

На правах рукописи



ГОРОЖАНКИН Виктор Вячеславович

**ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА
И ДЕТАЛЕЙ ГОРНЫХ МАШИН ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ
ОБРАБОТКОЙ**

05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Курск – 2013

Работа выполнена на кафедре материаловедения и сварочного производства федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Юго-Западный государственный университет», г. Курск.

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор
Колмыков Валерий Иванович

Официальные оппоненты:

Зубков Николай Семенович
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Тверской государствен-
ный технический университет», заве-
дующий кафедрой технологии металлов
и материаловедения

Квашнин Борис Николаевич
кандидат технических наук,
ФГБОУ ВПО «Воронежский государст-
венный университет инженерных тех-
нологий», доцент кафедры управления
качеством и машиностроительных тех-
нологий

Ведущая организация:

**ФГБОУ ВПО «Липецкий государст-
венный технический университет»**

Защита диссертации состоится «13» декабря 2013 года в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.105.01 при ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет» по адресу: 305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Юго-Западного государственного университета по адресу: 305040, Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Автореферат разослан « » ноября 2013 г.

Ученый секретарь совета
по защите докторских и
кандидатских диссертаций
Д 212.105.01



Б.В. Лушников

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Добыча нефти, газа и других полезных ископаемых, которые являются основой экономики страны, требует огромного объема буровых работ. Поэтому все мероприятия, направленные на совершенствование бурового оборудования и инструмента, являются весьма актуальными.

Буровые инструменты – буровые долота различных типов и конструкций – расходуются при проведении буровых работ в очень больших количествах и выпускаются специализированными отечественными заводами миллионами штук. Такое положение во многом является следствием невысокой стойкости буровых долот, как, впрочем, и многих других деталей бурового оборудования.

Для обеспечения работоспособности буровых долот, как шарошечных, так и лопастных, в их конструкции предусмотрено армирование рабочих поверхностей твердосплавными элементами (вставками, пластинками, зубками и т. п.), которые, собственно, и разрушают горные породы в процессе бурения скважин. В общей стоимости таких долот стоимость армирующих элементов составляет основную долю, в несколько раз превышающую стоимость стального корпуса долота. В процессе работы долот практически всех типов их корпуса, несмотря на применяемые для изготовления высококачественные стали, изнашиваются во много раз быстрее (на порядок и более), чем армирующие элементы, что и служит главной причиной выхода их из строя.

В этой связи разработка и исследование технологии химико-термической обработки долотных сталей, обеспечивающей их повышенную абразивную износостойкость в условиях эксплуатации буровых долот, чему посвящена настоящая работа, является весьма актуальной.

Данная работа выполнялась в рамках программы стратегического развития федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Юго-Западный государственный университет» на 2012 – 2016 годы. Автор выражает благодарность за помощь в проведении экспериментальных исследований и ценные научные консультации и.о. зав. кафедрой «Материаловедение и сварочное производство», к.т.н., доценту Романенко Д.Н.

Целью работы является увеличение ресурса работы буровых долот и бурового оборудования на основе совершенствования технологических процессов химико-термической обработки их деталей для получения в поверхностных слоях структур, обеспечивающих стойкость против абразивного изнашивания.

В соответствии с названной целью в работе необходимо решить следующие задачи:

1. Изучить особенности изнашивания рабочих поверхностей стальных корпусов породоразрушающего инструмента и установить влияние их структуры, фазового состава и механических свойств на сопротивление воздействию абразива. На этой основе сформировать требования к упрочняющей хи-

мико-термической обработке, обеспечивающей высокую износостойкость названных деталей в условиях их эксплуатации.

2. Разработать высокоактивную азотисто-углеродную среду, удобную для массового упрочнения деталей бурового инструмента и оборудования, и исследовать влияние режимов обработки на формирование диффузионных слоев на сталях с различными системами и степенью легирования, используемых для изготовления буровых долот.

3. Исследовать влияние упрочняющей обработки на физико-механические и эксплуатационные свойства (абразивную износостойкость и ударную вязкость) долотных сталей. Установить закономерные связи между структурно-фазовыми характеристиками и свойствами нитроцементованных сталей.

4. На основании проведенных исследований разработать технологические рекомендации по поверхностному упрочнению нитроцементацией деталей бурового оборудования, работающих в различных условиях абразивного изнашивания (лопастных долот, шарошек, клапанов буровых насосов и скважинных гидродомкратов).

Объектами исследования являлись лопастные буровые долота ДРШ-151, шарошечные долота Ш-59К и Ш-76К, клапаны буровых насосов Гр16/40, корпуса и пуансоны скважинных гидродомкратов СГД-44 и СГД-80, а также материалы этих изделий до и после поверхностного упрочнения нитроцементацией.

Методы исследования. При решении поставленных в работе задач использовались современные методы испытаний и исследований, в частности: химический, дюраметрический, металлографический, рентгеноструктурный и электронно-микроскопический анализы; износостойкость и механические (статические и динамические) испытания проводились согласно действующим методикам и ГОСТам.

Научная новизна:

1. Разработана новая комбинированная среда для нитроцементации сталей, состоящая из газовой атмосферы и азотисто-углеродного покрытия из аморфного углерода, железосинеродистого калия и бентонито-маршалитного наполнителя, с изменяемой насыщающей способностью, позволяющая проводить химико-термическую обработку различных сталей при температурах (650...900°C) и получать износостойкие слои с различным содержанием твердых карбонитридных включений (от 0 до 100%).

2. Установлены закономерные связи между составом нитроцементируемых сталей, активностью насыщающей среды и структурой, фазовыми составами и свойствами диффузионных слоев, позволяющие разработать принципы управления структурными характеристиками для получения заданных свойств упрочняемых изделий.

3. Исследованы механизмы изнашивания и повреждаемости деталей буровых долот и буровых насосов и установлены особенности изменения структурно-фазовых характеристик материала этих деталей, которые позволили обосновать рациональные режимы нитроцементации для каждой из них.

4. Разработаны научно обоснованные технологические процессы поверхностного упрочнения шарошек, деталей клапанной пары буровых насосов, корпусов шнековых буровых долот, обеспечивающие многократное повышение их стойкости и удобные для массового производства.

Практическая значимость исследований состоит в разработке научно-обоснованных технологических рекомендаций по повышению долговечности буровых долот, насосов и другого горного оборудования нитроцементацией в комбинированных средах. Предлагаемая технология основана на использовании высокоактивной азотисто-углеродной комбинированной среды. При незначительном удорожании упрочняющей обработки названных выше изделий позволяет повысить их долговечность в несколько раз. Практическая ценность подтверждается промышленными испытаниями упрочненных долот и оборудования.

Достоверность результатов исследований, основных положений и выводов подтверждается корректностью постановки задач исследования, согласованностью экспериментальных результатов с теоретическими положениями. Достоверность результатов работ определяется также использованием известных в металловедении современных методик и сертифицированной исследовательской аппаратуры, а также воспроизводимостью экспериментальных данных. Кроме того, достоверность положений и выводов подтверждается признанием их на различных конференциях и семинарах и апробацией в производственных условиях.

Апробация работы. Основные результаты и положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных конференциях: на XXXIII Международной ежегодной конференции «Композиционные материалы в промышленности» (СЛАВПОЛИКОМ) (Крым, 2013 г.); на XXI Международной конференции «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики» (Крым, 2013 г.).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 8 работ, из них 6 в рецензируемых научных журналах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав основной части, общих выводов, библиографического списка, включающего 127 источников, и приложений, общий объем диссертации составляет 165 страниц машинописного текста, включает 44 рисунка и 17 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации и показана целесообразность использования химико-термической обработки деталей буровых долот и бурового оборудования для повышения их работоспособности и долговечности.

В первой главе диссертации представлен аналитический обзор отечественной и зарубежной литературы по условиям работы бурового инструмента и современным методам повышения его стойкости против изнашивания природными абразивами.

Рассмотрены свойства горных пород, влияющие на стойкость бурового инструмента. Горные породы, как объекты бурения, очень разнообразны и

подразделяются на 12 категорий буримости, начиная с относительно мягких глин, мергелей и сланцев и до крепчайших кварцев и гранитов.

Основной и наиболее твердой минеральной составляющей практически всех горных пород, а также грунтов и почв является кварц. Кварц представляет собой химическое соединение кремния с кислородом SiO_2 , с прочной ковалентной связью между элементами. Твердость кварца в природных образованиях составляет 8500...10000 МПа. Чем больше в горной породе кварца, тем большей абразивностью (т. е. способностью истирать металлы) она обладает.

Горные породы, в контакте с которыми работают буровые долота, отличаются высокой прочностью и твердостью. Например, твердость гранитов, входящих в XII категорию буримости горных пород, составляет 5000...6000 МПа. Уровень механических свойств горных пород существенно влияет на интенсивность абразивного воздействия на буровые инструменты, так как определяет величины удельных нагрузок на изнашиваемые поверхности.

Ввиду большого разнообразия горных пород отечественная и зарубежная промышленность выпускает большое количество буровых долот различных типов: лопастных, для бурения относительно мягких пород, шарошечных, для бурения твердых и крепких пород, специальные и др.

Режущие и скалывающие элементы шарошечных и лопастных долот (вооружение буровых долот) изготавливают из прочных и износостойких металлокерамических твердых сплавов на основе карбида вольфрама (типа ВК) либо используют покрытие рабочих поверхностей износостойкими наплавочными материалами. Для наплавки разработаны и более или менее широко используются различные наплавочные материалы (отечественная промышленность, например, выпускает более сорока различных марок), которые представляют собой высоколегированные сплавы на железной основе.

В качестве материалов корпусов буровых долот используются высокопрочные углеродистые и легированные стали, в некоторых случаях стали электрошлакового и вакуумного переплава. Такие стали хорошо выдерживают высокие механические нагрузки, которым подвергаются буровые долота, однако их абразивная износостойкость весьма невелика.

Для повышения износостойкости инструмента используют закалку с низким отпускком, поверхностную закалку, высокотемпературную термомеханическую обработку, а также химико-термическую обработку, однако все они не обеспечивают требуемой абразивной износостойкости сталей. Корпуса долот изнашиваются гораздо быстрее, чем элементы вооружения (твердосплавные пластинки и износостойкие наплавки), в результате чего долота быстро выходят из строя. В этом как раз состоит главная проблема низкой долговечности буровых долот.

Между тем в литературе известны факты, когда изделия из легированных сталей, цементованные по специальным режимам до высоких содержаний углерода на поверхности, показали высокую износостойкость в присутствии абразива. Такие стали приближаются по своей износостойкости к наиболее твердым карбидам и боридным покрытиям. Причиной высокой абра-

живной износостойкости цементованных изделий в вышеназванном случае считается наличие в диффузионных слоях значительного количества избыточной карбидной фазы.

Такая обработка позволит приблизить износостойкость корпусов буровых долот к износостойкости их вооружения, в результате чего можно ожидать значительного повышения их долговечности, поскольку стандартные долота выходят из строя, главным образом, из-за износа корпусов.

На основании проведенного анализа и в соответствии с целью работы сформулированы задачи исследования.

Во второй главе изложена методика экспериментальных исследований, проводимых для решения поставленных задач.

В качестве материалов для исследования выбраны стали, наиболее широко применяемые для изготовления деталей бурового инструмента и оборудования. Это цементуемые легированные стали 17НЗМА–Ш и 16ХНЗМФА–Ш (электрошлакового переплава), используемые для изготовления различных тяжело нагруженных деталей бурового оборудования, а также литейная сталь 35Л и экспериментальная сталь 35ХЗГ2Ф на ее основе, используемые для корпусов буровых долот.

Химико-термическую обработку абразивов и деталей проводили в печи с герметической ретортой, в которую подавалась нитроцементующая атмосфера (CH_4 и NH_3) из газовых баллонов. Образцы предварительно покрывались активизирующей пастой и высушивались. Термическая обработка образцов после нитроцементации проводилась либо непосредственно из нитроцементационной печи, либо с повторного нагрева в муфельной печи в воздушной атмосфере.

Исследование структуры, химического состава, фазового состава, а также физико-механических свойств долотных сталей до и после нитроцементации проводили по стандартным методикам на аттестованном оборудовании.

Испытание нитроцементованных сталей на износостойкость проводилось по закрепленному кварцевому абразиву (машина трения Х4-Б) и по полужакрепленному абразиву (лабораторная установка на изнашивание по схеме (Хаворта–Бринелля), что позволяло имитировать условия изнашивания, соответствующие реальным условиям их эксплуатации.

Ударную вязкость нитроцементованных сталей определяли на стандартных образцах по методу Шарпи (копер МК-30) и на образцах малого сечения (копер КМ-0,5). В последнем случае определяли истинную ударную вязкость нитроцементованных слоев, без влияния сердцевины.

В главе приведена также методика математического планирования экспериментов и методика производственных испытаний буровых долот и буровых насосов с нитроцементованными деталями.

Третья глава диссертации посвящена исследованию нитроцементации долотных сталей в высокоактивной комбинированной среде с целью повышения их абразивной износостойкости.

Для эффективного упрочнения буровых долот и других изделий, работающих в условиях абразивного изнашивания, необходимо, чтобы нитроце-

ментация обеспечивала получение диффузионных слоев большой глубины с большим количеством избыточных карбонитридных включений. Однако насыщающая способность традиционных цементующих и нитроцементующих газовых сред, обычно применяемых для упрочнения деталей буровых инструментов, недостаточна для получения таких слоев. Поэтому нами было предложено дополнительно к традиционным газовым средам использовать активизирующее азотисто-углеродное покрытие, наносимое на упрочняемые поверхности и значительно повышающие насыщение стали азотом и, самое главное, углеродом.

На основе анализа химических реакций, протекающих в различных нитроцементующих средах и данных собственных предварительных экспериментов, была разработана паста, состоящая из активной части, содержащей аморфный углерод (газовую сажу ДГ 100) и железосинеродистый калий $K_4Fe(CN)_6$, и нейтральной части, состоящей из бентонита (нанодисперсного глинозема), который одновременно является связующим веществом, и маршалита (тонко размолотого кварцевого песка). В качестве пастообразующей жидкости был использован водный раствор поливинилацетатной эмульсии (клея ПВА) с добавлением 5% этанола (поверхностно-активного вещества).

В работе было проведено исследование насыщающей способности разработанной пасты в зависимости от соотношения компонентов в активной ее части между сажой и железосинеродистым калием и от соотношения между активной и нейтральной частями пасты. При этом насыщающая способность проверялась при двух температурах: при температуре 650°C, при которой происходит преимущественное генерирование азота за счет распада железосинеродистого калия, и при температуре 850°C в режиме преимущественного науглероживания.

Результаты исследования показали, что оптимальный состав активной части пасты, (% мас.) : сажу ДГ100 - 70 и железосинеродистого калия - 30; состав нейтральной части: бентонита - 30 и маршалита - 70. В качестве пастообразующей жидкости использовали 20%-ный водный раствор поливинилацетатной эмульсии (ПВА) с добавлением 5% этанола. Добавление 25% жидкости к массе сухих компонентов активной и нейтральной частей пасты обеспечивает толщину нитроцементующего покрытия около 2 мм (при нанесении покрытия погружением в емкость с пастой). Нитроцементация изделий с активизирующим покрытием на поверхности производится после их сушки (85...95°C, в течении 2 часов).

Нитроцементация изделия с использованием названного покрытия при содержании активной и нейтральной частей 1:1 обеспечивает получение в 2,5...3 раза более глубоких диффузионных слоев по сравнению с традиционной газовой нитроцементацией в эндотермической атмосфере с добавками метана и аммиака. Это объясняется тем, что в нитроцементующем покрытии на поверхности стали реакции образования активных атомов азота и углерода происходят в непосредственной близости от поверхности металла и эти атомы тут же поглощаются этой поверхностью и диффундируют в глубину из-

деля. При этом наличие большого количества диффундирующих элементов внедрения способствует образованию избыточных азотисто-углеродных фаз.

Изменяя соотношение активной и нейтральной частей покрытия можно регулировать насыщающую способность среды без изменения состава газовой атмосферы и, таким образом, с помощью простого технологического приема получать требуемые характеристики структуры диффузионных слоев на различных сталях.

Экспериментальное исследование влияния режимов нитроцементации доломитных сталей на содержание в их диффузионных слоях избыточных твердофазных включений, от количества которых зависит абразивная износостойкость, позволило выяснить следующее. При относительно низких температурах нитроцементации ($\sim 650^{\circ}\text{C}$) на поверхности сталей образуются ε -карбонитриды в виде плотной, твердой корочки, толщина которой зависит от длительности процесса и от степени легирования. Твердость этой карбонитридной корки (10000...12000 МПа) больше, чем твердость природных абразивов, однако толщина этой корки получается небольшой (0,1...0,15 мм). Повышение температуры нитроцементации до $800\ldots 850^{\circ}\text{C}$ приводит к замене ε -карбонитридов в структуре диффузионных слоев карбонитридами изоморфными с цементитом, которые также имеют высокую твердость (~ 10000 МПа) и глубина этих слоев получается достаточно большой (до 1 мм и более). Количество и морфология карбонитридов зависит в основном от системы легирования нитроцементуемой стали.

Самое большое содержание карбонитридов, наблюдается в наиболее легированной стали 35Х3Г2Ф (до 80% на поверхности), в подобной же стали с меньшим содержанием легирующих элементов 30ХГТ, нитроцементированной при тех же режимах, содержание карбонитридов примерно на 15...20% меньше. Еще меньше карбонитридов образуется при нитроцементации сталей 16ХН3МФА-Ш и 40Х и самое малое количество – в диффузионных слоях сталей 17Н3МА-Ш, 40 и 35Л (примерно 50% от количества карбонитридов в стали 35Х3Г2Ф). Очевидно, что на образование карбонитридов при нитроцементации легированных сталей влияет содержание в них хрома и марганца. Никель и другие легирующие элементы (молибден и ванадий), как показали наши эксперименты, практически не влияют на процесс образования карбонитридов при нитроцементации.

Что касается глубины диффузионных слоев на исследованных сталях, в том числе и глубины карбонитридной зоны в них, то легирующие элементы влияют на эти характеристики ровно наоборот. Наибольшая глубина нитроцементации наблюдается на углеродистых сталях 35Л и 40, меньшая – на сталях 16ХН3МФА и 40Х и еще меньшая на хромомарганцевых сталях 35ХГФ и 35Х3Г2Ф, особенно на последней.

Нитроцементованные стали после закалки и низкого отпуска имеют весьма высокую твердость, от 66...68 HRC (хромистые стали) до 62...64 HRC (стали без хрома). Повышенная твердость хромистых сталей обусловлена большим содержанием в их поверхностных слоях твердых карбонитридных включений.

Температура отпуска нитроцементованных и закаленных сталей с большим содержанием карбонитридов в поверхностных слоях (35Х3Г2Ф, 16ХН3МФА, 35ХГФ) может быть значительно повышена без заметного снижения твердости, вплоть до 350...400°С, что благоприятно скажется на их ударной вязкости.

Еще большее повышение ударной вязкости может быть достигнуто при повышенных температурах нагрева этих сталей под закалку (1100...1150°С), что объясняется большим содержанием вязкого аустенита в структуре.

В главе приводятся результаты экспериментального исследования абразивной износостойкости нитроцементованных долотных сталей и показано, что при большом содержании карбонитридов в их структуре (более 60%) износостойкость резко увеличивается и на порядок превышает износостойкость аналогичных сталей без карбонитридного упрочнения.

Четвертая глава диссертации посвящена разработке технологических рекомендаций по упрочнению нитроцементацией деталей лопастных и шарошечных буровых долот, клапанов буровых насосов, и деталей скважинных гидродомкратов для повышения их абразивной износостойкости и долговечности.

Лопастные шнековые буровые долота широко используются для бурения геофизических, гидрологических и других скважин в горных породах до IV категории буримости. Традиционно шнековые буровые долота армируются по режущей части твердосплавными элементами, которые соединяются со стальным корпусом пайкой или запрессовкой. В процессе работы долота его корпус (обычно не упрочненный) интенсивно изнашивается, из-за чего твердосплавные элементы ломаются или выпадают (рис. 1).

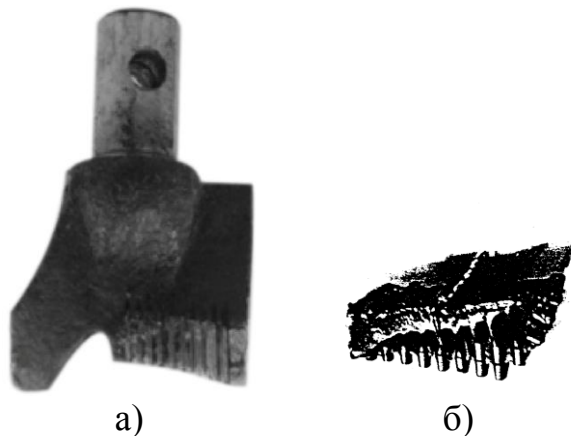
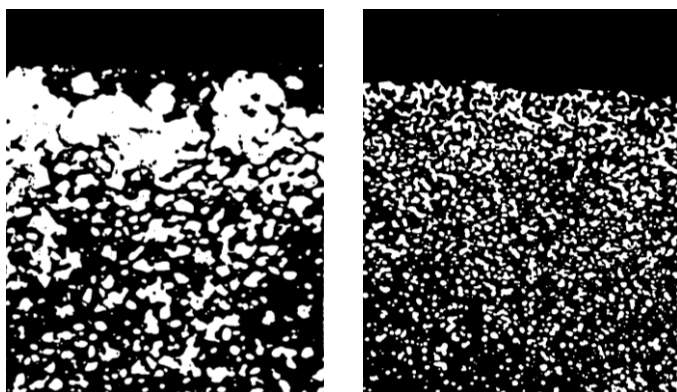


Рис. 1. Долото ДРШ-151 (долото режущее шнековое, диаметр скважины 151 мм) производство Щигровского ОАО «Геомаш» (а) и вид изношенной рабочей части после проходки 500 м (б) с обнажившимися и обломанными твердосплавными вставками

Было изготовлено две партии опытных долот ДРШ-151 из легированных сталей 30ХГТ и 35Х3Г2Ф (корпуса серийных долот из стали 35Л), корпуса которых были подвергнуты нитроцементации в высокоактивной комбинированной среде при температуре 850°С в течение 8 часов с непосредственной закалкой. После такой обработки твердость поверхностей обоих долот составила HRC 66...68. Такая высокая твердость была обусловлена большим количеством карбонитридных включений на поверхности (рис. 2) и большой глубиной диффузионных слоев. Согласно данным рентгеноструктурного анализа карбонитриды в диффузионных слоях обеих сталей были изоморфны

цементиту, микротвердость этих включений ($H_{\mu}=10500\ldots11500$ МПа) превышала твердость природного кварца.



а)

б)

Рис. 2. Микроструктуры нитроцементованных слоев опытных долотных сталей: а - сталь 30ХГТ; б - сталь 35ХЗГ2Ф ($\times 200$)

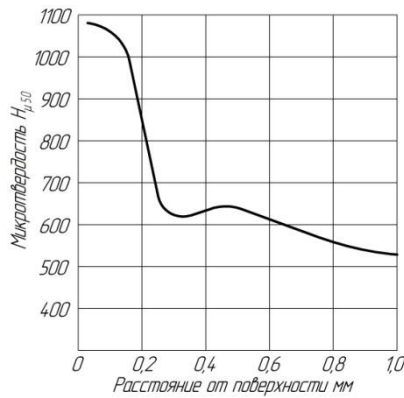
Как показали результаты эксплуатационных испытаний буровых долот (табл.), опытные долота имеют показатели долговечности и производительности заметно выше серийных.

Результаты эксплуатационных испытаний долот ДРШ-151

Характеристика долот	Наработка на одно долото, м			Средняя механическая скорость бурения, м/ч
	максимальная	минимальная	средняя	
Серийные из стали 35Л	810	250	525	22
Опытные из стали 30ХГТ	1780	1540	1660	24,2
Опытные из стали 35ХЗГ2Ф	2530	1830	2180	29,4

Долговечность долот из нитроцементованной экономнолегированной стали массового производства 30ХГТ возросла в 3,1 раза по сравнению с серийными, а долговечность долот из более высоколегированной стали 35ХЗГ2Ф – в 3,8 раза. Механическая скорость бурения опытными долотами в результате использования более скоростных режимов увеличилась в среднем на 22%.

Высокая твердость поверхностей нитроцементованных долот и рациональный характер распределения микротвердости по сечению их режущих частей позволили вообще отказаться от их твердосплавного армирования (рис. 3). Такие долота оказались вполне работоспособными и при бурении мягких пород и пород средней твердости (М и СМ) показали долговечность выше долговечности серийных долот с твердосплавными вставками. Нитроцементованные долота без твердосплавных вставок после проходки 500 м, что является предельной для серийных долот, практически не потеряли своей формы и размеров, а их режущие кромки оставались достаточно острыми, что свидетельствует о самозатачиваемости в процессе работы.



а)

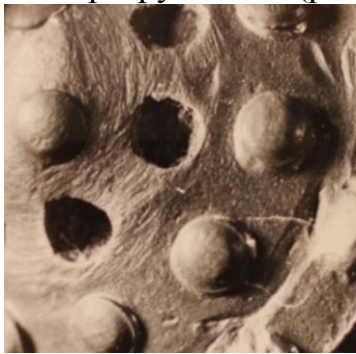


б)

Рис. 3. Распределение микротвердости по сечению рабочей части нитроцементованного долота из стали 35ХЗГ2Ф (а) и нитроцементованное самозатачивающееся долото после проходки 500 м (б)

Для бурения скважин в крепких горных породах используются шарошечные буровые долота, которые работают по принципу ударного воздействия на породу твердыми зубками. Шарошечные долота работают в чрезвычайно тяжелых условиях и быстро выходят из строя из-за интенсивного абразивного износа в сочетании с динамическими нагрузками и коррозионным действием промывочного раствора.

Нами было исследовано большое количество (более 100 шт.) отработанных штыревых долот Ш-59К и Ш-76К, применяемых для геолого-разведочного бурения, и установлено, что главной причиной их выхода из строя является абразивный износ материала шарошек в промежутках между твердосплавными вставками (зубками). В результате этого твердосплавные зубки выпадают из корпуса шарошек и долото теряет работоспособность или даже разрушается (рис. 4).



а)



б)

Рис. 4. Участки поверхностей шарошек штыревых долот ($\times 10$), извлеченных из глубоких скважин (более 900 м): а - выпавшие твердосплавные зубки; б - катастрофический износ корпуса

Нами были проведены опыты по повышению абразивной износостойкости корпусов шарошек нитроцементацией в комбинированной газовой-твердофазной среде. Нитроцементовали шарошки из специальных долотных сталей 17НМА-Ш и 16ХНЗМФА-Ш с большим содержанием никеля, однако их абразивная износостойкость оказалась невысокой, на уровне стандартных шарошек из тех же сталей, подвергнутых традиционной газовой цементации (на долотных заводах). Это объясняется небольшим количеством карбонитридных включений в нитроцементованных слоях никелевых сталей.

Лучшие результаты были получены при использовании в качестве материалов для шарошек сталей 30ХГТ и 40Х. Нитроцементацию проводили при температуре 880°C в течение 6 часов с непосредственной закалкой. Отпуск после закалки, учитывая динамический характер нагрузки на шарошки в

процессе их работы, проводили при повышенной температуре 400°C. В результате была получена твердость поверхности 64...66 HRC, а количество карбонитридной фазы в нитроцементованных слоях обеих сталей – около 50%.

Опытные долота испытывались в условиях рядовой эксплуатации при бурении глубоких скважин в горных породах КМА (кварцитах). Испытания показали, что долговечность долот с нитроцементованными шарошками увеличилась минимум в 2 раза. При этом выпадения твердосплавных зубков не наблюдалось, а выбраковка долот происходила из-за износа и растрескивания самих твердосплавных зубков (рис. 5).

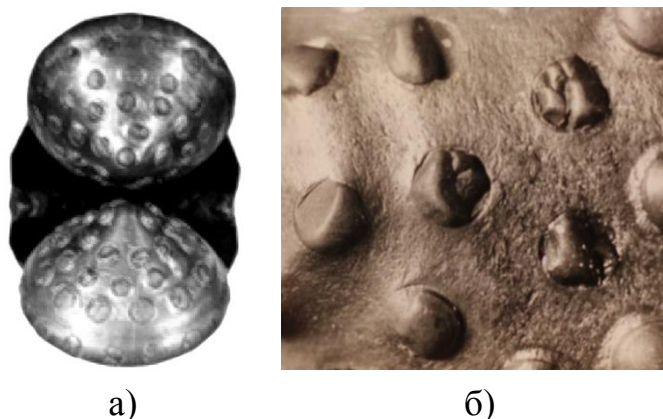


Рис. 5. Внешний вид опытного штыревого долота Ш-59К с нитроцементованными шарошками из стали 30ХГТ после наработки ~2000 м (а) и вид поверхности шарошки (×5) с изношенными зубками (б)

Нитроцементация предлагаемым методом показала высокий эффект при упрочнении деталей клапанов буровых насосов Гр16/40, которые работают в условиях гидроабразивного изнашивания (рис. 6).



Рис. 6. Следы промывки буровым раствором на рабочих поверхностях тарелки клапана (а) и седла (б)

Нитроцементация этих деталей, изготовленных из стали 40Х (традиционно они подвергаются объемной закалке) с образованием в поверхностных слоях 30...40% карбонитридной фазы, обеспечивает повышение долговечности в 1,8...2,4 раза. Наиболее рациональные режимы обработки: нитроцементация при температуре 820...840°C в течение 3 часов, закалка с повторного нагрева с повышенной температуры ~950...960°C для получения большого количества остаточного аустенита и низкий отпуск.

Наконец, разработанная технология нитроцементации была опробована при упрочнении деталей гидравлических скважинных домкратов, предназначенных для механического разрушения горной породы при отстройке бортов карьеров (рис. 7).

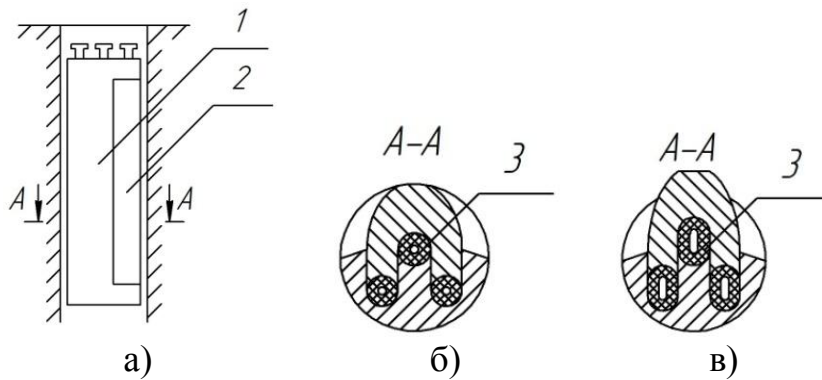


Рис. 7. Схема скважинного домкрата (а); пуансон в исходном положении (б); пуансон в рабочем положении (в): 1. корпус; 2. пуансон; 3. эластичные камеры расширения

Для повышения прочности и износостойкости корпусов и пуансонов скважинных домкратов использовали нитроцементацию при пониженной температуре $\sim 620...650^{\circ}\text{C}$. Эта нитроцементация проводится после закалки, вместо высокого отпуска, предусмотренного при термическом улучшении стали.

В результате нитроцементации в течение 2 часов стали 40Х, из которой изготавливают детали домкратов, на поверхности был получен слой ε -карбонитридов толщиной $\sim 0,18$ мм, имеющей твердость $H_{\mu}=12500$ МПа (рис. 8).

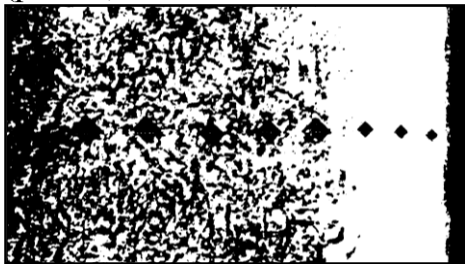


Рис. 8. Микроструктура ($\times 200$) диффузионного слоя на стали 40Х, нитроцементованной при 620°C , с поверхностной зоной твердых карбонитридов

Такая обработка позволила повысить долговечность домкратов более чем в 5 раз.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. В результате выполненных исследований предложено решение актуальной научно-практической проблемы повышения долговечности бурового инструмента и оборудования путем разработки научных основ и технологических приемов нитроцементации сталей, применяемых для изготовления названных изделий.

2. На основе анализа механизмов изнашивания и повреждаемости деталей бурового оборудования были сформулированы требования к структурам поверхностных слоев сталей, обеспечивающих наибольшую стойкость в условиях эксплуатации. Эти структуры должны отличаться повышенной твердостью и большим содержанием включений твердых фаз.

3. Для получения требуемых структур была разработана нитроцементующая среда, которая позволяет упрочнять различные изделия из различных сталей в условиях массового производства долот и других инструментов без корректировки существующих на предприятиях технологических процессов газовой цементации и нитроцементации. Повышение активности насыщающей среды, необходимой для получения «избыточных твердых фаз», достигается за счет азотисто-углеродного покрытия, наносимого на упрочняемые поверхности.

4. Предложено нитроцементующее покрытие, состоящее из двух групп компонентов (частей) – активной, содержащей аморфный углерод (70%) и железосинеродистый калий (30%), и нейтральной, содержащей бентонит (30%) и маршалит (70%), пастообразователь – водный раствор ПВА. Изменяя соотношение между активной и нейтральной частями покрытия можно регулировать насыщающую способность среды и получать структуры диффузионных слоев с заданными характеристиками.

5. На основе экспериментальных исследований установлены закономерности влияния состава азотисто-углеродного покрытия и режимов нитроцементации, а также системы и степени легирования нитроцементуемых сталей на структуру, фазовый состав и свойства (твердость, абразивную износостойкость и ударную вязкость сталей).

6. Проведено исследование упрочнения деталей лопастных шнековых буровых долот ДРШ-151 нитроцементацией в разработанной среде. Максимально возможная абразивная износостойкость их корпусов была достигнута применением стали 30ХГТ (вместо 35Л) и нитроцементацией (850°C, 6 ч) с использованием покрытий повышенной активности (50% активной части и 50% нейтральной части). В результате на поверхности было получено ~80% карбонитридов. Абразивная износостойкость повысилась более чем в 10 раз. Производственные испытания показали увеличение долговечности в 3,1 раза, а в некоторых случаях нитроцементованные долота показали хорошую работоспособность вообще без твердосплавного армирования.

7. Проведена нитроцементация корпусов шарошек штыревых долот Ш-59К и Ш-76К, работающих в условиях ударно-абразивного изнашивания. Для этого было использовано покрытие с пониженной активностью (30% активных компонентов и 70% нейтральных). На шарошках из стали 30ХГТ были получены диффузионные слои с ~50% карбонитридных включений, имеющие высокую абразивную износостойкость и удовлетворительную ударную вязкость. Долговечность долот с такими шарошками увеличивалась в 2 раза по сравнению со стандартными шарошками из цементованной стали 17РЗМФА-Ш.

8. Получен высокий эффект увеличения стойкости при нитроцементации тарелок и седел клапанов буровых насосов Гр16/40 (в 2 раза) и корпусов и пуансонов скважинных гидродомкратов СГД-44 и СГД-80 (в 5,2 раза). Этот эффект был также достигнут за счет образования на поверхностях этих деталей диффузионных слоев с большим содержанием карбонитридов.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

публикации в рецензируемых научных журналах и изданиях:

1. Несмеянов, Б.В. К вопросу отстройки бортов карьеров с использованием нетрадиционных способов и средств разрушения горных пород / Б.В. Несмеянов, Ю.Б. Несмеянова, **В.В. Горожанкин** // Маркшейдерия и недропользование. - 2012. - №6. - С. 38-41.

2. **Горожанкин, В.В.** Закаливаемость и износостойкость сталей, науглероженных до заэвтектических концентраций / **В.В. Горожанкин**, В.И. Кол-

мыков, Д.Н. Романенко // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия техника и технологии. - 2012. - №2, Ч. 3. - С. 116-119.

3. Колмыков, В.И. Прогнозирование абразивной износостойкости двухфазных структур в металлических композитах / В.И. Колмыков, **В.В. Горожанкин**, Д.Н. Романенко [и др.] // Заготовительные производства в машиностроении. - 2013. - №5. - С. 40-42.

4. Колмыков, В.И. К вопросу об использовании химико-термической обработки для повышения стойкости бурового инструмента и деталей горных машин / В.И. Колмыков, **В.В. Горожанкин**, Д.Н. Романенко // Упрочняющие технологии и покрытия. - 2013. - №9. - С. 17-19.

5. Колмыков, В.И. Повышение долговечности корпусов шнековых буровых долот химико-термической обработкой / В.И. Колмыков, **В.В. Горожанкин**, Д.Н. Романенко // Горное оборудование и электромеханика. - 2013. - №9. - С. 26-29.

6. **Горожанкин, В.В.** Износ штыревых шарошечных долот и упрочнение их химико-термической обработкой / **В.В. Горожанкин**, В.И. Колмыков, Д.Н. Романенко // Горный журнал. - 2013. - №10. - С. 98-100.

статьи и материалы конференций:

7. Колмыков, В.И. Анализ изнашивания и повреждаемости деталей буровых геологоразведочных насосов / В.И. Колмыков, **В.В. Горожанкин**, Д.Н. Романенко // Сборник научных трудов XXXIII международной ежегодной конференции и блиц-выставки «Композиционные материалы в промышленности» (СЛАВПОЛИКОМ). Крым, - 2013. - С. 348-352.

8. **Горожанкин, В.В.** К вопросу о рациональной форме шнековых буровых долот / **В.В. Горожанкин** // Сборник научных трудов XXI международной конференции и блиц-выставки «Современные методы и средства неразрушающего контроля и технической диагностики». Крым, - 2013. - С. 162-165.

Подписано в печать 30.10.2013. Формат 60×87 1/16.

Печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Отпечатано в ЮЗГУ.