

УДК 622.026. 3;622.233.05

Ю.П. Линенко – Мельников, канд. техн. наук

Институт сверхтвёрдых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

ОЦЕНКА СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД ПРИ ПЕРФОРАТОРНОМ БУРЕНИИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОРОНОК ПО СОСТОЯНИЮ ТВЕРДОСПЛАВНОГО ВООРУЖЕНИЯ ПОСЛЕ АМОРТИЗАЦИИ ИНСТРУМЕНТА

In the article the specified data defining the properties of rocks in a bore-hole based on the coefficient of percussion drill ability K are resulted in view of the disturbers caused by the arisen zone of residual pressure and cracks of pre-destruction; the method of the boring tool researches is offered basing on the condition of its hard-alloy supply after drilling with use of digital cameras; it is shown, that using of hard-alloy inserts of cutting type on periphery of pin bits essentially increase their resistance; mechanism of rock's destruction by pin bits is considered, which allows to improve the tool and modes of drilling.

Любой горный инструмент, тем более ударного действия, работающий не с поверхности, а в шпуре в тяжелых условиях знакопеременных циклических нагрузок, можно усовершенствовать лишь при условии соблюдения взаимосвязи в системе: свойства горных пород – инструмент, предназначенный для их разрушения, и режимов его работы. Нарушать эту взаимосвязь нельзя.

До сих пор не решена проблема оценки свойств горных пород. Известные методы их определения [1–3] не всегда соответствуют воздействию при разрушении породы. В процессе бурения шпуров на большую глубину (например, с использованием погружных перфораторов) свойства пород изменяются и не соответствуют такому известному показателю, как коэффициент крепости по шкале проф. Протодряконова (f), а также при раздавливании образцов неправильной формы (f_p) или при определении контактной прочности (P_k), так как при этом не учитываются следующие особенности перфораторного бурения: сжатие пород в шпуре на больших глубинах; блокировка торца шпура боковой стенкой; наличие в шпуре зоны остаточных напряжений и трещин предразрушения; влияние на процесс бурения упругих свойств породы, в зависимости от которых часть энергии удара отражается от нее в момент удара и пульсирует со скоростью звука между инструментом и ударником.

Для определения свойств горных пород следует выбирать метод наиболее близкий по воздействию на породу процессу, для которого он используется [4]. В этом отношении наиболее представительной является классификация горных пород, разработанная Н. Н. Гапеевым [5]. Однако она предложена для лезвийных коронок и слабо приемлема для штыревых.

Для современных условий бурения с использованием штыревых коронок с некоторыми уточнениями предложен метод определения свойств горных пород [6], который позволяющий получать их непосредственно при бурении с ударной нагрузкой, а именно $K_{y.б.}$ – коэффициент ударной буримости, который может выразится через удельную энергетику, т. е. отнесенную к площади контакта твердосплавных вставок коронки с породой, делённую на

скорость бурения, $\frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$:

$$K_{y.б.} = \frac{E \cdot n_{yд}}{F_k \cdot V_{cp} \cdot 75 \cdot 60} \quad (1)$$

где E – энергия удара перфоратора, кгс м; $n_{yд}$ – число ударов в минуту, уд/мин; F_k – площадь контакта твёрдосплавных вставок коронки с породой при завершении удара, см²; V_{cp} – средняя скорость бурения шпура, м/мин.

Коэффициент ударной буримости можно определять, при бурении, как лезвийными коронками, так и штыревыми с использованием пневмо и гидроперфораторов. Полученный коэффициент соответствует временному разрушению породы или контактной прочности, но определяется непосредственно в шпуре с учетом всех факторов бурения, особенно ослабления прочности породы из-за трещин предразрушения и влияния боковой стенки шпура.

Площадь контакта твердосплавных вставок коронки с породой при завершении удара можно быть определить через глубину h_{cp} внедрения твёрдосплавных вставок в породу с учётом скорости бурения V_{cp} и частоты вращения n_{ep} коронки: $\frac{см}{об}$

$$h_{cp} = \frac{V_{cp}}{n_{ep}} \quad (2)$$

Зная h_{cp} , форму рабочей части твёрдосплавных вставок, их размеры, количество и расположение на корпусе коронки, можно определить F_k , как проекцию поверхности износа вставок на торцевую поверхность коронки.

В настоящее время эта задача существенно упрощается в связи с широким применением цифровых фотокамер, позволяющих крупным планом отснять торцевую поверхность коронки после бурения и поверхности твердосплавных вставок с последующим их планиметрированием, например, с использованием полярного планиметра ПП-М, (ТУ25 04 1613 71) или современных электронных. Этот метод значительно упрощает вычисление F_k при определении коэффициента ударной буримости $K_{y.б.}$

Показан на рис. 1 внешний вид торца коронки КНТУ 110–17 после эксплуатации. Бу-
ровым агрегатом НКР-100М с использованием погружного пневмоударника П110-РС был пробурен 31,0 погонный метр шпура по кварцитам ($f=17-18$) с временным сопротивлением разрушению 2040 кгс/см² (коэффициент ударной буримости $K_{y.б.}=31,0$) и средней скоростью бурения 60 мм/мин при энергии удара 100 Дж и частоте ударов 1620 уд/мин. [7]. На периферии коронки установлены шесть твёрдосплавных вставок с плоскими торцами режущего типа.



Рис. 1. Внешний вид торца коронки КНТУ 110 после бурения 31 п.м. по кварцитам ($f = 17 - 18$; $K_{y.б.} = 31$).

Внешний вид поверхностей износа твердосплавных вставок расположенных от периферии к центру на трёх окружностях рабочей поверхности торца коронки, показан на рис. 2.

Преимущества штыревых коронок, по сравнению с лезвийным, заключаются в том, что количество твёрдосплавных вставок в различных окружностях на корпусе коронки можно варьировать в зависимости от их радиуса расположения и свойств горных пород. В лезвийных коронках количество лезвий постоянное и расстояние между ними уменьшается к центру инструмента. В этой связи на периферии коронки происходит наибольший износ и наибольшее количество поломок. Это преимущество штыревых коронок позволило повысить их стойкость в 2-3 раза по сравнению с лезвийным инструментом. Однако им также присущ существенный недостаток, связанный с тем, что периферийные штыри со сферической или баллистической формой рабочей поверхности изначально содержат обратный конус, при увеличении которого в процессе износа коронку заклинивает в шпуре или ломаются вставки.

Этой проблема была решена в результате создания коронки типа КНТУ [8] (коронки нового технического уровня), у которой периферийные вставки не образуют со стенкой шпура обратного конуса и порода разрушается под действием напряжений сдвига [9]. Благодаря этому стойкость КНТУ в 2–3 раза выше, чем штыревых коронок. В связи с тем, что лез-

вия плоских вставок расположены вдоль окружности корпуса коронки заподлицо с ним и поверхности их износа также вытянуты вдоль корпуса, изгибающий момент от действия радиальных сил значительно меньший, чем на вставках с выступающей сферической поверхностью.



Рис. 2. Внешний вид изношенной поверхности твёрдосплавных вставок, расположенных на трех окружностях корпуса коронки от периферии к центру: а – 108мм, б – 98мм, в – 70мм.

В настоящее время в связи с трудностью исследования перфораторных буровых коронок, особенно новых конструкций, например, КНТУ полезную информацию могут дать коронки, амортизированные после бурения. По размеру, форме и расположению поверхности износа на твёрдосплавных вставках (рис. 1 и 2) можно судить об интенсивности их взаимодействия с породой, размере и направлению усилий, действующих на рабочую поверхность вставок, вызывающих поломки и износ. Результаты такого анализа приведены в таблице.

Расположение, количество, площадь поверхности износа и направления усилий, действующих на твёрдосплавные вставки коронки КНТУ 110

Диаметр окружности, мм	Длина окружности, мм	Кол-во установл. вставок шт	Длина окружн. на 1-ну вставку, мм	Площадь поверхностей износа на вставках, мм ²		Угол наклона равнодейств. на вставку, град.
				Фактическая	Проекция	
108	340	6	57	44	22	20
98	308	4	77	52	38	50
70	220	4	55	42	40	90
45	141	2	71	35	27	70

Приведенные параметры характеризуют условия работы рассматриваемых твёрдосплавных вставок. Как видно на рис. 1, 2 поверхности износа различаются как по размеру, так и по расположению. Это свидетельствует о том, что, несмотря на равное количество циклов взаимодействия вставок с породой напряжения в зоне контакта различались. Также ухудшились физико-механические свойства породы из-за трещин предразрушения, количество которых зависит от расстояния между смежными ударами каждой вставки расположенной на окружности. Для шести периферийных твёрдосплавных вставок в количестве 6 штук с плоскими торцами характерны небольшие проекции поверхности износа относительно остальных вставок с баллистической рабочей частью, хотя условия работы в угловой зоне самые сложные. Поверхности износа периферийных вставок вытянуты вдоль окружности корпуса коронки, их высота не превышает 2 мм, тогда как при использовании на периферии коронки вставок с полусферой, поверхности износа вытянуты вдоль их образующей и изначально со стенкой шпура образуют обратный конус; при этом высота поверхности износа

достигает 6 – 7 мм. Возникает изгибающий момент, что является причиной поломок этих вставок.

Равнодействующая усилий, действующая на периферийную вставку перпендикулярно к поверхности износа, направлена под углом 20° к радиусу коронки (рис. 3) вызывает напряжения сжатия в этих вставках, а с учётом того, что они не выступают из корпуса, их поломки исключаются. Трещины на одной из периферийных вставок вызваны взаимодействием с головкой твёрдосплавной вставки, скол которой произошёл во втором ряду на корпусе коронки (рис. 1). Этот скол вызван увеличением их выступания из корпуса на 3 мм в связи с непропаем и большой площадью поверхностью износа (52 мм, см. таблицу) при угле наклона равнодействующей усилия 50° (рис. 3, б). Эти вставки оказались в наиболее сложных условиях, так как они недостаточно были защищены периферийными вставками, а длина окружности, приходящаяся на одну вставку была наибольшей – 77мм. Вставки третьего и четвертого ряда находились в более благоприятных условиях. Их поверхности износа меньше (см. таблицу) а равнодействующие сил взаимодействия с породой вызывают напряжения сжатия, что исключает поломки. Форма, расположение и площадь поверхности износа (рис. 3) свидетельствуют о разных условиях взаимодействия вставок с породой. Доработка их взаимного расположения, размеров и количества в разных окружностях на головке коронки позволит усовершенствовать конструкцию и повысить его стойкость бурового инструмента.

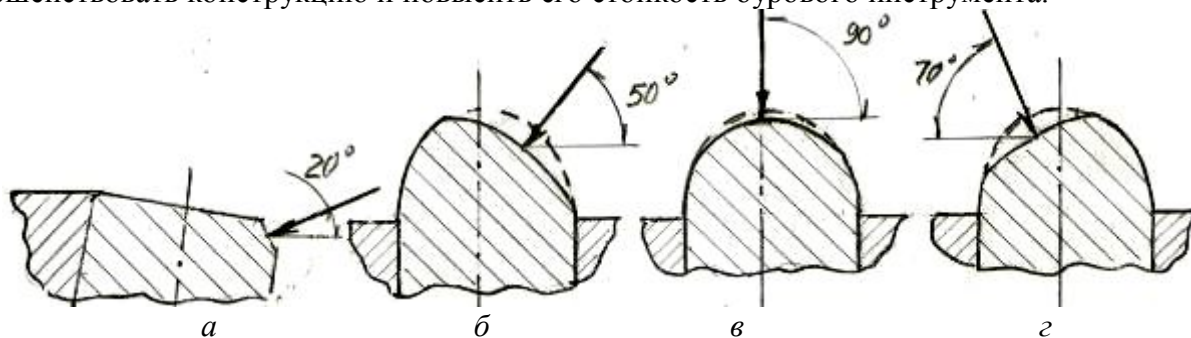


Рис. 3. Форма рабочей поверхности изношенных твердосплавных вставок в радиальном сечении, установленных от периферии к центру на четырех окружностях корпуса КНТУ 110.

Для более полного представления о работе штыревых коронок и КНТУ по сравнению с лезвийным инструментом рассмотрим взаимодействие их твердосплавного вооружения с породой. Процесс разрушения горной породы лезвийным инструментом был основательно изучен в середине прошлого века [10 – 12]. Лезвия твердосплавных вставок, расположенные в радиальном направлении на корпусе коронки при соударении с породой вызывали в основном боковые сколы, т. е. разрушение происходило по схеме сжатие – сжатие – сжатие – растяжение. Таким образом, основным видом деформации горной породы является сжатие, а разрушение происходит в результате дробления и смятия, развития трещин и частично за счет скола. Штыревые коронки со сферическими вставками позволяют повысить эффективность бурения, так как осуществляют реализацию не только деформации сжатия, но и растяжения, сдвига и изгиба. В этом случае порода разрушается по схеме сжатие – растяжение – сжатие – растяжение. Наибольший эффект достигается при использовании, как в рассмотренном случае, коронок КНТУ, где на периферии инструмента установлены твёрдосплавные вставки режущего типа [9], обеспечивающие разрушение породы в наиболее опасной с учётом больших отжимных усилий угловой зоны с преобладанием напряжений сдвига, а не сжатия. При этом расположение лезвий вдоль корпуса коронки по её периферии, как было показано ранее, позволяет увеличить поверхность скола при минимальной площади контакта с боковой поверхностью шпура.

Схемы механизма разрушения породы в шпуре твердосплавными вставками со сферической рабочей частью, установленными на корпусе коронки, при энергии удара, обеспечивающей образование зоны уплотнения (ядра) показаны на рис 4. Расстояние L (рис. 4, а)

между окружностями расположения вставок берется примерно равным диаметру штыря, а расстояние l (Рис. 4, б) между смежными ударами вдоль окружности определяется в зависимости от частоты ударов пневмоударника и частоты вращения коронки с учетом диаметра расположения вставки на головке корпуса [13]. В процессе бурения вставки движутся по винтовой линии с углом наклона α , величина который определяется по формулу, град:

$$\alpha = \arctg \frac{V_n}{V_{сп}} \quad (3)$$

где V_n – скорость подачи, мм/мин; $V_{сп}$ –линейная скорость движения вставки по своей окружности, мм/мин.

При бурении, как было показано ранее, крепость породы в шпуре нарушается из-за наличия зоны остаточных напряжений и трещинами предразрушения и ее фактические свойства целесообразно определять по коэффициенту ударной буримости $K_{у.б.}$ (1), так как он наиболее близок к процессу, для которого используется.

При внедрении вставок 1 (рис. 4) в породу после мелких сколов осуществляется их плотное контактирование. Энергия удара остаётся довольно большой, и процесс внедрения продолжается. Образуется ядро уплотнения 2, напряжение в котором вызывает образование трещин предразрушения 3 и зоны растяжения 4 с выколом участков породы. Под поверхностью скола остается зона остаточных напряжений 5. Эта зона и трещины предразрушения при последующих ударах коронки о забой позволяют частично использовать ранее затраченную энергию и повысить эффективность бурения. Важную роль при бурении играет расстояние l между смежными ударами твёрдосплавных вставок расположенными на одной окружности, которая зависит от основных режимов бурения. Если расстояние небольшое порода переизмельчается. При значительном расстоянии влияние трещин предразрушения и зоны остаточных напряжений мало, что снижает глубину проникновения твердосплавных вставок в породу и скорость бурения. Для конкретных условий работы и конструкции инструмента необходимо находить оптимальные режимы работы, что позволит повысить скорость бурения и стойкость инструмента.

Выводы

1. Определение свойств горных пород непосредственно в процессе бурения по предлагаемому коэффициенту ударной буримости $K_{у.б.}$ позволит этот коэффициент наиболее полно учесть фактическое состояние разрушаемой породы, так как наиболее близок к тому процессу, для которого используется.

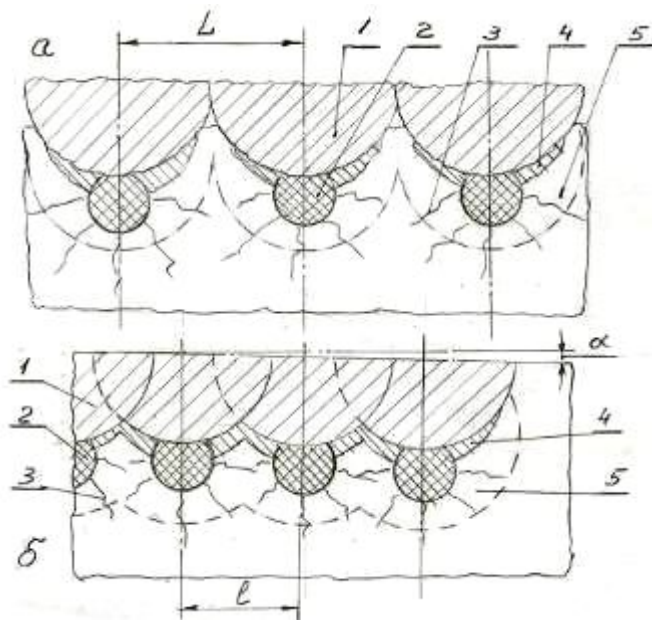


Рис. 4. Схемы механизма разрушения породы в шпуре твёрдосплавными вставками КНТУ при сечении: а – радиальном и б – сечении вдоль направления вращения, где 1 – вставка, 2 – зона уплотнения (ядро), 3 – трещина предразрушения, 4 – зона растяжения (сколы породы), 5 – зона остаточных напряжений, L – расстояние между кольцевыми канавками на торце шпура, l – расстояние между смежными ударами по окружности одной вставки, α – угол подачи по винтовой линии.

2. Предложенный метод исследования буровых коронок по состоянию их твердосплавного вооружения после бурения с использованием цифровых фотокамер позволяет оценить конструкцию инструмента с учетом свойств породы и режимов бурения.

3. Показано, что применение предложенных твердосплавных вставок режущего типа имеет существенное преимущество по сравнению с известными сферическими вставками.

4. Рассмотренный механизм разрушения породы в радиальном и продольном направлениях на торце шпура позволяет совершенствовать буровой инструмент и режимы бурения.

Литература

1. Любимов Н. Н., Носенко Л. И. Справочник по физико-механическим параметрам горных пород рудных районов. – М.: «Недра», 1978. – 286с.
2. Барон Л. И., Глатман Л. Б. Методика испытания горных пород на контактную прочность. ИГД им. А. А. Скочинского. – М, 1961. – 11с.
3. Спивак А. И. Механика горных пород. – М.: «Недра», 1967. – 192 с.
4. Эйгелес Р. М. О методике изучения свойств горных пород при динамическом воздействии на них. – «Механические свойства горных пород», Сб. статей - М.: Изд. ИГД АН СССР, 1959. – С. 78 – 83.
5. Гапеев Н. Н. Единая классификация горных пород по буримости «Взрывное дело». Сб. 53/13. – М.: «Недра», 1964. – С. 5 – 12
6. Линенко – Мельников Ю. П. Оценка свойств горных пород при перфораторном бурении// Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения.: Сб. науч. трудов. – К: Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, - 2003. – С. 315 – 319.
7. Бурлыка Е. А., Алексеенко В. Ф., Линенко – Мельников Ю. П. Проблемы реализации новых научно – технических разработок буровой техники в условиях рыночной экономики на Украине на примере сотрудничества АОЗТ «Укрмашпром» и ИСМ НАН Украины // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения.: Сб. науч. трудов. – К.: Изд.- во им. В. Н. Бакуля, НАН Украины, - 2003. – С. 10 – 16.
8. Патент № 23749, Украина, МКИ E21 В 10/13, 10/46. Буровой инструмент ударного действия Ю. П. Линенко – Мельников. – Опубл. 16. 07. 2001, Бюл. № 6.
9. Линенко – Мельников Ю. П. К вопросу о механизме разрушения горных пород применительно к штыревым коронкам. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. трудов-К: Изд-во ИСМ им. В. Н. Бакуля, НАН Украины, - 2003. – С. 273 – 279.
10. Иванов К. И., Варич М. С., Дусев В. И., Андреев В.Д. Техника бурения при разработке полезных ископаемых. – М.: Недра, 1974. – 408 с.
11. Бабенков И. С., Хесин Г.Л., Иванов К. И. Передача импульсов напряжений из бурового инструмента в породу // « Взрывное дело». Сб. 56/13. – М.: «Недра», 1964. – С. 33 – 43.
12. Латышев В. А., Пашков А.Д. О механизме разрушения горных пород при ударно – поворотном бурении. «Взрывное дело». Сб. 56/13. – М.: «Недра», 1964. – С. 12 – 18.
13. Линенко – Мельников Ю. П. Влияние условий бурения и взаимодействия твёрдосплавных вставок коронок ударно – вращательного действия с породой на скорость бурения. // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения.: Сб. науч. трудов. – К: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины, 2007. – С. 98 – 102.

Поступила 25.05.09