Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. ХХХУ1, 1981 г.

УДК 620.178.16 + 621.937

К РАЗРАБОТКЕ ШКАЛЫ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ОБРАБАТЫВАЕМЫХ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Г.А.СЕНЬКИН

Существующие методы и приборы для определения изнашиваемости различных материалов при трении о закрепленные и незакрепленные абразивные частички [10, 11] не учитывают потерю режущей способности абразивных зерен, изменение скорости скольжения в процессе опыта и другие факторы, влияющие на точность и стабильность получаемых результатов. Приборы аналогичного назначения для горных пород [1, 4, 5] недостаточно отвечают реальным условиям эксплуатации породоразрушающего инструмента. Известные шкалы твердости различных материалов по Моосу, Риджвею, Балларду и Биллеу [2], основанные на принципе определения относительной твердости методом взаимного царапания, не дают количественной характеристики испытываемых материалов. В настоящей работе приведены результаты исследований по уточнению шкалы твердости различных материалов методом абразивного изнашивания алмазным кругом. Изнашиваемость (в соответствии с терминологией в области трения и изнашивания по ГОСТ 16429-70) представляет собой сопротивляемость материала в сложном процессе взаимного разрушения тел, который имеет место при трении. Этот показатель можно рассматривать и как относительный критерий абразивности горных пород [11]. Износостойкость же есть величина, обратная изнашиваемости.

Существует определенная связь между механическими свойствами различных материалов и их износостойкостью [5, 10, 11]. Правильность этого положения была экспериментально подтверждена нами ранее, когда была доказана корреляционная связь между износостойкостью некоторых режущих материалов (твердого сплава, заготовок кубического нитрида бора и др.) и их работоспособностью в режущем и буровом инструментах [6, 7].

На первом этапе были проведены сравнительные испытания износостойкости различных режущих материалов и горных пород при абразивном изнашивании их алмазным кругом на приборе ИМ-1 [8]. Коэффициент вариации измерения износостойкости указанных материалов составил 8-12 %, что позволило рекомендовать применение данного метода для практического использования [9].

Дальнейшие исследования проводились с использованием образцов различных режущих материалов и горных пород применительно к процессу их алмазной обработки. Образцы режущих материалов и горных пород изготавливались в виде пластин квадратного сечения 10x10 мм или кернов диаметром ~11,5 мм, получаемых при сверлении алмазными коронками диаметром 24/12 мм. Изготовленные образцы подвергались последующей пришлифовке торцевых и боковых поверхностей алмазными кругами на универсальном заточном станке 3В642. Параллельность торцевых граней между собой и перпендикулярность к оси образца проверялись индикатором часового типа. Отклонение обычно не превышало 0,1 мм. Образцы изнашивались алмазным кругом типа АЧК 150x20x5x32 АІ6Б1-100 % при постоянных окружной скорости (20 м/с) и удельной нагрузке (39,2 Н/см^2), принятых в результате проведения предварительных испытаний. Применение алмазного круга на органической связке Б1 позволило обеспечить высокую производительность процесса изнашивания при минимальном засаливании инструмента без применения СОЖ. Путь трения за цикл (1 мин) составил ~1000 м, что обеспечило достаточную продолжительность процесса изнашивания и представительность данных опыта. Доверительные интервалы для показателя изнашиваемости различных материалов определены с надежностью 0,95. Принятие метода абразивного изнашивания алмазным кругом для оценки износостойкости горных пород было обосновано тем, что он моделирует процесс динамического разрушения пород при алмазном бурении и позволяет определять буримость горных пород [12].

Для сравнения с показателями износостойкости различных горных пород и известных режущих материалов были изготовлены образцы из новых синтетических высокотвердых материалов (композиций кубического нитрида бора производства Ленинградского абразивного завода «Ильич", алмазов марок АСПК производства Ереванского завода «Алмаз" и СВС производства ВНИИТС), которые были испытаны в идентичных условиях. Для исключения влияния масштабного фактора на процесс изнашивания, заготовки из композиций КНБ и алмаза диаметром ~4,0 мм закреплялись в специальной державке по 8 штук, что обеспечивало общую площадь изнашивания ~100 мм^2. Предварительно проводилась операция торцевой обработки заготовок различных материалов для создания плоскости, параллельной плоскости обрабатываемого алмазного круга. Для исключения влияния качества изготовления алмазного круга на результаты измерений все опыты производились при фиксированной точке отсчета. Перед каждым опытом круг правили бруском из карбида кремния.

Для сравнения износостойкости различных материалов с показателями других физико-механических свойств определялась твердость горных пород вдавливанием твердосплавного штампа на приборе УМГП-3 по ГОСТ 12288-66, минералов, металлов и сплавов вдавливанием алмазных инденторов на приборах ПМТ-3, ТК-2М по ГОСТ 9450-60 и 9013-59 и частично использовались литературные данные [3, 5, 10, 11].

Категории пород по буримости определяли прибором ВИТР-ОТ. Результаты измерений показателей физико-механических свойств испытуемых материалов (механических свойств) обрабатывались методами математической статистики.

Таблица 1

Результаты испытаний изнашиваемости различных горных пород

Горная порода	Твердость (средняя) по штампу, Н/мм^2	Категория пород по буримости	Микротвердость, Н/мм^2	Изнашиваемость, мм/мин	Износостойкость, %
Известняк	750	IУ	860±150[x]	126±11	7,9
Руда сульфидная	1000	У	940±160	119±10	8,4
Мрамор мелкозернистый	1500	У1	1120±180	101±10	9,9
Сланец хлоритовый	1500	У1	1310±200	98±9	10,2
Руда гематитовая	2500	УП	2640±300	84±8	11,8
Руда апатито-нефелиновая	2500	УП	3150±400	72±7	13,7
Микроклин	3500	УШ	4150±500	64±6	15,6
Лабрадорит	3500	УШ	4300±550	59±7	17,0
Роговик амфиболовый	4500	IX	4720±800	58±7	17,2
Алевролит окремненный	4500	IX	4900±850	52±6	18,8
Габбро-диабаз	5500	X	5800±1000	45±5	22,2
Джеспилит	6500	X1	6500±1200	42±5	23,3
Кремень	6500	X1	6800±1400	41±4	24,4
Кварцит	6500	X1	6850±1500	38±5	26,2
Кварцит гематито-мартитовый	7000	XII	8600±1800	19±4	51,8
Яшма	7000	XII	9150±1900	18±3	55,8
Корунд	7000	XII	10500±2000	16±2	62,6

[x] 90 % - доверительный интервал.

Износостойкость материалов $И_М$ определялась по формуле:

$$И_М = И_Э \frac{l_Э}{l_М} , \qquad (I)$$

где $И_Э$ - износостойкость эталона из сплава ВК8, принятая за I00 %; $l_Э$, $l_М$ - изнашиваемость (линейный износ) соответственно эталона и испытуемого материала, мм/мин.

При проведении опытов в указанных условиях (считая $И_Э$ = I00, $l_Э$ = = I0,0) формула (I) примет вид:

$$И_М = 10^3 \, l_М^{-1} . \qquad (2)$$

Для определения сравнительной износостойкости синтетических высокотвердых материалов (заготовок КНБ и алмаза) и природных алмазов определяли удельный расход алмазов чашечного круга линейным способом. Для этого измеряли высоту круга в четырех сечениях (три точки в каждом сечении) до и после опыта индикатором типа ИИГМ с точностью до 0,00I мм. За время

Таблица 2

Шкала износостойкости материалов

Материал	Показатель твердости			Изнашиваемость, мм/мин	Износостойкость, %	Коэффициент износостойкости
	по Моосу	по Риджвею	микротвердость, $Н/мм^2$			
Тальк	1	1	20	$\geqslant 10000$	$\leqslant 0,1$	0,01
Гипс	2	2	300	960 ± 80	1,0	0,1
Кальцит	3	3	1090	320 ± 50	3,0	0,3
Флюорит	4	4	1890	205 ± 25	5,0	0,5
Мрамор	–	–	2120	101 ± 18	10,0	1,0
Апатит	5	5	5360	68 ± 10	15,0	1,5
Сталь Ст.3	–	5	5200	64 ± 9	15,6	1,56
Ортоклаз	6	6	6700	48 ± 8	20,8	2,1
Сталь У8	–	6	8100	39 ± 7	25,6	2,56
Стекло кварцевое	–	7	9600	38 ± 8	26,4	2,64
Кремень	–	8	9850	36 ± 6	27,8	2,78
Кварц кристаллический	7	8	10250	33 ± 7	30,3	3,0
Закаленная сталь Р18	–	9	10330	27 ± 6	37,0	3,7
Халцедон	–	–	10800	23 ± 5	43,5	4,35
Топаз	8	9	12500	22 ± 4	45,6	4,56
Корунд	9	–	14260	16 ± 2	63	6,3
Гранат	–	10	14350	$14,5 \pm 1,5$	69	6,9
Цирконий	–	11	–	$12,8 \pm 1,2$	78	7,8
Твердые сплавы						
ВК8	–	12	16000	$10,1 \pm 1,0$	100	10,0
Т15К6	–	12	17000	$9,4 \pm 0,9$	106	10,6
Минералокерамика						
ЦМ332	–	–	$(1,7-2,4) \cdot 10^4$	$8,7 \pm 0,8$	115	11,5
НС20М	–	–	$(1,7-2,4) \cdot 10^4$	$8,6 \pm 0,8$	116	11,6
Электрокорунд	9,1	12	$(1,9-2,7) \cdot 10^4$	$8,3 \pm 0,7$	121	12,1
Карбид кремния	9,2	13	$(2,8-3,5) \cdot 10^4$	$6,8 \pm 0,6$	148	14,8
Карбид бора	9,3	14	$(3,7-4,5) \cdot 10^4$	–	–	–
Композиции КНБ						
05	–	–	$(5,0-7,5) \cdot 10^4$	$4,8 \pm 0,5$	208	20,8
01	–	–		$4,0 \pm 0,4$	250	25,0
Композиции алмаза						
АСПК	–	–	$(8-12) \cdot 10^4$	$3,2 \pm 0,3^x$	312	31,2
СВС	–	–		$3,0 \pm 0,2^x$	334	33,4
Алмаз природный	10	15	$(8-15) \cdot 10^4$	–	300–400	30–40

^{x} Время цикла 10 с при постоянной правке круга абразивным бруском.

Таблица 3

Классификация материалов по износостойкости

Класс	Характеристика материалов по износостойкости	Износостойкость, %	Категория по износостойкости	Характерные материалы
1	Малоизносостойкие	⩽1,0	I	Известняки, сульфидные руды, аргиллиты, мраморы, сланцы
		1–5	II	
		5–10	III	
2	Среднеизносостойкие	10–15	IУ	Окремненные известняки, алевролиты, роговики, лабрадориты, габбро-диабазы, джеспилиты
		15–20	У	
		20–25	У1	
3	Повышенно-износостойкие	25–30	УII	Песчаники, кремни, порфириты, диориты, гнейсы, сиениты
		30–40	УIII	
		40–50	IX	
4	Высокоизносостойкие	50–60	X	Кварциты, яшмы, корундосодержащие горные породы, твердые сплавы (ВК и ТК)
		60–75	X1	
		75–100	XII	
5	Сверхизносостойкие	100–150	XIII	Минералокерамика, композиции твердого сплава и алмаза, композиции КНБ, композиции алмаза
		150–250	X1У	
		>250	XУ	

испытаний одного вида материала удельный расход измеряли три раза и затем определяли его среднее значение. Результаты испытаний приведены в табл.I.

По литературным данным [6-9, I2] и результатам дополнительных исследований была разработана шкала износостойкости обрабатываемых и инструментальных материалов (табл.2).

Износостойкость материала зависит в основном от его твердости (микротвердости). Например, износостойкость кальцита твердостью I000 Н/мм^2 в 20 раз ниже износостойкости корунда твердостью ~I5000 Н/мм^2. Существенное влияние оказывает состав и микроструктура материала. Износостойкость кварцита, имеющего сливную структуру (скрытокристаллическую), примерно на 20 % выше износостойкости кристаллического кварца, несмотря на то, что микротвердость этих материалов практически одинакова. Разброс значений износостойкости различных материалов при обработке их алмазным кругом не превышал I5–20 %, что говорит о бо́льшей точности и стабильности получаемых результатов по сравнению с существующей методикой [I, 5, I0, II], где разброс нередко превышает 40–50 %. По результатам исследований (приняв за единицу показателя износостойкости линейный износ образца I00 мм/мин) определены коэффициенты износостойкости различных горных пород и эталонных материалов по шкалам Мооса и Риджвея, которые, таким образом, являются частными случаями предлагаемой общей шкалы износостойкости. На основании предложенной шкалы разработана единая классификация обрабатываемых и обрабатывающих материалов по износостойкости (табл.3). Данная

классификация состоит из 5 классов материалов, подразделенных на I5 категорий по износостойкости, из которых I-XI категории составляют горные породы и другие обрабатываемые материалы (качественно совпадающие с I0-балльной шкалой по крепости М.М.Протодьяконова и I2-балльной шкалой по твердости и буримости горных пород) и XII-XУ категории - различные режущие композиционные материалы. По мере накопления данных по изучению изнашиваемости различных природных и искусственных материалов, в том числе разновидностей высокотвердых материалов на основе кубического нитрида бора и алмаза, предложенная классификация будет уточнена и дополнена.

Данная классификация позволяет определить направления совершенствования новых композиционных материалов, обеспечивает возможность анализа и систематизации предлагаемых технических решений с целью обобщения и отбора лучших из них при конструировании породоразрушающего инструмента и назначения научно обоснованных технологических режимов работы в различных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барон Л.И., Кузнецов А.В. Абразивность горных пород при добывании. М., Академиздат, 1961.

2. Ипполитов Г.М. Абразивные инструменты и их эксплуатация. М., Машгиз, 1955.

3. Исследование твердости синтетического поликристаллического алмаза / Крапошина А.Б., Поздняков В.В., Семенов А.П. и др. - В кн.: Новое в области испытаний на микротвердость. М., Наука, 1974.

4. Любимов Н.И. Принципы классификации и эффективного разрушения горных пород при разведочном бурении. М., Недра, 1967.

5. Механические и абразивные свойства горных пород / Шнейнер Л.А., Петрова О.П., Якушев В.П. и др. М., Гостоптехиздат, 1958.

6. Сенькин Г.А., Горшков Л.К., Пономаренко В.А. Исследование зависимости стойкости резцов из КНБ от физико-механических свойств и износостойкости заготовок. - Изв. вузов, Горный журнал, 1976, № 9.

7. Сенькин Г.А., Горшков Л.К. Влияние механических свойств заготовок эльбора марки ЛР на работоспособность породоразрушающего инструмента. - В кн.: Абразивы, М., изд. НИИМАШ, 1972, № 2.

8. Сенькин Г.А. Прибор для определения шлифуемости режущих материалов. - В кн.: Абразивы. М., изд. НИИМАШ, 1971, № 1.

9. Сенькин Г.А., Оношко Ю.А. Сравнительная оценка изнашиваемости горных пород и режущих материалов. - В кн.: Методика и техника разведки, Л., изд. ВИТР, 1977, № 108.

10. Тененбаум М.М. Износостойкость конструкционных материалов при абразивном изнашивании. М., Машиностроение, 1966.

11. Хрущов М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. М., Наука, 1970.

12. Шамшев Ф.А., Сенькин Г.А., Горшков Л.К. О применении алмазных кругов для определения буримости горных пород. - Разведка и охрана недр, 1970, № 11.