкой твердыми припоями (рис. 1). Корпус долота (обычно не упрочненный) в процессе работы интенсивно изнашивается, армирующие элементы обнажаются, ломаются или выпадают.

Это является существенным недостатком долот такого типа, так как они теряют работоспособность уже при весьма небольшом износе корпуса (несколько миллиметров) и оставший-

ся запас металла не используется. Это приводит к большому расходу бурового инструмента и к заметному удешевлению стоимости буровых работ.

Иногда, для повышения износостойкости и самозатачиваемости шнековых буровых долот в процессе работы их упрочняются по рабочим поверхностям наплавкой высоколегированными наплавочными материалами высокой твердости на железной основе (релит, вокар, сормайт и др.) [3]. Этот способ приводит к некоторому повышению долговечности долот, однако также имеет недостатки которые ограничивают его широкое использование. К таким недостаткам следует отнести сложную и весьма трудоемкую технологию предварительной механической обработки (подготовки под наплавку), и самой наплавки, а также недостаточно прочную связь с основной и высокую хрупкость наплавленных покрытий.

Таким образом, можно констатировать, что традиционные способы упрочнения шнековых буровых долот,



**Рис. 1. Буровое долото типа ДРШ (долото режущее шнековое):** конструкция долота: 1 - корпус; 2 - лопасть; 3 - армирующие элементы; 4 - хвостовик, D и L - соответственно диаметр и высота режущей части (ДРШ151 - D=151 мм; ДРШ198 - D=198 мм)

по тем или иным причинам, не обеспечивают требуемой высокой долговечности и, к тому же, отличаются высокой трудоемкостью и дорогоизнаной. Между тем имеется возможность замены твердосплавного армирования и износостойкой наплавки режущих частей шнековых буровых долот поверхностным упрочнением методами химико-термической обработки, при которых на поверхности стали получаются глубокие диффузионные слои, со структурами идентичными металлокерамическим твердым сплавам (типа ВК) и износостойким наплавкам [4].

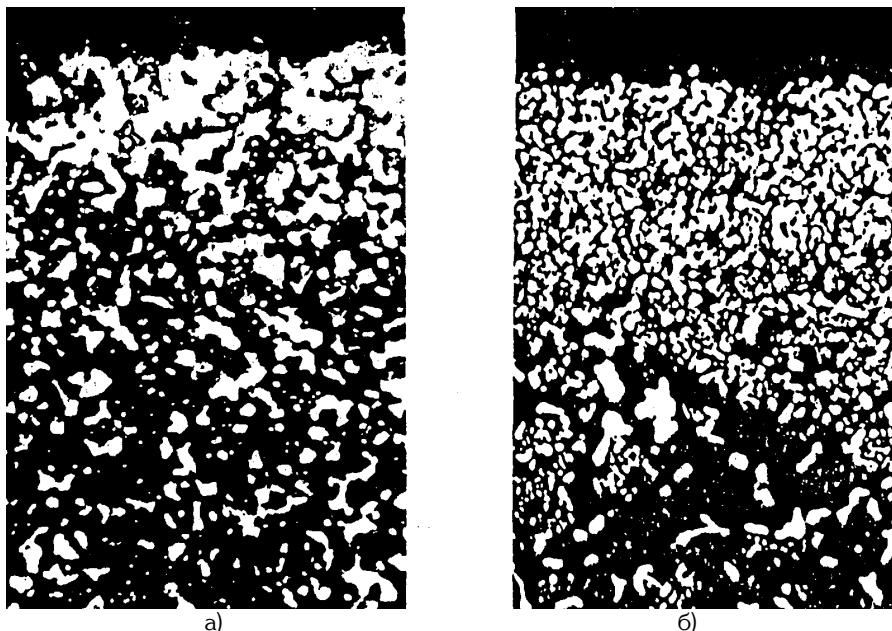
Для получения таких слоев, обладающих высокой износостойкостью, должно быть выполнено два условия: сталь должна быть легирована карбидообразующими элементами, главным образом хромом, а насыщающая среда должна обладать повышенной ак-

тивностью для обеспечения на поверхности стали заэвтектоидных концентраций углерода.

Эксперименты показали, что оптимальная система легирования стали для буровых долот должна включать хром, марганец и ванадий (или титан) [5]. Хром способствует образованию включений избыточной твердой фазы (карбидов) в мелкодисперсной форме; марганец способствует интенсивному росту карбидов при наглероживании стали, а ванадий (или титан) препятствует росту зерна при высокотемпературной химико-термической обработке. Кроме того, названные легирующие элементы обеспечивают глубокую прокаливаемость долотной стали, обеспечивая закалку массивных долот с сечением рабочих частей до 50 мм и понижают порог хладноломкости, что имеет важное значение для долот, работающих в условиях вечной мерзлоты.

Традиционная цементация мало подходит для получения диффузионных слоев с большим количеством избыточных карбидов, так как обычно используемые карбюризаторы (твердые и тем более, газовые) имеют недостаточные углеродные потенциалы для насыщения поверхностных слоев стали до заэвтектических содержаний углерода (большого содержания карбидной фазы на поверхности).

Нами предлагается для таких целей применить нитроцементацию с использованием пастообразного карбюризатора высокой активности с азотсодержащими компонентами. Оптимальный состав этого карбюризатора следующий (% масс): аморфный углерод (сажа ДГ-100) - 70 %; железосинеродистый калий  $K_4Fe(CN)_6$  - 15 %; углекислый барий  $BaCO_3$  - 15 %; пастообразователь нитролак НЦ - 222. Введение в состав карбюризатора азотсодержащих компонентов



**Рис. 2. Микроструктуры карбонитридных зон на поверхности нитроцементованных слоев золотых сталей:** а) 35ХГФ; б) 35Х3Г2Ф ( $\times 200$ ). Светлые включения – карбонитриды типа  $(Fe, Cr)_3(C, N)$ ; темная матрица между ними твердый раствор – азотистый (0,3%N) аустенит

( $K_4Fe(CN)_6$  и НЦ-222) позволяет значительно уменьшить температуру и длительность процесса, поскольку, как известно азот, диффундирующий в сталь совместно с углеродом, повышает коэффициент диффузии последнего и увеличивает скорость насыщения [6].

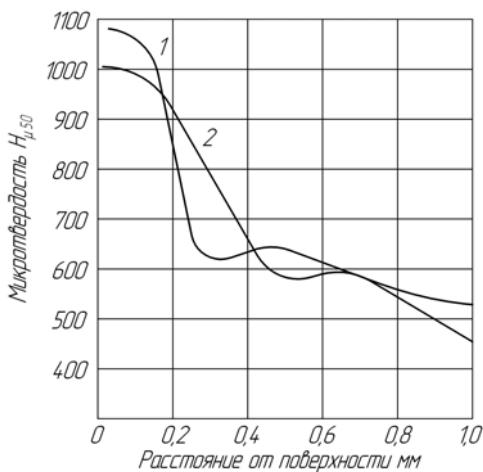
Две партии опытных буровых долот типа ДРШ (без армирующих твердосплавных элементов) из хромомарганцеванадиевых сталей – экономнолегированной стали 35ХГФ и высоколегированной стали 35Х3Г2Ф – подвергали нитроцементации в шахтной печи Ц-105 при температуре 880 °С в течение 8 часов. Передние и боковые поверхности долот (где традиционно предусматривалось твердосплавное армирование) покрывали азотисто-углеродной пастой, а в реторту печи подавали синтин, в количестве 150 кап/мин, и триэтаноламин

(азотсодержащую жидкость), в количестве 30 кап/мин.

В результате такой обработки на поверхности долот из обеих сталей образовались глубокие (2,2...2,5 мм) диффузионные слои с большим содержанием карбонитридных включений цементитного типа в структуре (рис. 2)

После нитроцементации долота закаливали в масле непосредственно с нитроцементационного нагрева и отпусками при 180 °С в течение 4-х часов. После такой обработки твердость нитроцементованных поверхностей долот из обеих сталей составляла  $H_{\mu}$  1000...1100. Последней операцией при изготовлении опытных буровых долот была заточка их режущих лопастей по задним поверхностям.

Распределение микротвердости по глубине нитроцементованных слоев



**Рис. 3. Распределение микротвердости по сечению рабочих частей нитроцементованных долот из различных сталей:** 1) сталь 35Х3Г2Ф; 2) сталь 35ХГФ

сталей 35ХГФ и 35Х3Г2Ф после закалки, определенное на темплетах, вырезанных из опытных буровых долот (рис. 3), имеет весьма сложный характер. Эти кривые имеют два экстремума – непосредственно у поверхности и на некотором расстоянии от нее. Максимум твердости у поверхности совпадает с максимальным содержанием карбидной фазы в структуре, положение второго экстремума микротвердости совпадает с окончанием карбидной зоны, образовавшейся при нитроцементации, и обусловлено образованием мартенсита закалки. Далее по всему сечению микротвердость остается практически постоянной  $\sim H_{\mu 50}$ . Переход от нитроцементованного слоя к сердцевине очень плавный, темной составляющей ни в нитроцементованном слое, ни в переходной зоне не обнаруживается (погодимому, из-за весьма невысокого содержания азота в слое  $\sim 0,3\%N$ ).

Послойный рентгеноструктурный анализ нитроцементованных долотных сталей показал, что карбидная

фаза в диффузионных слоях представлена цементитом, а матрица между карбидами – мартенситом с достаточно большим количеством остаточного аустенита (до 20 %).

Результаты эксплуатационных испытаний опытных эксплуатационных испытаний опытных буровых долот, проведенных в различных горно-геологических условиях, показали (таблица), что опытные долота из сталей 35ХГФ и 35Х3Г2Ф, упрочненные нитроцементацией по приведенной выше технологии, вполне работоспособны и имеют показатели долговечности и производительности заметно выше серийных. Так долговечность долот из экономнолегированной стали 35ХГФ возрасла в 3,16 раза по сравнению с серийными, а долговечность долот из более высоколегированной стали 35Х3Г2Ф – в 4,1 раза. Механическая скорость бурения в результате применения долот, упрочненных нитроцементацией, увеличилась на 34...44% по сравнению со скоростью бурения серийными долотами.

Более высокая стойкость долот из стали 35Х3Г2Ф по сравнению с долотами из стали 35ХГФ обусловлена несколько большим содержанием карбидов в диффузионном слое и, поэтому, большей микротвердостью поверхности. В то же время, пониженное легирование стали 35ХГФ приводит к понижению прочности (твердости) сердцевины и, как следствие, к существенно большему износу задней (без нитроцементации) грани долота. Это способствует образованию более острой режущей кромки и большему выигрышу в механической скорости бурения.

На рис. 4 представлен внешний вид шнекового бурового долота, упрочненного нитроцементацией, после эксплуатации при различной наработке.

### **Результаты эксплуатационных испытаний буровых долот ДРШ-151**

Характеристика долот	Наработка на одно долото, м			Средняя механическая скорость бурения м/ч	Примечания
	Максимальная	Минимальная	средняя		
Серийные, из стали 35Л, армированные твердосплавными (ВК8) элементами	800	250	525	22	Долота вышли из строя из-за поломки твердосплавных элементов
Опытные, из стали 35ХГФ, упрочненные нитроцементацией	1781	1537	1659	31,7	Долота вышли из строя из-за потери геометрических размеров
Опытные, из стали 35Х3Г2Ф, упрочненные нитроцементацией	2529	1835	2182	29,4	Долота вышли из строя из-за потери геометрических размеров



**Рис. 4. Долото ДРШ-151, упрочченное нитроцементацией, после наработки 2200 м**

Опытные долота после проходки 500 м скважин, что является предельной для серийных долот, практи-

чески не потеряли первоначальной формы и размеров. В то же время, серийные буровые долота потеряли все армирующие твердосплавные элементы и разрушились. Режущая кромка опытных долот, после проходки 500 м, осталась достаточно острой, что свидетельствует о их самозатачиваемости в процессе работы. Острота режущей кромки сохраняется до предельного износа долота (рис. 4), который наступает после ~ 2000 м бурения, что в 4 раза больше, чем у серийных долот.

Следует также отметить, что долота, упрочненные нитроцементацией, не заменялись на буровом ставе (колонне шнеков) в течение всего сезона бурения – все долота сохранили работоспособность и были пригодны для дальнейшего использования. Серийные же долота из стали 35Л с твердосплавными вставками потребовали по 3...4 замены за сезон бурения.

---

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Гольдштейн, М.М. Механические свойства грунтов [Текст] / М.М. Гольдштейн // М.: Стройиздат, 1973. 376 с.
2. Седов, Б.Я. Буровые установки для проходки скважин и стволов [Текст] / Б.Я. Седов, А.Т. Николаенко, Н.Д. Терехов // М.: Недра, 1972. 298 с.
3. Хрушов М.М. Износостойкость и структура твердых наплавок [Текст] / Х.Х. Хрушов, М.А. Бабичев, Е.С. Беркович [и др.] // М.: Машиностроение, 1971. 96 с.
4. Колмыков В.И. Эффективность упрочнения стали карбидами при химико-термической обработке [Текст] / В.И. Колмыков, В.М. Переверзев, В.А. Воротников // Технология и оборудование для новых прогрессивных методов химико-термической обработки деталей тракторов и с/х машин. Волгоград: НТО Машпром, 1988. С. 61-64.
5. Переверзев В.М. Влияние легирующих элементов на карбиообразование в железе и стали в процессе цементации [Текст] / В.М. Переверзев, В.И. Колмыков // Металловедение и термическая обработка металлов, 1981. № 8. С. 11-14.
6. Шубин Р.П. Нитроцементация деталей машин [Текст] / Р.П. Шубин, М.И. Гринберг // М.: Машиностроение, 1975. 205 с. **ГИАБ**

---

## **КОРОТКО ОБ АВТОРАХ**

*Колмыков Валерий Иванович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение и сварочное производство», svarka-kstu@mail.ru

*Горожанкин Виктор Вячеславович* – преподаватель кафедры «Материаловедение и сварочное производство», svarka-kstu@mail.ru

*Романенко Дмитрий Николаевич* – кандидат технических наук, доцент, и.о. зав. кафедрой «Материаловедение и сварочное производство», Romanenko-kstu46@yandex.ru

Юго-Западный государственный университет, Курск.



---

## **Р У К О П И С И , ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»**

### **ТЕНЗОР КОРРЕЛЯЦИИ**

(№ 980/09-13 от 16.07.13, 09 с.)

Редькин Г.М. – доктор технических наук, доцент, профессор, [redking@email.ru](mailto:redking@email.ru).

Коновалов А.В. – аспирант, [akon32@rambler.ru](mailto:akon32@rambler.ru).

Алексанов В.Ю. – аспирант, кафедры прикладной математики, [v\\_aleksanov@mail.ru](mailto:v_aleksanov@mail.ru).

Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

### **TENSOR OF CORRELATION**

*Redkin G.M., Aleksanov V.Y., Konovalov A.V.*