

## ИЗНОС ВООРУЖЕНИЯ ШАРОШЕЧНЫХ ДОЛОТ

Н. Н. Закиров

(Тюменский государственный нефтегазовый университет)

Ключевые слова: износ, выкрашивание, скол, вооружение

Key word: wear out, dislodging, cleavage, bit cutting structure

В процессе бурения наиболее интенсивному изнашиванию подвергаются вооружение и опора долота. При достижении предельного износа, хотя бы одного из этих элементов, долото становится непригодным для дальнейшего бурения и требует замены. Наряду с постепенным изнашиванием нередко наблюдаются поломки отдельных элементов, которые могут привести к частичной или полной потере работоспособности всего долота [1].

Установлено, что наибольшая интенсивность изнашивания зубьев происходит в период приработки. Приработка зубьев начинается с мелкого выкрашивания (в основном, вершин и двухгранного угла зубьев), вызванного разномысностью зубьев по венцам, неравномерностью их загрузки, а также нестабильностью качества наплавки при армировании зубьев. При зубковом вооружении этот процесс объясняется также перенапряжением отдельных зубков. Выкрашивание зубьев и зубков периферийных венцов также усугубляется тем, что они контактируют с забоем и стенкой скважины.

Во время приработки из-за перегрузок отдельных элементов возможно образование усталостных трещин, которые приводят к преждевременным поломкам зубьев, а также откалыванию вершин первой шарошки. Часты случаи выкрашивания по этой причине наплавленного слоя. Поэтому приработку долот на забое следует проводить при нагрузках в 2-3 раза меньших, чем рекомендуемые для обеспечения объёмного разрушения породы, что обеспечит постепенное выравнивание высоты зубьев по венцам, шарошкам и нормальную их работу при рабочих нагрузках.

Выкрашивание и износ периферийных зубьев приводит к уменьшению их площади, а следовательно, к увеличению удельной нагрузки на зуб и интенсификации его износа. Износ периферийного венца по длине зуба постепенно передаётся на торец шарошки, что приводит к уменьшению диаметра долота и изменению профиля забоя у стенки скважины. Результат этого процесса – снижение механической скорости бурения и необходимость приработки призабойной зоны при спуске нового долота.

Износ зубьев по длине не будет равномерным вследствие проскальзывания и смещения осей шарошек. Максимальный износ наблюдается на торце зуба, где сила прижатия его к породе и величина проскальзывания – максимальны. Поэтому, как правило, износ зубьев периферийного венца и тыльной части шарошек определяет работоспособность вооружения долота.

Существенное влияние на износ зубьев долота оказывает контактная прочность вооружения в связи с неравномерностью распределения нагрузки на каждый венец шарошки. Зубья, изготовленные из высоколегированных цементируемых сталей, имеют достаточно высокую контактную прочность, но всё же износ зуба сопровождается микрорезанием, выкрашиванием, обминанием и имеет усталостную природу [2].

Буровые долота выходят из строя, исчерпав потенциальные возможности или по вооружению шарошек, или по их опорам. Причём эти явления – износ (скол) зубьев шарошек и износ опор, как правило, носят локальный характер, то есть износ наступает с опережением, соответственно, на один из венцов или у одной из опор шарошек. Всё это находится в полном соответствии с кинетическими характеристиками долота, характеризующими относительную интенсивность абразивного износа зубьев венцов смежных шарошек и относительную интенсивность разрушения горной породы на смежных кольцевых забоях скважины [3].

В процессе бурения зубья венцов и шарошек испытывают разное удельное давление из-за различных условий взаимодействия с забоем [4,5]. Установлено, что нормальные и тангенциальные усилия воспринимают зубья периферийного венца. Причём на периферийных венцах наибольший износ имеют зубья с минимальным шагом. К концу работы долота скорость изнашивания зубьев по венцам и шарошкам становится примерно одинаковой, что объясняется выравниванием степени проскальзывания зубьев шарошек с увеличением изнашивания опор.

Кроме того, к концу работы долота цементированный слой зуба, как правило, изнашивается. Интенсивность изнашивания сердцевины мало зависит от дополнительных факторов, влияние которых сказывалось в период работы с цементированным слоем. Это подтверждается и тем, что если износ цементованного слоя сопровождается, как правило, хрупким выкрашиванием и развитием сетки микротрещин, то при переходе к основному металлу, то есть при уменьшении микротвёрдости HV с 75 до 30 МПа следы хрупкого выкрашивания отсутствуют и, в основном, проявляется пластическое деформирование металла. На этой стадии, как указывал М. Р. Мавлютов, на отдельных зубьях обнаруживается повышение микротвёрдости в поверхностном слое и формирование слоя, именуемого «белая фаза».

Неравномерность распределения толщины армированного слоя по поверхности зуба, неоднородность материала по составу способствуют преждевременному зарождению усталостных трещин, выкрашиванию и, как следствие, неравномерному повышенному изнашиванию.

Таким образом, при взаимодействии зуба с забоем можно выделить две схемы: прямой удар зуба по породе без скольжения и трение скольжения по породе в момент его проскальзывания по забою. Это предопределяет два вида изнашивания: ударно-абразивный и абразивный. Этим видам изнашивания сопутствуют и в определённых условиях могут сильно проявляться окислительный и усталостный виды изнашивания.

Поломки элементов вооружения обусловлены и цикличностью работы, и весьма высокой неравномерной нагрузкой на долото. Для фрезерованного вооружения характерны следующие виды поломок: поломка под корень, поломка в среднем сечении, выкрашивание части вершины зубьев, смятие зубьев.

Поломки и выпадение зубков – основной вид выхода из строя твёрдосплавного вооружения шарошек, так как скорость абразивного изнашивания твёрдого сплава весьма мала и не определяет долговечности долота. Основные виды поломок – скол вершин и слом зубков. Для повышения долговечности твёрдосплавного вооружения шарошек в настоящее время проводятся исследования, направленные на повышение качества твёрдого сплава и надёжности крепления зубков. Резервы повышения долговечности – улучшение схемы размещения вооружения долот на шарошках для уменьшения кратности перегрузки отдельных элементов и применение демпфирующих устройств для уменьшения динамической составляющей осевой нагрузки [6].

Единого мнения, какой износ вооружения считать предельным, нет. Например, В. С. Фёдоров рекомендовал считать, что вооружение долота вышло из строя, если хотя бы один венец изношен по высоте более чем на 75% начальной высоты или разрушено 75% зубков [7]. На промыслах Тюмени принимают, что долото по вооружению отработано полностью, если хотя бы один венец изношен на 100% [6].

Основным признаком износа вооружения является снижение механической скорости проходки или интенсивности разрушения горной породы в процессе бурения. Принято считать, что долото по вооружению отработано полностью, если скорость проходки снизилась до 0,4 – 0,5 от начальной. Изнашивание элементов опоры увеличивает люфты, изменяет условия работы подшипников и уплотнений. При достижении предельного износа уплотнений происходит разгерметизация опор. Всё это внешне проявляется как увеличение момента на долоте из-за роста сопротивления вращению шарошек на опорах.

Кроме указанных факторов, на величину износа зубьев шарошек большое влияние оказывает многоконусная форма шарошек, конструктивные особенности и степень износа опор и самого вооружения, направленность струй с абразивом в призабойной зоне, физико-механические свойства разрушаемой породы и параметры режима бурения [8, 9].

В период приработки наблюдаются сколы углов и вершин отдельных перенапряжённых зубков, но основным видом повреждения твёрдосплавных зубков является их разрушение из-за скола при повышенных и даже при нормальных энергиях удара по забою. В некоторых случаях уже через полчаса работы часть зубков бывает сколота под основание. В результате увеличивается удельная энергия удара на оставшиеся зубки венца, шарошки и даже на зубки других шарошек, что приводит к преждевременному выходу долота из строя.

Следствием большого числа сколов является низкое качество отечественных твёрдосплавных зубков. Поэтому конструкторы вынуждены при разработке долот с твёрдосплавным вооружением учитывать то обстоятельство, что если твёрдосплавный штырь выступает над телом шарошки более чем на радиус самого зубка, то опасность скола в процессе работы долота на забое резко возрастает. Не решается этот вопрос и увеличением диаметра зубков, так как с ростом диаметра зубка увеличиваются возможные несовершенства в структуре твёрдосплавного зубка по сечению, в результате чего ударная прочность зубков даже снижается. Такое ограничение затрудняет решение вопроса по созданию высокоэффективных долот типа МЗ, СЗ с твёрдосплавным вооружением.

Одно из кардинальных решений, позволившее американским фирмам резко поднять надёжность и эффективность шарошечных долот, – применение твёрдосплавного вооружения для долот типа М и С с вылетом зубка над телом шарошки до 17 мм. Это позволило сохранить максимальную механическую скорость при резком росте стойкости вооружения и опоры.

Представляют несомненный интерес и зарубежные разработки технологических решений получения комбинированного зубка, состоявшего из износостойкой рабочей части (головки) и металлической державки, запрессовываемой в тело шарошки. Такое решение позволило бы наряду с успешным решением задачи обеспечения вылета зубка над телом шарошки на требуемую величину, решать вопрос экономии дефицитного материала – карбида вольфрама. Актуальность этого вопроса очевидна, так как в процессе работы долота изнашивается (не всегда) только часть зубка, выступающая над шарошкой, а остальная (большая часть) твёрдосплавного зубка служит только для его закрепления в теле шарошки. Неоднократные попытки регенерации и повторного использования твёрдосплавных штырей (материала) пока не получили широкого применения.

Анализ применения отечественных и импортных долот ставит перед отечественным долотостроением первоочередные задачи разработки новых марок долотных сталей, повышения качества изготовления фрезерованного вооружения, совершенствования форм твёрдосплавных зубков, внедрения современных технических и технологических методов повышения износостойкости и долговечности вооружения шарошечных долот.

#### **Список литературы**

1. Спивак А. И. Технология бурения нефтяных и газовых скважин /А. И. Спивак, А. Н. Попов, Т. О. Акбулатов, М. Р. Мавлютов, Р. Х. Санников, Л. А. Алексеев, Г. В. Конесев, Л. М. Левинсон, Ф. А. Агзамов, Х. И. Акчурин, Р. М. Сакаев, П. Н. Матюшин. - М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007.
2. Закиров Н. Н. Контактная прочность вооружения буровых долот // Бурение и нефть. - 2003. - № 7. - С. 46 - 47.
3. Закиров Н. Н. Анализ кинетических характеристик бурового долота / Н. Н. Закиров, Б. Л. Стеглянов, И. Н. Бородин // Известия вузов. Нефть и газ. - Тюмень: ТюмГНГУ, - 2000. - № 5. - С. 106 - 111.
4. Посташ С. А. Повышение надёжности и работоспособности шарошечных долот. - М.: Недра, 1982. - 121 с.
5. Попов А. Н. Изучение механических процессов в горных породах и пороодо-разрушающих инструментах при бурении скважин/А. Н. Попов, А. И. Спивак, Б. Н. Трушкин // Нефтяное хозяйство. - 2002 - № 11. - С. 36 - 38.
6. Спивак А. И. Разрушение горных пород при бурении скважин / А. И. Спивак, А. Н. Попов. - М.: Недра, 1994. - 261 с.
7. Фёдоров В. С. Научные основы режимов бурения. - М.: Гостоптехиздат, 1951.- 248 с.
8. Одинцов Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием / Справочник. - М.: Машиностроение, 1987. - 327 с.
9. Пути практического использования показателей механических свойств горных пород в бурении / Н. А. Жидовцев, Б. В. Байдюк, А. А. Кризук. Сб. науч. тр.- БелНИИГРИ. - Минск, 1982.- С. 3 - 11.

#### **Сведения об авторе**

**Закиров Н. Н.**, д.т.н., профессор, Тюменский государственный нефтегазовый университет, тел.: 738598

**Zakirov N. N.**, PhD, professor, Tyumen State Oil and Gas University, phone: 738598