

УДК 622.24 (085). (477.62)

А. М. Исонкин, канд. техн. наук

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

ХАРАКТЕР И СТЕПЕНЬ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЧАСТИЦ ШЛАМА РАЗРУШЕННОЙ ГОРНОЙ ПОРОДЫ НА МАТРИЦУ АЛМАЗНОЙ БУРОВОЙ КОРОНКИ

The results of assessing the nature and extent of deformation of the matrix material of diamond drill bit cuttings particles destroyed of the rock are resulted

При изучении трибосопряжения «буровая коронка – шлам – горная порода» и выборе композиционных алмазосодержащих материалов матрицы для обеспечения их эффективной работы возникает необходимость оценки гранулометрического состава шлама разрушенной горной породы, а также характера и степени воздействия его частиц на рабочую поверхность породоразрушающего инструмента. Однако при этом невозможно обеспечить полную исходную информацию, поскольку недостаточно изучено физическое содержание протекающих на фрикционном контакте процессов, особенно для новых классов композиционных алмазосодержащих материалов, а также неизвестны математическое описание процесса изнашивания и методы его решения.

Цель работы, результаты которой отражены в настоящей статье, состояла в оценке гранулометрического состава шлама разрушаемой горной породы и влияния прочностных характеристик ее частиц на степень их воздействия на рабочую поверхность буровой коронки.

В качестве объектов исследования выбрали буровые коронки типа БА-30 диаметром 59 мм с алмазонасной матрицей, выполненной на основе адгезионно-активных относительно алмазов связок. Объемный алмазонасный слой коронок оснастили взятыми из одной исходной партии синтетическими монокристаллическими алмазами марки АС125 зернистостью 250/200 мкм.

Шлам отбирали с помощью устройства пакерного типа в процессе бурения скважин в коростышевском граните X категории буримости при принудительной механической подаче инструмента, которую обеспечивал специальный буровой стенд на базе радиально-сверлильного станка модели 2Н-55. В качестве промывочной жидкости использовали техническую воду, расход которой составил 15 дм³/мин.

В проанализированных пробах (см. табл.) преобладают мелкие зерна фракции шлама. Например, содержание в пробах частиц размером 1–15 мкм составляют около 70 %. При этом с увеличением зернистости частиц шлама их доля в пробах резко снижается. Так, доля частиц размерами более 50 мкм не превышает 6 %. Преобладание в пробах мелких частиц свидетельствует об их дроблении при расклинивании и дальнейшем пассивном выведении из зазора между матрицей коронки и забоем скважины.

С использованием методов математической статистики на ПЭВМ с достаточной достоверностью установлено, что гранулометрический состав шлама коростышевского гранита подчиняется диффузионному немономонному закону распределения, согласно которому функция плотности вероятности размеров выражается зависимостью

$$P(x) = \frac{1}{x\epsilon} \exp \left[\frac{-(x - \epsilon)^2}{2\zeta^2 \epsilon^2 x} \right] = \frac{1}{0,346 x \sqrt{6,28 x}} \exp \left[\frac{-(x - 12,22)^2}{35,78 x} \right], \quad (1)$$

где x , η , ϵ - параметры распределения

По приведенному закону распределения можно установить количество частиц шлама горной породы, активно участвующих в деформировании и изнашивании матрицы буровых

коронки, при условии определения зазора между поверхностями рабочего торца коронки и забоем скважины, неразрывно связанного с высотой выступа алмазов из матрицы.

Минимальный размер D_{\min} частиц шлама, активно взаимодействующих с матрицей коронки и деформирующих ее материал, соизмерим с зазором между рабочим торцом коронки и забоем скважины и рассчитывается по формуле

$$D_{\min} = \Delta = H_{\max} - R_{\max}, \quad (2)$$

где Δ – зазор между рабочим торцом коронки и забоем скважины; H_{\max} , R_{\max} – максимальная высота профиля выступающих из матрицы алмазных зерен и выступов разрушаемой горной породы соответственно (шероховатость поверхности по ГОСТ 252142-82).

Для алмазов зернистостью 250/200 мкм $H_{\max} \leq 125$ мкм, т. е. не превышает половины диаметра алмазного зерна, что подтверждается данными замеров. При бурении гранита коронками, оснащенными синтетическими монокристаллическими алмазами зернистостью 250/200 мкм, в среднем $R_{\max} = 80$ мкм [1].

При этом доля частиц шлама $N_{\text{шл}}$, способных активно воздействовать на материал матрицы, рассчитывается по формуле

$$N_{\text{шл}} = \int_{D_{\min}}^{D_{\max}} P(D_{\text{шл}}) dD_{\text{шл}} \quad (3)$$

где D_{\max} , D_{\min} – максимальный и минимальный, соизмеримый с величиной зазора Δ между матрицей и забоем скважины, размер частиц шлама соответственно; $P(D_{\text{шл}})$ – плотность вероятности размеров частиц шлама, выраженная вероятностным законом распределения (1).

С уменьшением зазора между матрицей коронки и забоем скважины резко увеличивается доля частиц шлама, активно участвующих в деформировании материала матрицы. Например, уменьшение зазора с 50 до 40 мкм, т. е. на 20 %, приводит к увеличению доли активно воздействующих частиц в 2,03 раза, а уменьшение зазора с 50 до 30 мкм, т. е. на 40 %, – к увеличению доли таких частиц уже в 4,2 раза.

Результаты анализа представлений о процессе контактирования импрегнированных буровых коронок с горной породой на забое скважины показали, что на износ их матриц существенно влияет не только гранулометрический состав, но и прочность частиц шлама, определяющая степень их воздействия на рабочую поверхность инструмента.

Разрушенный поверхностный слой материала матрицы частицами шлама состоит из множества повреждений его микрообъемов в виде выдавленных царапин (рис. 1).



Рис. 1. Характерный вид износа материала матрицы алмазной буровой коронки

Для определения условий взаимодействия частиц шлама с материалом матрицы и возникающих при этом контактных напряжений в системе «буровая коронка – шлам – забой скважины» воспользуемся основными положениями трибологии. Учитывая, что кинематическое состояние взаимодействия абразивных частиц шлама разрушенной горной породы с

поверхностью рабочего торца буровой коронки влияет на площадь фактического контакта и относительный износ, для решения поставленной задачи воспользуемся методом, развитым Е. М. Михиным. Согласно этому методу при определении нормальных напряжений на площадке контакта сферы с плоскостью касательными напряжениями можно пренебречь и использовать отношения осесимметричной деформации [2].

Допустим, частицы шлама имеют вид сферическую форму. Выразим деформируемый объем материала матрицы через безразмерную характеристику $h_B/R_{ш}$, где h_B – глубина внедрения частицы шлама в материал матрицы; $R_{ш}$ – радиус частицы шлама. Износ сопряжения «матрица коронки – горная порода» связан с интенсивным дроблением и переизмельчением частиц шлама минерального происхождения, не упрочняющихся при механическом воздействии и имеющих характер хрупкого разрушения. В соответствии с этим предельная глубина внедрения частицы $h_{пред}$ ограничивается условиями ее прочности, и в момент разрушения (дробления) будет максимальной h_p . В момент предельного внедрения частицы шлама с учетом ее прочности $h_B = h_{пред} = h_p$.

Одним из наиболее распространенных твердых и высокоабразивных порообразующих минералов является кварц. Рассмотрим характер деформаций, возникающих на поверхности материала матрицы при внедрении в нее частиц кварца.

Механические свойства частицы кварца охарактеризуем величиной условным напряжением при разрушении $\sigma_{ш}$. При этом $\sigma_{ш}$ частиц кварца зависит от их размера и составляет 400–700 МПа [3]. В соответствии с тем, что у наиболее широко применяемых в производственных условиях матрицах коронок матрицы выполнены на основе связок твердостью 25–32 HRC (2550–2900 МПа), для предельных условий

$$\left(\frac{h_B}{R_{ш}} \right) = 0,5 \frac{\sigma_{ш}}{H_B} = \frac{700}{2 \cdot 2550} = 0,14 < \left(\frac{H_B}{R} \right)_2, \quad (4)$$

где H_B – глубина внедрения, мм; R – радиус сферического индентора, мм; $(H_B/R)_2$ – критерий перехода от пластического деформирования к микрорезанию.

В соответствии с классификацией, приведенной в [4], критерий $(H_B/R)_2$ служит характеристикой нарушения фрикционных связей и оценкой характера преобладающих деформаций при внедрении частицы шлама в материал матрицы, согласно которой из выражения (4) следует, что гидроабразивный износ поверхности матрицы коронки происходит в большей степени в результате пластического отеснения (передеформирования) материала матрицы из-за упруго-пластических деформаций. Это свидетельствует о том, что частица шлама разрушится раньше, чем будут достигнуты условия, необходимые для осуществления микрорезания ею материала матрицы.

С учетом изложенного рассмотрим подробнее стадию взаимодействия частицы шлама с рабочей поверхностью матрицы при ее расклинивании между торцом коронки и горной породой. Для этого используем модель, приведенную в работе [2].

При приложении нормальной нагрузки к частице шлама как реакции со стороны забоя скважины частица будет углубляться в материал матрицы на глубину, которая рассчитывается по формуле

$$h_B = \frac{D_{ш}}{2} \sqrt{\frac{\sigma_{ш} S_{эКВ}}{c \sigma_s}} \quad (5)$$

где $D_{ш}$ – диаметр частицы шлама; $S_{эКВ}$ – эквивалентная площадь поперечного сечения частиц шлама; c – коэффициент, учитывающий повышение несущей способности контакта частицы шлама с материалом матрицы из-за дополнительных напряжений, действующих в перпендикулярном направлении; σ_s – предел текучести материала матрицы; $c \sigma_s = HB$ – твердость материала матрицы по Бринелю.

Выразив $S_{эКВ}$ через диаметр частиц шлама в виде

$$S_{эКВ} = \sqrt[3]{V^2} = 0,65 D_{ш}^2,$$

получим

$$h_g = 0,4 D_{ш}^2 \sqrt{\frac{\sigma_{ш}}{c \sigma_s}} \quad (6)$$

Двигаясь в зазоре между поверхностями забоя скважины и рабочего торца коронки, частица шлама деформирует некоторый объем материала матрицы. В целях определения этого объема примем схему контактирования частицы с матрицей (рис. 2), которая довольно точно отражает реальные следы износа материала матрицы, подтверждаемые исследованиями микрогеометрии ее рабочей поверхности с применением электронного растрового микроскопа-микроанализатора «САМСКАН-4DV».

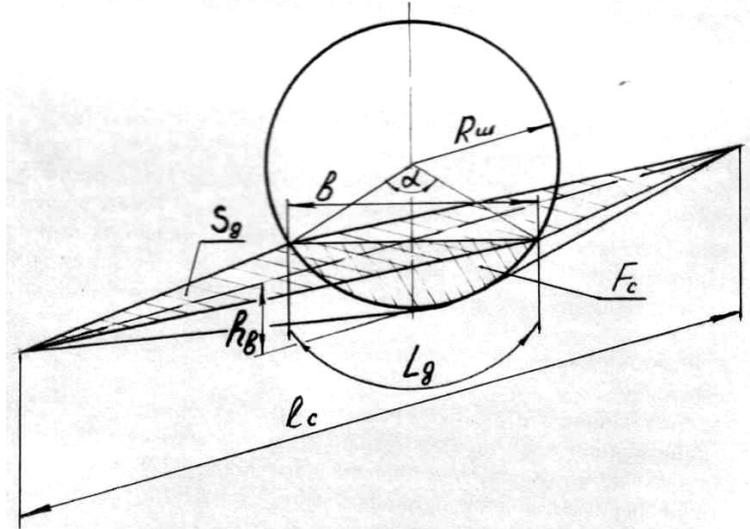


Рис. 2. Схема контактирования частицы шлама с материалом матрицы

Согласно схеме (рис. 2) предельная глубина деформирования h_d материала матрицы по высоте определяется выражением

$$h_d = \frac{V_d}{S_d} = \frac{2F_c}{3b_c l_c} = \frac{[D_{ш} l_d - b_c (D_{ш} - 2h_b)]}{6b_c}, \quad (7)$$

где: V_d – объём деформированного и отгесненного материала матрицы; S_d – площадь следа деформации на рабочем торце коронки; F_c – площадь поперечного сечения следа деформации; l_c – длина следа деформации; l_d – длина дуги контакта частицы шлама с поверхностью матрицы; b_c – ширина следа контакта

$$b_c = \sqrt{2h_b (D_{ш} - h_b)}, \quad (8)$$

$$l_d = 8,73 \times 10^{-3} D_{ш} \delta^\circ, \quad (9)$$

$$\delta^\circ = 2 \arcsin \left(\frac{b_c}{D_{ш}} \right), \quad (10)$$

где: δ° – центральный угол в град., ограничивающий дугу контакта l_d .

Представив соотношение $\frac{\sigma_{ш}}{c \sigma_s} = K_y$ как материаловедческий показатель, характери-

зующий сопротивление материала матрицы внедрению в него абразивных частиц шлама, с учетом (6), (8), (9) выражение (7) для определения предельной глубины деформирования материала матрицы в случае разрушения частицы шлама при ее расклинивании будет иметь вид

$$h_d = \frac{D_m}{6} \left\{ \frac{17,45 \cdot 10^{-3} \arcsin \left[\sqrt{K_y (1 - 0,25 K_y)} \right] - \sqrt{K_y (1 - 0,25 K_y)} (1 - 0,5 K_y)}{\sqrt{K_y} \times \sqrt{(1 - K_y)}} \right\} \quad (11)$$

Из анализа зависимости (11) следует, что глубина деформирования материала матрицы в значительной степени обусловлена геометрическими размерами частиц шлама, прочностными характеристиками частиц шлама и материала матрицы.

Зависимости предела прочности частиц шлама и глубины деформирования ими матрицы коронки от размера их зерен показаны на рис. 3.

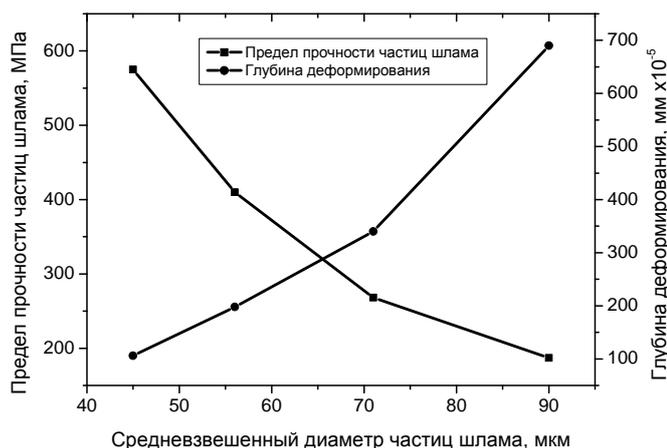


Рис. 3. Зависимость предела прочности частиц шлама и глубины деформирования ими матрицы коронки от размера их зерен

Результаты анализа приведенных данных показывают, что с увеличением размера частиц шлама их предел прочности на сжатие снижается, а глубина деформирования ими материала матрицы увеличивается. По нашему мнению, это способствует дроблению образующихся при разрушении горной породы крупных частиц шлама при их расклинивании между рабочим торцом коронки и забоем скважины и снижению вероятности дальнейшего их активного участия в деформировании матрицы, что подтверждается данными, приведенными в таблице.

Процентное содержание частиц разного размера в пробе шлама коростышевского гранита при бурении его алмазными коронками типа БА, оснащенными алмазами АС125 зернистостью 250/200мкм

Частота вращения коронки, мин ⁻¹	Углубление коронки за оборот, мкм	Процентное содержание в пробе частиц шлама размером, мкм													
		1	1,5	2	3	4	6	8	12	16	24	32	48	64	96
475	45	7,1	3,4	10,3	11,4	8,4	11,7	9,1	11,6	8,3	8,1	4,1	4,2	1,1	0,6
750	45	8,5	4,2	11,9	12,2	8,2	10,8	8,2	10,4	7,2	8,3	3,4	4,8	0,3	0,9
1180	45	8,4	4,1	11,9	12,3	8,3	11,6	9,1	11,6	7,0	7,8	2,6	3,0	0,1	1,4
475	57	7,1	4,0	11,2	12,4	7,7	11,6	7,6	10,7	6,1	9,8	3,3	6,6	0,6	0,6
750	57	7,8	4,1	11,9	11,9	7,9	10,7	8,6	11,3	7,4	7,8	3,9	4,3	0,6	1,0
1180	57	7,6	3,9	11,2	11,5	7,5	10,9	8,6	11,0	8,1	9,4	4,1	4,4	0,5	0,5
475	72	8,5	4,2	12,3	12,4	8,4	10,5	8,6	10,2	7,6	7,1	3,7	3,9	1,0	0,8
750	72	8,9	4,3	12,3	12,0	7,9	10,2	8,6	10,9	7,8	7,9	3,4	3,9	0,4	0,7
1180	72	7,5	3,8	11,3	11,5	7,8	10,6	8,8	11,8	8,3	8,9	3,7	4,1	0,3	0,8

Выводы

Износ сопряжения «матрица коронки – горная порода» связан с интенсивным дроблением и переизмельчением частиц шлама минерального происхождения, не упрочняющихся при механическом воздействии и имеющих характер хрупкого разрушения.

При бурении алмазными коронками образуется шлам горной породы различной зернистости, в котором преобладают мелкие зерна фракции. При этом частицы шлама крупного размера, соизмеримого с высотой выступания алмазов, имеют высокую степень вероятности расклиниваться между забоем скважины и рабочим торцом коронки и активно деформировать мягкий материал матрицы. Снижение предела прочности на сжатие частиц шлама с увеличением их размера способствует дроблению образующихся при разрушении горной породы крупных частиц шлама при их расклинивании между рабочим торцом коронки и забоем скважины и снижению вероятности их дальнейшего активного участия в деформировании матрицы.

Определяющую роль в снижении абразивного воздействия частиц шлама играют прочностные параметры материала матрицы буровой коронки и высота выступания алмазов на ее рабочей поверхности.

Гидроабразивный износ поверхности матрицы коронки происходит в большей степени в результате пластического оттеснения (передеформирования) материала матрицы вследствие упруго-пластических деформаций. Это свидетельствует о том, что частицы шлама разрушаются раньше, чем будут достигнуты условия, необходимые для осуществления микрорезания ими материала матрицы.

Литература

1. Исонкин А. М., Богданов Р. К., Загора А. П. Эффективность разрушения горной породы буровыми коронками, оснащенными синтетическими алмазами разной прочности // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. –К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2006. – Вып. 9. – С. 21–24
2. Крагельский И. В., Добычин М. Н., Камбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
3. Хрущов М. М., Бабичев М. А. Абразивное изнашивание. – М.: Наука, 1970. – 252 с.
4. Справочник по трибологии. / Под ред. М. Хебды, А. В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1989. – 398 с.

Поступила 07.06.10

УДК 622.243

Jiang Jinguo, Professor, Exploration Machinery, **Wang Dan**, Master, Construction Machinery

Faculty of Mechanics & Electronic Information, China University of Geosciences, Wuhan, China

ANALYSIS OF DRILL PIPE TORSIONAL VIBRATION BASED ON SOFTWARE ANSYS

Буровая труба – важная часть в системе бурения скважин. Аналитическим методом трудно точно проанализировать вибрации буровой трубы в процессе бурения. Это можно осуществить с помощью программного обеспечения ANSYS. Посредством ANSYS было изучено крутильное колебание снаряда буровой трубы при условии, что глубина вертикальной скважины не превышает 2000 м. При этом не учитывалось влияние переходников и размеров коронок. В результате были получены законы влияния толщины стенки буровой трубы, длины удлинителя и буровой трубы на частоту трубы, а также модели первого-четвертого порядков для анализа крутильного колебания снаряда буровой трубы.

1. Introduction

Drill pipe is a very important part in drilling engineering. Drill pipe, is under complicated external force in complicated operation condition in the process of drilling, which come into being various intricate states such as distortion according to kinematics and dynamics [1;2]. Analytic me-