

1.7. АБРАЗИВНІСТЬ ГІРСЬКИХ ПОРІД

Під абразивністю гірських порід розуміють їх здатність зношувати метали в процесі тертя. Зношування — це процес поступової зміни форми і розмірів деталі або інструменту при виконанні роботи. Результат зношування, який проявляється у вигляді відділення частинок або залишкової деформації матеріалу, називається *зносом*.

Фізичною причиною абразивного зносу матеріалів є робота сил тертя при взаємодії інструменту з гірською породою.

Знос на одиницю роботи сил тертя називається *інтенсивністю зношування* і визначається за формулою

$$\omega = w/A_T, \quad (1.111)$$

де w — знос у довільних одиницях вимірювання;

$A_T = fPL$ — робота сил тертя;

f — коефіцієнт тертя;

P — нормальне навантаження;

L — шлях тертя.

Формула (1.111) внаслідок непостійності коефіцієнта тертя складна в користуванні, тому часто інтенсивність зношування визначають як

$$\omega' = w/(PL). \quad (1.112)$$

Знос за одиницю часу називається *швидкістю зношування*

$$\alpha = \Delta w/\Delta t, \quad (1.113)$$

де Δw — величина зносу за час Δt .

Методи визначення абразивності гірських порід відповідно до класифікації О.М. Голубінцева поділяють на чотири групи:

1. Прямі методи визначення абразивності порід безпосереднім вимірюванням зносу робочих елементів породоруйнуючого інструменту: заміри лінійного зносу (зменшення висоти робочих елементів); заміри приросту площі контакту робочих елементів; заміри об'ємного або масового зносу робочих елементів.

2. Непрямі методи визначення абразивності порід за відносними характеристиками зносу породоруйнуючого інструменту: величина проходки до зносу інструменту; швидкість зносу породоруйнуючого інструменту; механічна швидкість буріння.

3. Лабораторні методи визначення абразивності на зразках гірських порід, що базуються на вимірюванні: твердості порід і кінематичного коефіцієнта зовнішнього тертя інструменту об породу; зносу еталонного матеріалу — різців, стержнів, дисків і т. ін.; продуктів зношування з допомогою радіоактивних індикаторів (ізотопів).

4. Лабораторні методи визначення абразивності роздроблених порід за масовим зносом еталонного матеріалу.

У лабораторних методах визначення абразивності гірських порід застосовують такі основні схеми (рис. 1.34):

1. Схема буріння-різання (рис. 1.34,а) використовується при вивченні абразивного зношування твердосплавних різців стосовно роботи озброєння ріжучо-сколюючої дії (Є.Ф. Епштейн, Н.В. Піцахчі, М.І. Любімов та ін.).

2. Схема свердління або стирання еталонних стержнів (рис. 1.34,б) застосовується для оцінки відносної абразивності гірських порід. Суть методу полягає у стиранні стержня із заданим режимом зношування при взаємодії з породою. Схему використовували М.І. Койфман, Р. Шеферд, Л.І. Барон та ін.

Абразивність гірських порід за *методом Барона—Кузнецова* визначається стиранням (свердлінням) торців циліндричного стержня із сталі «сріблянка» діаметром 8 мм до необробленої поверхні зразків гірської породи. Для рівномірного зношування стержня у різних породах в одному із його торців висвердлюють отвір діаметром 4 мм і глибиною 10—12 мм. Випробування проводять на свердильному верстаті при навантаженні 147 Н і частоті обертання 400 об/хв протягом 10 хв кожним кінцем стержня. Показник абразивності $a_{БК}$ визначають за формулою

$$a_{БК} = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n w_i, \quad (1.114)$$

де w_i — масовий знос стержня за один дослід, мг;

n — кількість дослідів на одному і тому самому зразку породи.

Фізичний зміст показника абразивності, визначеного методом Барона—Кузнецова за формулою (1.114), — це швидкість зношування в мг/10 хв.

3. Схема зношування на боковій поверхні керна (рис. 1.34,в) передбачає неперервне оновлення поверхні тертя, що підвищує чистоту і точність вимірювань.

4. Схема зношування диска (рис. 1.34,г) моделює циклічність взаємодії металу з гірською породою з неперервним охолодженням поверхні диска. Схему використовували Л.О. Шрейнер, П.С. Баландін, О.І. Співак, А.М. Попов та інші.

За *методом О.І. Співака і А.М. Попова* зразки металу диска діаметром 30 мм і шириною 2,5 мм виготовляють із долотних сталей або твердого сплаву. Випробування здійснюють на циліндричних зразках гірської породи із шліфованою поверхнею з промиванням водою. За показник абразивності $a_{СП}$ прийнята величина

$$a_{СП} = \frac{a}{N_{\Pi}}, \quad (1.115)$$

де a — швидкість зносу радіуса диска;

$N_{\Pi} = M\omega / (2\pi Rb)$ — питома потужність тертя;

M — момент тертя;

ω — кутова швидкість обертання диска;

R, b — відповідно радіус і ширина диска.

За фізичним змістом показник абразивності (1.115) — це швидкість зношування при $N_{\Pi} = 1$ Вт/мм². Досліди рекомендується проводити при $N_{\Pi} = 0,2—0,3$ Вт/мм².

Природа абразивного зносу є складною в зв'язку з різноманітним впливом багатьох факторів. Це породжує різні механізми дії, які можуть бути реалізовані одночасно або в комбінаціях. До основних факторів, що впливають на механізм абразивного зношування інструментів, належать вид і властивості контактуючих поверхонь, режим тертя, вид і властивості середовища, в якому використовують інструменти (деталі) та ін.

Властивості контактуючих поверхонь передусім характеризуються співвідношенням їх твердості і шорсткості. Досліди показують, що із збільшенням відношення p_n/p_m (p_n, p_m — мікротвердість

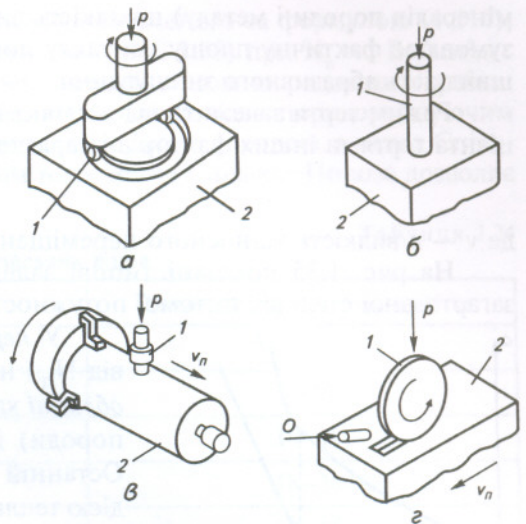


Рис. 1.34. Основні схеми лабораторних методів визначення абразивності гірських порід:

1—зразок металу; 2—зразок породи;
О—охолодження; P—навантаження на зразок;
 v_n —швидкість подачі

мінералів породи і металу) швидкість зношування зростає. Шорсткість більш твердої поверхні зумовлює фактичну площу контакту поверхні і величину контактного тиску, яка визначатиме швидкість абразивного зношування.

Режим тертя залежить від контактного тиску, швидкості відносного переміщення, коефіцієнта тертя та інших факторів і характеризується питомою потужністю тертя

$$N_{\Pi} = \frac{fPv}{S},$$

де v — швидкість відносного переміщення контактних поверхонь із площею S .

На рис. 1.35 показані типові залежності $a = a(N_{\Pi})$ швидкості абразивного зношування загартованої сталі від питомої потужності тертя. Виділені три характерні області зношування.

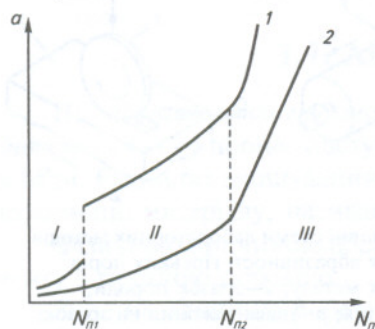


Рис. 1.35. Графіки залежності швидкості абразивного зношування сталі від питомої потужності тертя $a = a(N_{\Pi})$: 1—уламкові породи; 2—кристалічні породи; I, II, III—області зношування

У першій області швидкість зношування лінійно залежить від N_{Π} і не залежить від параметрів потужності (P , v). Для другої області характерно порушення лінійної залежності (кристалічні породи) і стрибок швидкості зношування (уламкові породи). Останній зумовлений початком зменшення твердості сталі під дією тепла тертя. Третя область спостерігається тільки при руйнуванні найбільш твердих порід і характеризується різким збільшенням швидкості зношування.

Основні характеристики середовища — це змашуюча і охолоджуюча здатність, які через коефіцієнт тертя впливають на питому потужність тертя і через температуру контактних поверхонь — на їх твердість і фізико-хімічну активність.

Відповідно до класичної теорії розрізняють знос металів, зумовлений зчепленням, корозією і абразивністю. Абразивне зношування відбувається в результаті контакту металевих поверхонь із стираючими їх частинками, тобто уламками гірських порід. Ці частинки, як правило, не фіксовані в якому-небудь місці і тому можуть переміщуватись, різати і деформувати зустрінуту ними поверхню. В процесі контакту частинки можуть розбиватись на ще дрібніші. Таким чином, характер руху, а також фізичні (форма, розмір, склад) і механічні (твердість) властивості частинок, які взаємодіють одна з одною, призводять до складних і різноманітних наслідків.

Більшість дослідників виділяють два основних механізми абразивного зносу: стирання металу при дряпанні його частинками порід і пластична деформація. Їх дія, здебільшого одночасна, але різна за інтенсивністю в залежності від умов контакту, призводить, за даними Г.С. Ейвері, до таких типів абразивного зношування: «ерозійне», шліфувальне і зношування з утворенням борозен, задирок і т. ін.

«Ерозійне» зношування виникає в результаті дряпання поверхні частинками породи, які переміщуються по дотичній і спричиняють незначну силову дію. При цьому переважає ефект мікрорізування за рахунок тонких подряпин. «Ерозійне» зношування виникає при переміщенні частинок породи під кутом до поверхні внаслідок ударів частинками і деформації поверхні з утворенням заглиблень і виступів, які підлягають наступному мікрорізуванню.

Шліфувальне зношування, або стирання під впливом високих контактних напружень, відповідає моделі абразивності з трьома тілами (частинка абразиву і дві поверхні тертя) при дії напружень такої величини, що абразив і навіть деякі складові зношуваної поверхні можуть руйнуватись. До значних за величиною деформацій, викликаних проникненням абразивних частинок перед їх руйнуванням, приєднується втома поверхні від послідовних деформацій та зношування в результаті «ерозії» через падіння частинок з ударами, а також їх переміщення.

Тип зношування з утворенням борозен і задирок належить до макрозносу поверхні тертя і виникає в результаті проникнення частинок породи одночасно з рухом по дотичній. При цьому можуть виникати високі контактні температури з розплавленням металу і т. ін. Цей тип зносу спостерігається при роботі елементів озброєння бурових доліт на вибої свердловини.

Найбільш повно абразивність гірських порід вивчена за методами Барона—Кузнецова та Співака—Попова. В табл. 1.24 і 1.25 наведені класи та категорії абразивності осадових гірських

порід за цими методами. Значення показника абразивності, визначеного за формулою (1.115), наведені у табл. 1.25 для першої і другої областей зношування (рис. 1.35) при $N_p = 1 \text{ Вт/мм}^2$.

У табл. 1.26—1.29 наведені абразивні властивості гірських порід основних родовищ України.

Вважається, що метод Барона—Кузнецова більшою мірою відповідає породоруйнующим інструментам з неперервним контактом елементів озброєння з гірською породою, а метод Співака—Попова більш придатний для шарошкових доліт. Крім того, метод Співака—Попова дозволяє різнобічно вивчати абразивність гірських порід.

Таблиця 1.24

Класи абразивності осадових гірських порід

Клас	Абразивність	Показник абразивності $a_{\text{БК}}$, мг/10 хв
I	Нижче малої абразивності	< 5
II	Малоабразивні	5—10
III	Нижче середньої абразивності	10—18
IV	Середньоабразивні	18—30
V	Вище середньої абразивності	30—45
VI	Підвищеної абразивності	45—65
VII	Високоабразивні	65—90
VIII	Дуже абразивні	> 90

Таблиця 1.25

Категорії абразивності осадових гірських порід по відношенню до загартованих сталей

Категорія	Швидкість зносу сталі (мм/год) в області зношування		Породи
	перша область	друга область	
1	< 0,006	< 0,01	Галоїдні, карбонатні і сульфатні породи без домішок кварцу і халцедону
2	0,006—0,010	0,01—0,05	
3	0,010—0,014	0,05—0,10	
4	0,014—0,018	0,10—0,20	
5	0,018—0,020	0,20—0,32	Такі самі породи з домішками кварцу і халцедону до 30%, глини, аргіліти (кварц і халцедон алевритової фракції)
6	0,020—0,023	0,32—0,50	
7	0,023—0,026	0,50—0,80	
8	0,026—0,030	0,80—1,20	
9	0,030—0,040	1,20—1,80	Карбонатні і уламкові породи з домішками кварцу і халцедону піщаної фракції, алевроліти, дрібнозернисті піщаники
10	0,040—0,060	1,80—2,60	
11	0,060—0,100	2,60—4,00	
12	> 0,100	> 4,00	Середньо- і крупнозернисті кварцові піщаники

Таблиця 1.26

Абразивність гірських порід родовищ Кримського регіону

Стратиграфічний підрозділ	Порода	Показник абразивності $a_{\text{БК}}$, мг/10 хв
Верхня крейда	Вапняк	0,4—0,7
Нижня крейда	Вапняк	0,5—1,3
	Піщаник	20,3—25,6
	Аргіліт	2,5—4,3
	Алевроліт	12,7—14,8
Верхня юра	Піщаник	37,0—46,6
	Алевроліт	6,8—8,3
	Сланець кристалічний	32,0—52,8

Абразивність гірських порід родовищ Карпатського регіону

Стратиграфічний підрозділ	Порода	Показник абразивності $a_{\text{вк}}$, мг/10 хв
Внутрішня зона Передкарпатського прогину		
Воротищенська свита	Глина соленосна Аргіліт вапнистий Аргіліт піщано-алевролітний Піщаник кварцовий різнозернистий	0,8—2,0 2,1—3,2 10,0—12,5 20,0—25,0
Поляницька свита	Аргіліт слабоалевролітний Аргіліт піщано-алевролітний Піщаник різнозернистий з глинисто-карбонатним цементом Піщаник різнозернистий з карбонатним цементом Алевроліт	1,5—2,5 12,7—13,5 20,7—23,4 33,1—35,8 27,0—30,0
Верхньоменілітова свита	Аргіліт вапнистий Піщаник туфітовий Алевроліт кварцовий	2,7—3,9 10,3—16,0 11,0—15,0
Середньоменілітова свита	Аргіліт вапнистий Аргіліт піщанистий Піщаник середньозернистий з глинисто-карбонатним цементом Алевроліт кварцовий	5,5—6,1 12,3—14,1 28,8—39,6 13,4—14,6
Нижньоменілітова свита	Аргіліт вапнистий Аргіліт піщанистий Піщаник різнозернистий Алевроліт кварцовий	0,5—5,3 12,2—19,2 10,8—34,5 42,3—46,5
Бистрицька свита	Аргіліт щільний Аргіліт вапнистий Алевроліт Піщаник середньозернистий Аргіліт піщано-алевролітний Піщаник різнозернистий	3,5—3,9 12,7—14,1 18,6—20,1 26,2—37,7 15,7—17,3 23,1—35,3
Ямненська свита	Аргіліт вапнистий Піщаник різнозернистий з карбонатним цементом	3,2—7,1 31,5—41,5
Стрийська свита	Аргіліт Мергель Алевроліт Піщаник різнозернистий з карбонатним цементом Піщаник середньозернистий з карбонатним цементом Піщаник дрібнозернистий з карбонатним цементом	3,0—4,8 2,5—3,4 17,0—25,0 23,0—35,7 19,8—37,5 5,6—7,2
Зовнішня зона Передкарпатського прогину		
Волинський горизонт	Глина Аргіліт	0,8—1,5 3,5—5,1
Конковський горизонт	Аргіліт Піщаник	2,5—3,0 16,3—25,0
Косівська свита	Аргіліт Піщаник	4,5—6,3 13,4—19,2
Крейда	Піщаник Вапняк	22,4—33,0 2,5—3,5
Юра	Піщаник Вапняк Алевроліт з кремнієвим цементом	32,0—40,0 3,0—4,5 68,0—76,0

Абразивність гірських порід родовищ Дніпровсько-Донецької западини

Стратиграфічний підрозділ	Порода	Показник абразивності $a_{\text{БК}}$, мг/10 хв
Крейда	Крейда	0,2—0,7
	Мергель	1,4—3,2
	Глина	1,2—2,0
	Пішаник	5,2—7,8
Юра	Глина	1,0—2,0
	Вапняк	0,8—2,5
	Пісок слабозцементований	8,5—15,0
	Пішаник	25,0—34,5
Тріас	Глина	0,2—0,5
	Пішаник	17,0—38,0
	Вапняк	0,7—1,5
Перм	Глина	0,4—1,2
	Аргіліт	1,5—2,7
	Пішаник	18,0—23,0
	Ангідрит	4,5—5,0
	Вапняк	3,5—5,0
Верхній карбон	Пішаник	20,0—41,5
	Аргіліт	1,3—2,7
	Алевrolіт	8,3—12,5
	Вапняк	2,3—4,7
Середній карбон	Пішаник	35,0—52,0
	Аргіліт	5,2—10,1
	Алевrolіт	12,3—17,7
	Вапняк	2,0—3,9
Нижній карбон	Аргіліт	0,8—3,0
	Алевrolіт	8,3—19,3
	Пішаник	13,0—27,0
	Вапняк	0,7—1,8

Таблиця 1.29

Абразивність гірських порід родовищ Волино-Подільської окраїни Руської платформи

Стратиграфічний підрозділ	Порода	Показник абразивності $a_{\text{БК}}$, мг/10 хв
Верхня юра	Пішаник різнозернистий	21,0—33,0
	Алевrolіт	17,0—38,5
	Вапняк	0,5—4,3
Середня юра	Алевrolіт	20,5—22,4
	Мергель	3,4—5,5
	Вапняк	1,3—4,5
Нижній карбон	Аргіліт	2,5—8,2
	Пішаник середньозернистий	31,0—66,8
	Алевrolіт	21,5—30,0
	Вапняк доломітизований	5,2—7,1
Верхній девон	Пішаник	35,0—42,3
	Алевrolіт	27,0—35,0
	Доломіт дрібнокристалічний	3,9—6,0
	Вапняк	0,5—1,2
Середній девон	Аргіліт	1,5—3,0
	Пішаник	42,0—50,1
	Доломіт	4,5—7,0
	Вапняк	2,3—3,5
Нижній девон	Аргіліт	4,3—7,2
	Пішаник	39,3—53,2
	Алевrolіт	30,4—35,6
	Гіпсоангідрит	6,7—8,2