

ОСОБЕННОСТИ ИЗНОСА И КРИТЕРИИ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ БУРОВЫХ ДОЛОТ С АЛМАЗНО-ТВЕРДОСПЛАВНЫМИ РЕЗЦАМИ

Чл.-кор. НАН Украины **В. Ф. ХОРУНОВ**, **Б. В. СТЕФАНИВ**, канд. техн. наук,
О. М. САБАДАШ, **В. В. ВОРОНОВ**, инженеры (Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Исследованы степень износов и критерии ремонтпригодности буровых алмазных долот с алмазно-твердосплавными резцами. Проанализированы статистические данные отработки ресурса алмазных буровых долот разного сортамента.

Ключевые слова: проходка, механическая скорость, сверхтвердые материалы, алмазный слой, алмазно-твердосплавный резец (АТР), износостойкость, буровая скважина, поликристаллический алмазный резец (PDC)

Горные породы, слагающие разрез скважины, различны по составу и имеют различные свойства, в зависимости от которых их разрушают резанием, скалыванием, истиранием, дроблением. Характер разрушения зависит от твердости и пластичности горных пород, поэтому для бурения скважин применяют инструменты определенного типа. Основным инструментом для механического разрушения горных пород в процессе бурения скважины является долото. В современной практике применяют различные виды и типы долот.

Целью настоящей статьи являются исследования особенностей износа и критерии ремонтпригодности буровых долот с алмазно-твердосплавными резцами.

Объектами настоящего исследования являются инструменты вращательного способа бурения, такие, как долота, буры, различные коронки и бурильные головки, оснащенные алмазами, твердыми сплавами или алмазно-твердосплавными материалами в форме цилиндрических вставок. Бурильные долота и бурильные головки изготавливают из прочных и износостойких материалов, так как в процессе бурения на долото действуют осевые, в том числе ударные нагрузки, вращающий момент, а также давление и химическая активность промывочной жидкости.

При бурении рабочая поверхность вставок, изнашиваясь, изменяет первоначальную форму, что приводит к снижению технико-экономических показателей бурового инструмента. Аномальный износ и образование на рабочей поверхности долот кольцевых канавок приводит инструмент в непригодное состояние.

Износ рабочей поверхности бурового инструмента — сложный процесс, обусловленный многими факторами, в том числе свойствами инстру-

ментальных материалов и горных пород на забое скважины, качеством конструкции бурового инструмента, эффективностью очистки породоразрушающих элементов и промывки скважины.

В настоящее время накоплен значительный фактический материал относительно отработки ресурса долот с алмазно-твердосплавными резцами (АТР) и их ремонтпригодности. В Украине для бурения скважин по добычи нефти и газа в основном применяют буровые долота производства США, Китая, России и в меньшей степени Украины. Узким местом для бурения твердых и сверхтвердых пород буровых скважин является значительный износ отечественных долот и в какой-то мере зарубежных долот. Для увеличения срока службы необходимо производить ремонт этих дорогостоящих изделий. Однако в настоящее время в Украине ремонт и восстановление отечественных и зарубежных долот не проводится. Долота ведущих фирм «Reed Tools», «Smith Tools», «Hughes Christensen» и ВАТ «Волгабурмаш» (Россия), степень износа которых не превышает 30%, вывозятся за пределы страны для ремонта в США, Канаду и другие страны. Поэтому выявление особенностей износа и критериев ремонтпригодности отечественных и зарубежных долот является актуальной задачей, решение которой позволит увеличить ресурс долот и сэкономить значительные средства.

В ИЭС им. Е. О. Патона был проведен анализ особенностей износа АТР стальных и матричных буровых долот, бывших в использовании при бурении скважин в горных породах. За основу был взят метод описания износа долот, построенный по системе классификации, принятой Международной ассоциацией буровых подрядчиков (IADC) [1, 2], согласно которой для определения износа используют восемь параметров (табл. 1). В нашем случае для определения износа долот достаточно шести параметров, кроме 5-й и 8-й колонок данной таблицы.



Таблица 1. Классификация определения износа долот

Вооружение (режущая структура)				B	G	Примечания	
Внутренние ряды (I)	Внешние (наружные) ряды (O)	Характер износа (D)	Местоположение (L)	Уплотнение опоры (B)	Износ по диаметру (G)В 1/16	Другие типы износа (O)	Причина подъема из скважины (R)
1	2	3	4	5	6	7	8

Рассмотрим подробнее классификацию определения износа долот по табл. 1.

Износ внутренних и наружных рядов. Для описания износа режущей структуры используют 1, 2-ю колонки. В колонке 1 (I — внутренний ряд) ставится код износа той части режущей структуры, которая при работе долота на забое не касается стенок скважины. Как правило, внутренние ряды составляют 2/3 всей режущей структуры (рис. 1). Характеристика износа вооружения, расположенного на внутренних рядах, позволяет уменьшить количество вариантов износа и более детально определить его причину.

В колонке 2 (O — наружный ряд) ставится код износа режущей структуры долота, которая в процессе бурения непосредственно соприкасается со стенками скважины. Наружные ряды составляют 1/3 всей режущей структуры (рис. 1). Характеристика износа этой части вооружения помогает оценить правильность работы калибрующей части режущей структуры долота в скважине.

Для описания износа АТР или твердосплавных вставок применяют линейную шкалу в диапазоне от 0 до 8. Номер степени износа увеличивается с износом PDC-резца (рис. 2, а) и твердосплавных вставок (рис. 2, б).

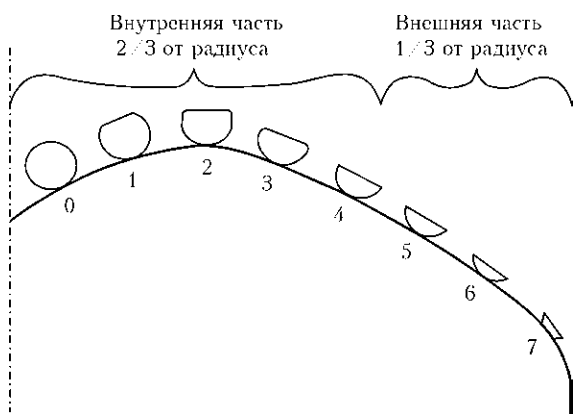


Рис. 1. Схема степени износа вооружения

Характеристики износа долота. В колонке 3 (D — характер износа) для указания основного (преобладающего) характера износа используют кодировку, приведенную в табл. 2.

В колонке 4 (L — местоположение) для указания места на поверхности долота, где произошел износ вооружения (рис. 3), используют буквенный или цифровой код. Коды, которые применяют для описания местоположения износа на буровых алмазных долотах, приведены на рис. 4.

Коды износостойкости цилиндрических АТР приведены на рис. 5.

Износ долота по диаметру. В колонке 6 (G — внешний диаметр) указывают износ долота по калибру. Для этого диаметр долота измеряют перед его спуском в скважину и при подъеме специальным калибровочным кольцом. Допуски наружного диаметра алмазных буровых долот по API представлены в табл. 3.

В колонке 7 (O — другие типы износа) для описания вторичной характеристики износа долота в дополнение к характеристикам износа вооружения, перечисленным в колонке 3, используют те же двухбуквенные коды, что и в табл. 2.

Применение долот нового поколения для добычи нефти и газа, оснащенных поликристалли-



Рис. 3. Местоположение вида износа на буровом долоте

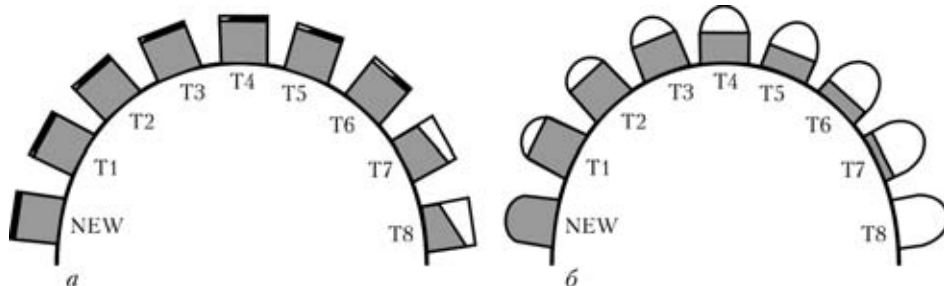


Рис. 2. Схема износа алмазно-твердосплавных резцов (а) и твердосплавных вставок (б): а: 0 — резец долота не изношен; 1–7 — резец изношен соответственно на 10, 15, 25, 30, 50, 70, 100 %; 8 — полная потеря вооружения; б: 0 — вставка долота не изношена; 2, 4, 6 — вставка изношена соответственно на 25, 50, 75 %

Таблица 2. Характер износа долот

BC	Слом части долота	LT	Потеря резцов
BT	Сломаны резцы	NO	Отсутствие износа
BU	Зашламованность долота	NR	Не пригодно для повторного спуска
CC	Образование трещин на долоте	OC	Эксцентрический износ
CD	Заклинивание долота	PB	Механическое повреждение долота при СПО
CI	Зацепление долота	PN	Закупорка насадки промыванием канала
CR	Кернение (износ вершины долота)	RG	Износ калибрующей части вооружения
CT	Скол резца	RO	Кольцевая выработка на долоте
ER	Эрозионный износ	RR	Долото пригодно для повторного спуска
FC	Плоский износ	SD	Повреждения козырька резца
HC	Термический нагрев резцов	SS	Эффект самозатачивания резцов
JD	Работа долота по металлу	TR	Образование гребней на долоте
LC	Потеря долота	WO	Размыв корпуса долота
LN	Потеря насадки	WT	Износ резцов

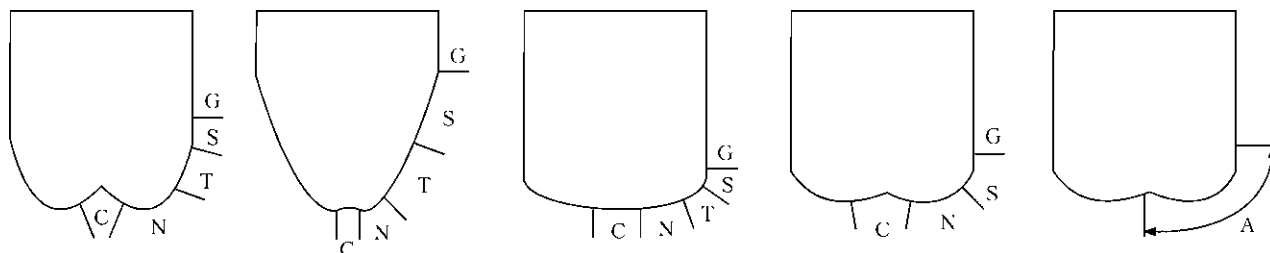


Рис. 4. Схемы и коды износа вооружения долот: N — режущая структура, расположенная ближе всего к вершине долота; M — средний ряд резцов долота, расположенный между рядами N и G; G — калибрующий ряд, режущая структура, находящаяся на калибрующей поверхности долота; A — все ряды (вся режущая структура долота); C — внутренняя конусная поверхность; T — наружная конусная поверхность; S — плечо

ческими алмазными резцами PDC (Polycrystalline Diamond Cutter) производства ведущих мировых марок (DDI, «Reed Hycalog», DPI, «Baker Hughes», «Smith International», «King Dream», «Security»), имеют существенные преимущества по сравнению с шарошечными долотами [3]: увеличение проходки на долото и механической скорости бурения в 4...5 раз; уменьшение количества спуско-подъемных операций; существенное снижение себестоимости метра проходки и стоимости одного часа работы буровой установки; высокую

износостойкость резцов; возможность эффективного повторного использования восстановленных долот без ухудшения эксплуатационных качеств вследствие отсутствия движущихся элементов; высокий моторесурс и др.

Основой восстановления эксплуатационных качеств буровых алмазных долот является замена PDC-резцов и восстановление поверхностного слоя матрицы. Выпаивание изношенных и пайка новых резцов с использованием серебряных припоев является основным технологическим процес-

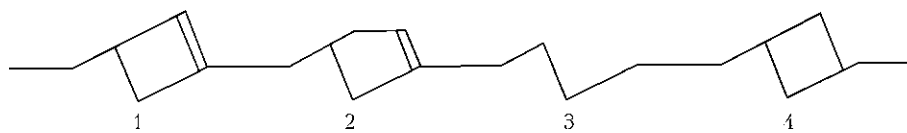


Рис. 5. Схема и коды износостойкости АТР: 1 — отсутствие износа; 2 — изношенные резцы (WT); 3 — потеря резца (LT); 4 — слом алмазной пластины (BF)

Таблица 3. Допуски наружного диаметра буровых долот

Номинальный наружный диаметр долота, мм	В дюймах	В миллиметрах
От 85,76 до 349,2 включительно	-0...+0,313(1/32)	-0...+0,794
От 355,6 до 444,5 включительно	-0...+0,625(1/16)	-0...+1,588
От 447,68 и более	-0...+0,938(3/32)	-0...+2,381

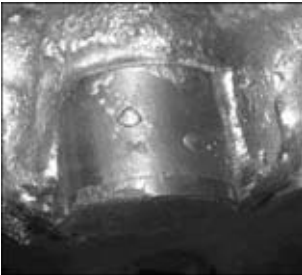
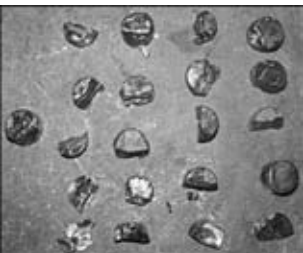
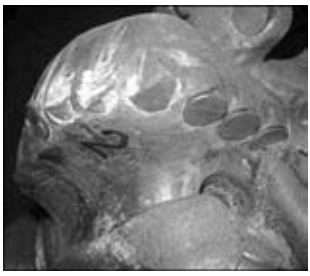



сом замены алмазно-твердосплавных резцов (PDC).

Масса фрезерованных, сварных и матричных долот, которая, как правило, мало отличается друг от друга, в зависимости от наружного диаметра (93...495 мм) она составляет от 5 до 200 кг. Конструкция лопастей, их количество, схемы размещения резцов в различных типах долот значительно отличаются, что также требует индивидуального подхода при выборе источников нагрева, его мощности и способа передачи тепловой энергии для обеспечения качественного восстановления каждого бурового долота.

Известно, что PDC-резцы долота изнашиваются неодинаково — наиболее изношенными являются центральные, а наименее периферийные, т. е.

Таблица 4. Характеристика износа матричного долота производства США (горные породы — песчаник серый, алевролит темно-серый, аргилит темно-серый)

Тип износа	Классификация данного износа согласно IADC	Пример износа
Износ режущих кромок PDC-резцов	SS — износ режущих кромок WT — общий износ	
Общий износ/разрушение PDC-резцов	WT — общий износ CT — сколотые резцы BT — сломанные резцы	
Местный износ покрытия и сердцевины корпуса с разрушением посадочных мест под PDC-резцы	RO — износ вооружения по окружности FC — плоский износ WO — размыв долота	
Общий износ корпуса долота	WO — размыв долота FC — плоский износ долота	

нагрузка на резцы долота распределяется статистически неопределенным образом. Таким образом, при внешнем осмотре долота необходимо составить дефектную ведомость для данного типа долота и определить количество и качество PDC-резцов для полной или частичной их замены.

При выборе источника нагрева для распайки PDC-резцов из гнезд лопастей долот необходимо учитывать температурную стойкость поликристаллического алмазного слоя, массу и количество лопастей долота, а также схему размещения резцов в долоте.

Проанализировав источники [4–10] тепловой энергии конструктивных типов (сварных, цельнофрезерованных, матричных) алмазных буровых долот и состояние их изношенности (не более

50 %), установлено, что объемные способы нагрева (в печи, солевой расплав) не соответствуют требованиям контроля температурно-временных режимов технологического процесса замены АТР. Наиболее рациональные способы выпайки PDC-резцов с точки зрения сохранения физико-химических свойств их алмазного слоя являются газопламенный и индукционный нагрев.

В результате проведенных исследований работ были установлены температурно-временные режимы выпайки PDC-резцов из буровых алмазных долот (сварочных стальных, с матричным корпусом и цельнофрезерованным стальным корпусом):

- для групповой (с целой лопастью) — наиболее приемлем индукционный нагрев с максимальной мощностью до 30 кВт;

- для выборочной (один или несколько) — нагрев одним или двумя газовыми горелками № 4 при максимальной мощности газовой смеси (кислород-пропан/бутан) до 10 кВт.

Особенности восстановления долот зависят от плотности и физико-химических свойств коррозионно-стойкого поверхностного слоя долот, а также влияния на температурно-временные режимы нагрева, устойчивости поликристаллического алмазного слоя и качества паяных соединений PDC резцов с матрицей долота.

Согласно данной классификации были определены степени износа буровых алмазных долот (сварочных стальных, с матричным корпусом и

цельнофрезерованным стальным корпусом), поставленных для ремонта в ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины. По результатам исследований были построены таблицы износа буровых долот в зависимости от физико-химических характеристик горных пород. В качестве примера приведены характеристики износа бурового матричного долота с АТР фирмы «Baker Hughes» производства США (табл. 4). Итоговая оценка износа данного долота согласно IADC: 3 7 RO T 0 I (СТ, ВТ, WT, FC) PR — ремонту подлежит.

Выводы

1. Составлены таблицы особенностей износа долот и дефектов АТР и твердосплавных вставок согласно классификации IADC.

2. Определены критерии ремонтпригодности трех типов изношенных долот: стального сварного долота (Украина), долота с цельнофрезерованным стальным корпусом (Россия) и долота с матричным твердосплавным корпусом (США).

3. Основными видами износа PDC долот на месторождениях являются: износ резцов (17 %),

поломка резцов (30 %), скалывание резцов (31 %), выпадение резцов (3 %), отсутствие износа (19 %).

1. Коды износа алмазных долот. <http://vbs-service.ru>
2. Классификация долот по характеру износа. <http://vbs-service.ru>
3. Продаем PDC долота. Компания «ЮНИТУЛЗ» Рус. 02.03.2009. <http://www.unitools.ru>
4. Кортес А. Р. Сварка, резка, пайка металлов. — М.: ООО «Арфа СД», 1999. — 192 с.
5. Lindberg R. A., Braton N. R. Welding and other joining processes. Boston: Allyn and Bacon Inc., 1976. — 541 p. — (Welding and Other Joining Processes).
6. Сварка в машиностроении: Справ. 4 т. / Редкол. Г. Л. Николаев и др.; под ред. Н. А. Ольшанского. — М.: Машиностроение, 1978. — Т.1. — 504 с.
7. Глизманенко Д. Л., Евсеев Г. Б. Газовая сварка и резка металлов. — М.: Машгиз, 1954. — 512 с.
8. Николаев Г. И., Ольшанский Н. А. Специальные методы сварки. — М.: Машиностроение, 1974. — 232 с.
9. Богданов В. Н., Рыскин С. Е. Применение сквозного индукционного нагрева в промышленности. — М.; Л.: Машиностроение, 1965. — 96 с.
10. Справочник по пайке / Под ред. И. Е. Петрунина — 3-е изд. перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 2007. — 480 с.

The degree of wear and criteria of repairability of diamond drill bits with diamond PDC hard alloy cutters (PDC) were investigated. Statistical data on service life of different types of diamond drill bits were analysed.

Поступила в редакцию 22.05.2012

НОВАЯ КНИГА

Современные технологии ремонта, восстановления и реновации. — Киев: Международная ассоциация «Сварка», 2012. — 172 с. Мягкий переплет, 200×290 мм.

Сборник включает 38 статей, опубликованных в журнале «Автоматическая сварка» за период 2009-2011 гг., по проблемам ремонта, восстановления и реновации изделий ответственного назначения. Авторами статей являются известные в Украине ученые и специалисты в области сварки, наплавки, упрочнения, металлизации и других технологий ревитализации.

Сборник предназначен для научных сотрудников, инженеров, технологов, конструкторов и аспирантов, занимающихся проблемами сварки и других родственных технологий обработки материалов.

По вопросам реализации просьба обращаться в редакцию журнала Автоматическая сварка»

