



УДК.679.8.

*В.В. ПЕГЛОВСЬКИЙ,
кандидат технічних наук
В.І. СИДОРКО, доктор
технічних наук
В.Н. ЛЯХОВ, інженер
Науково-технологічний
алмазний концерн
"АЛКОН" НАН України
С.М. Дуб, кандидат
технічних наук
Р.С. Шмегера, аспірант
Інститут надтвердих
матеріалів
ім. В.М. Бакуля
НАН України*

Дослідження твердості напівдорогоцінного та декоративного каміння

Проведены экспериментальные исследования микротвердости около 20 видов полудрагоценных и декоративных природных камней и на основании анализа полученных результатов приведены ориентировочные соотношения твердости по Моосу и микротвердости для этих камней.

Experimental researches of microhardness are conducted about 20 types of semiprecious and decorative natural stone and on the basis of analysis of the got results reference correlations of hardness are resulted on Mohs and microhardness for these stone.

Відомо, що напівдорогоцінні та декоративні камені є гірськими породами або мінералами. Гірські породи – агрегати однакових або різних мінералів, які утворюють геологічні тіла значної протяжності, мінерали – однорідні природні неорганічні сполуки з певними фізичними властивостями та хімічним складом [4], хоча деякі властивості мінералів істотно залежать від геометричної форми кристала мінералу (габітусу), його розміру, напряму, за яким проводять дослідження, тощо.

Серед комплексу властивостей, притаманних напівдорогоцінним і декоративним каменям, їхні фізико-механічні властивості, перш за все міцнісні, відіграють найважливішу роль під час обробки і виготовлення різноманітних виробів з каменю [6, 7], а серед міцнісних властивостей найвагомішою вважають твердість [1].

Тому дослідження твердості напівдорогоцінних і декоративних видів каменю та встановлення взаємозв'язку між показниками твердості, визначеними за допомогою різних методів, є важливим завданням каменеобробного виробництва.

Твердість – це властивість матеріалу чинити опір місцевому контактному руйнуванню або крихкому руйнуванню поверхневого шару [4].

Опір такому руйнуванню для напівдорогоцінних каменів визначають методом, запропонованим німецьким мінералогом Ф. Моосом (твердість за Моосом – T_M , од.), а саме – шляхом зіставлення твердості випробовуваних та еталонних матеріалів, твердість яких відома [1, 2, 4]. Матеріал, який залишає на іншому подряпину, вважається твердішим. Еталонними матеріалами твердості шкали Мооса в діапазоні, що розглядається, є: кальцит – 3, флюорит – 4, апатит – 5, ортоклаз – 6 і кварц – 7. Хоча запропонована Ф. Моосом шкала твердості має лише цілі значення твердості, більшість дослідників каменю наводять проміжні (дробові) їх значення, спираючись лише на свій особистий досвід [1, 2, 8].

Показником твердості для декоративних каменів, разом із твердістю за Моосом, вважають мікротвердість (твердість за Вікерсом – H , ГПа). Суть визначення твердості таким методом полягає в розрахунку твердості каменю за довжиною діагоналі відбитка на

полірованій поверхні каменю від алмазної піраміди (ідентора) [5]. Мікротвердість визначають з використанням мікроскопа-мікротвердоміра типу ПМТ-3 з навантаженням у H ($1 \pm 0,05$) на алмазну піраміду з кутом при вершині 136° . Для проведення випробувань виготовляють зразки певних розмірів, фактура поверхні яких має бути полірованою або лощеною для каменів, що погано поліруються, а грані зразка мають бути паралельними. Відхилення площин протилежних поверхонь не повинне перевищувати 0,05 мм. Тривалість витримки під навантаженням складає від 5 до 10 с. Вимірювання довжини діагоналі проводять під мікроскопом. На кожному зразку проводять по десять вимірювань за двома лініями, паралельними

довгій стороні зразка. За результат вимірювання мікротвердості в певному місці зразка беруть максимальну довжину діагоналі відбитка. Мікротвердість H (ГПа) обчислюють за формулою: $H = 139.45 P / l^2$, де P – навантаження; l – довжина діагоналі відбитка (мкм).

І якщо мікротвердість і твердість еталонних мінералів шкали Мооса відомі [1, 2, 4, 6, 8], то відомості про мікротвердість більшості напівдорогоцінних та декоративних каменів у літературі практично не зустрічаються. Тому було проведено експериментальні дослідження мікротвердості багатьох (всього 13 видів) цих каменів. Отримані значення мікротвердості представлено в таблиці 1 у порядку зростання, а також наведено дані про нормальне відхилен-

Таблиця 1.
Значення мікротвердості напівдорогоцінного і декоративного каміння

№ з/п	Вид природного каменю. Родовище. Країна	Мікротвердість H , ГПа	Середнє квадратичне відхилення $\pm \sigma$, ГПа	Помилка Δ_d , %
1	Мармуровий онікс медовий. Іран	1,98	0,18	6
2	Мармуровий онікс. Карлюкське. Казахстан	2,38	0,19	6
3	Мармур "Верде Серано". Куба	3,36	0,25	6
4	Родоніт. Росія	5,03	0,07	1
5	Нефрит. Росія	5,74	1,07	16
6	Чароїт. Мурунське. Росія	6,72	0,71	8
7	Біломорит. Росія	7,43	0,76	9
8	Яшма синя. Росія	7,62	0,88	9
9	Халцедон. Джамбульське. Казахстан	8,12	0,27	3
10	Граніт. Омелянівське. Україна	8,79	0,02	0,2
11	Кварцит. Овруцьке. Україна	8,98	4,1	26
12	Яшма. Орське. Росія	9,48	2,20	18
13	Кремій. Підмосковне. Росія	11,57	0,69	5
14	Кальцит	1,55	0,64	32
15	Флюорит	1,9	–	–
16	Апатит	5,4	–	–
17	Ортоклаз	8,0	–	–
18	Кварц	11,25	1,06	7

ня проведених досліджень (σ) і похибку досліджень мікротвердості кожного виду каменю (Δ_D). Середня похибка проведених досліджень щодо всіх видів каменів складає 10 %. У таблиці, крім того, наведено значення мікротвердості еталонних мінералів шкали Мооса, які взято з літератури [1].

Як уже було зазначено вище, мікротвердість, як й інші властивості мінералів, суттєво залежить від напрямку (площини), за яким проводяться випробування. Так, за даними роботи [1], мікротвердість ряду кристалів кварцу та кальциту може відрізнятися відповідно на 7 і 32 % та ще більше при випробуваннях гірських порід (полімінеральних, полікристалічних систем), що потребує проведення значної кількості випробувань.

На рисунках 1 і 2 показано залежності мікротвердості (твердості за Вікерсом) та твердості за шкалою Мооса в натуральних значеннях (рис. 1) та відносних одиницях (рис. 2), апроксимовані лінійними функціями виду $y = kx + b$ за допомогою методів найменших квадратів [3]. Коефіцієнти регресії (k , b) для цих залежностей, а також се-

редня похибка апроксимації (Δ_A) наведені в таблиці 2 (рядки 1, 2).

Спираючись на результати проведених досліджень, можна розрахунковим шляхом отримати орієнтовні дані про відповідності значень твердості, отриманих різними методами (за шкалою Мооса та Вікерсом) для напівдорогоцінних та декоративних каменів, які допоможуть скласти уявлення про співвідношення цих показників (табл. 3).

Результати проведеної роботи з вивчення твердості напівдорогоцінних та декоративних каменів уперше дозволили отримати дані про мікротвердість більше 10 їхніх видів та зіставити твердість цих каменів, яка визначена різними методами (за Моосом та Вікерсом).

У результаті аналізу отриманих даних була встановлена орієнтовна залежність твердості напівдорогоцінних та декоративних каменів за шкалою



Годинник "Матрьошка".
Родоніт

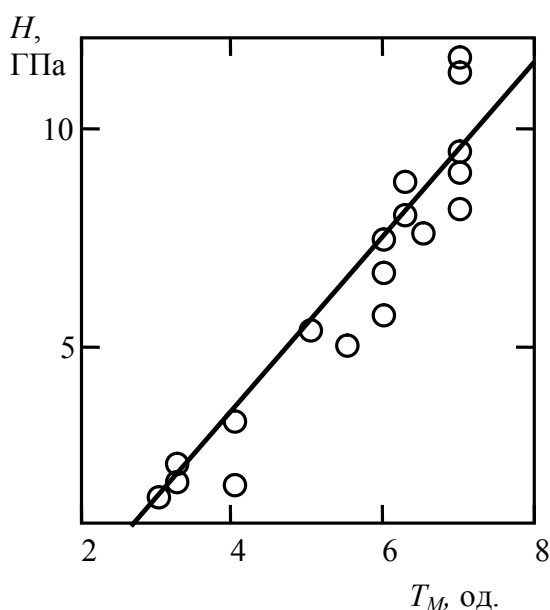


Рисунок 1. Залежність мікротвердості (H) та твердості за шкалою Мооса (T_M) в натуральних значеннях

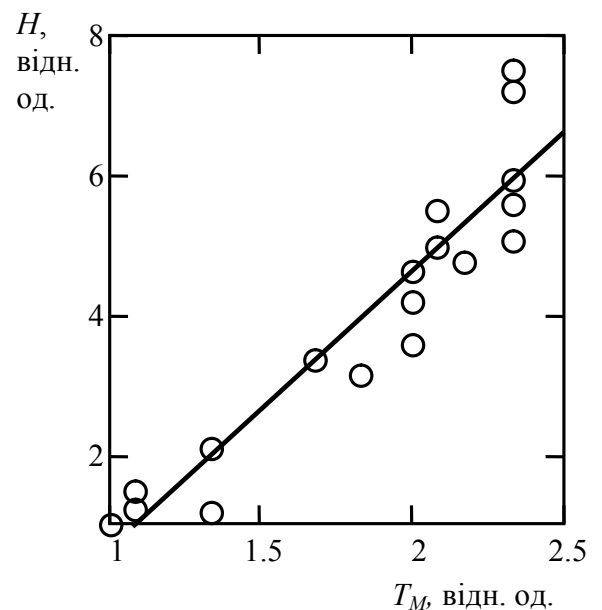


Рисунок 2. Залежність мікротвердості (H) та твердості за шкалою Мооса (T_M) у відносних одиницях

Мооса та Вікерсом як для еталонних (цілих) значень твердості за Моосом, так і для дробових їх значень.

Ці дані дають можливість на основі проведення простих досліджень

твердості за шкалою Мооса отримати орієнтовні значення мікротвердості, і навпаки, за значенням мікротвердості отримати значення твердості за шкалою Мооса.

Таблиця 2.
Коефіцієнти регресії залежності мікротвердості та твердості за шкалою Мооса

Залежність мікротвердості та твердості за шкалою Мооса	Коефіцієнти регресії		Похибка
	к	b	$\Delta_A, \%$
1. У натуральних значеннях (рис. 1)	2,087	-4,11	18,2
2. У відносних одиницях (рис. 2)	3,97	-3,31	17,4

Таблиця 3.
Орієнтовне співвідношення твердості за шкалою Мооса та мікротвердості

Твердість за Моосом	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Твердість за Вікерсом	1,7	2,7	3,7	4,8	5,8	6,9	7,9	9,0	10,0

Використана література

1. Добыча и обработка природного камня: справочник / под ред. А.Г. Смирнова. – М.: Недра, 1990. – 446 с.
2. Индутная Т.В. Полудрагоценные камни: Метод. руководство по диагностике и экспертизе. – К.: Изд-во ГГЦУ, 1997. – 44 с.
3. Кириянов Д.В. Mathcad 13. – СПб.: БВХ-Петербург, 2006. – 590 с.
4. Лидин Г.Д., Воронина Л.Д., Каплунов Д.Р. Горное дело: терминологический словарь. – М.: Недра, 1990. – 694 с.
5. Материалы и изделия облицовочные из горных пород. Методы испытаний. – [Введен от 2001-01-01]. – ГОСТ 30629–99.
6. Пегловский В.В., Сидорко В.І., Ляхов В.Н., Поталико О.М. Обработка природного камня – объективная основа його класифікації. Частина 2. Фізико-механічні властивості напівдорогоцінного та декоративного каміння // Коштовне та декоративне каміння. – 2009. – №3 (57). – С. 16–21.
7. Пегловский В.В., Сидорко В.І., Ляхов В.Н., Поталико О.М. Обработка природного камня – объективная основа його класифікації. Частина 7. Урахування сумісного впливу фізико-механічних властивостей, особливостей хімічного та мінералогічного складу природних каменів на їх оброблюваність. Побудова моделі для розрахунку оброблюваності природних каменів // Коштовне та декоративне каміння. – 2010. – №4 (62). – С. 10–15.
8. Самсонов Я.П., Туринге А.П. Самоцветы СССР. – М.: Недра, 1984. – 335 с.



Комплект сувенірний. Чароїт



Скринька. Черепашник



Комплект письмовий. Скарн



Свічники. Мармур