

3. Пат. 20674 А Україна, МПК В22F 3/14. Технологічний вузол для електроспінання алмазовміс-тких виробів / В. П. Переяслов, А. Л. Майстренко, С. А. Иванов. – Заявл. 14.03.97, Опубл. 15.10.01. Бюл. № 9.
4. Пат. 57471 А Україна, МПК В22F 3/14, В01J3/06. Технологічний вузол для електроспінання / В. П. Переяслов, С. А. Иванов, А. Л. Майстренко, Р. І. Соробей.– Заявл. 24.10.02, Опубл. 16.06.03. Бюл. № 6.
1. 5. Application of resistance sintering technique to fabrication of metal matrix composites. Maki S. et al // Journal of Materials Processing Technology. – 2001. – 119. – 210 – 215.
5. Maki S., Harada Y., Mori K. Sinter-joining of different metal powder compacts using resistance heating // Journal of Materials Processing Technology. – 2003. – 143–144. – P. 561–566.
6. Huang S., Van der Biest O., Vleugels J. Pulsed electric current sintered Fe<sub>3</sub>Al bonded WC composites // Int. Journal of Refractory Metals & Hard Materials. – 2009. – 27. – P. 1019–1023.
7. Linke Fabrication and characterization of ultra-fine grained tungsten by resistance sintering under ultra-high pressure. Z. Zhou, Y. Maa, J. Dua, J.// Materials Science and Engineering. – 2009. – A505. – P. 131–135.
8. Groza J., Zavaliangos A. Nanostrucruewd bulk solids by field activated sintering // Rev. Adv. Mat. Sci. – 2003. – 5. – P. 24–33.
9. Трехуровневая компьютерная система для прогнозирования процессов при горячем изостатическом прессовании / А. М. Лаптев, В. Н. Самаров, П. В. Васильев и др. // Порошковая металлургия. – 1996. – № 1–2. – С. 114–118.

Поступила 31.05.11

УДК 679.8

С. Н. Дуб<sup>1</sup>, канд. техн. наук, Р. С. Шмегера<sup>1</sup>, В. В. Пегловский<sup>2</sup>, канд. техн. наук, В. Н. Ляхов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

<sup>2</sup>Научно-технологический алмазный концерн «Алкон» НАН Украины, г. Киев

## ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОТВЕРДОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД И МИНЕРАЛОВ

*В результате проведенных экспериментальных исследований определены значения микротвердости около 30 видов горных пород и минералов*

**Ключевые слова:** микротвердость, горные породы, минералы.

Известно, что производительность обработки (шлифования) различных материалов в значительной степени зависит от их прочностных свойств [1], что в полной мере относится к обработке природных декоративных и полудрагоценных камней (горных пород и минералов). К основным прочностным свойствам таких камней относятся предел прочности при одноосном сжатии, твердость по шкале Мооса и микротвердость (твердость по Викерсу) [2–5]. И если предел прочности при сжатии для многих горных пород и твердость по шкале Мооса для большинства минералов известны [2; 4; 5], микротвердость определена в основном для минералов, являющихся эталонными материалами шкалы Мооса [2]. Причем этот показатель не является обязательным при диагностике и экспертизе большой группы природных камней, относящихся к полудрагоценным [4; 6].

В связи с изложенным исследование одного из основных прочностных показателей – микротвердости является актуальной задачей камнеобрабатывающего производства.

### Методика исследований

В соответствии с общепринятой терминологией горными породами называют агрегаты минералов, образующие геологические тела значительной протяженности, а минералами – однородные природные неорганические соединения, имеющие постоянные физические свойства и химический состав [7].

Одним из важных показателей, характеризующих горные породы, является минералогический состав, т. е. процентное содержание в составе горных пород различных минералов. Минералогический состав приблизительно постоянный для камня одного вида [2; 7]. Минералы с наибольшим со-

держанием в природном камне (горной породе) называют основными породообразующими, а присутствующие в малых количествах – второстепенными.

Под твердостью подразумевают свойство материала сопротивляться при местных контактных разрушениях или хрупком разрушении поверхностного слоя [7]. Сопротивление такому разрушению природных минералов и горных пород определяют, например, методом, предложенным немецким минерологом Ф. Моосом: сопоставлением твердости испытуемых и эталонных (твердость которых известна) материалов.

Другим важным показателем твердости материалов (в том числе горных пород и минералов) является твердость по Викерсу (микротвердость  $H$ , ГПа). Сущность метода ее определения заключается в определении твердости горной породы по длине диагонали отпечатка на полированной поверхности камня от алмазной пирамиды (идентора) [2–4; 7]. Твердость (по шкале Мооса и Викерсу) некоторых эталонных минералов приведена в табл. 1 [2; 7].

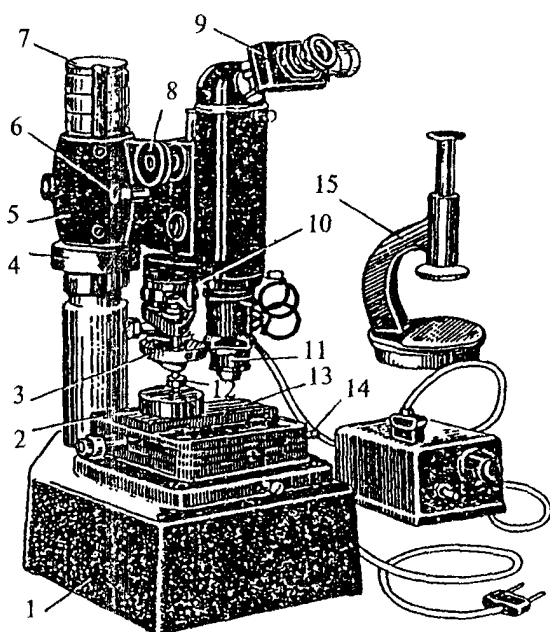
**Таблица 1. Твердость некоторых эталонных минералов**

Минерал	Твердость	
	по шкале Мооса $T_M$ , о. е.	По Викерсу $H$ , ГПа
Кальцит	3,0	1,1–2,0
Флюорит	4,0	1,9
Апатит	5,0	5,4
Ортоклаз	6,0	8,0
Кварц	7,0	10,0–12,5

Микротвердость определяют с использованием микроскопа-микротвердомера типа ПМТ-3 (см. рисунок) при нагрузке ( $1 \pm 0,05$ ) Н на алмазную пирамиду с углом при вершине  $136^\circ$ . Для проведения испытаний из горной породы изготавливают четыре образца размером  $120 \times 50 \times 10$  мм. Фактура лицевой поверхности образцов должна быть полированной или лощеной (для плохо полирующихся горных пород), грани образца параллельными.

Исследуемый образец укладывают и закрепляют так, чтобы поверхность образца располагалась параллельно рабочей плоскости стола. Продолжительность выдержки под нагрузкой составляет от 5–10 с. Затем алмазный наконечник (пирамиду) с грузом возвращают в исходное положение.

Образец устанавливают напротив микроскопа для измерения длины диагонали. Совмещая отпечаток с перекрестием, измеряют длину диагонали отпечатка. На каждом образце производят десять измерений по двум линиям, параллельным длинной стороне образца. Расстояние между линиями и первой точкой от края образца – 20 мм, между соседними точками – 10 мм.



*Общий вид прибора ПМТ-3:*

- 1 – основание прибора;
- 2 – предметный стол;
- 3 – груз;
- 4 – гайка;
- 5 – кронштейн;
- 6 – барашек микрометрического движения;
- 7 – колонна;
- 8 – барашек грубого движения;
- 9 – винтовой окулярный микрометр;
- 10 – рукоятка арретира;
- 11 – объектив;
- 12 – оправка с алмазным идентором;
- 13 – планка для закрепления исследуемого образца;
- 14 – рукоятка для поворота стола;
- 15 – ручной пресс

### Результаты и их обсуждение

В качестве результата измерения в определенной точке образца принимают длину максимальной диагонали отпечатка. Микротвердость, КПа вычисляют по формуле  $H = 139,45 P / l^2$ , где  $P$  – нагрузка;  $l$  – длина диагонали отпечатка, мкм. За результат испытания принимают среднеарифметическое значение четырех испытанных образцов. Микротвердость некоторых минералов и горных пород приведены в табл. 2 в порядке возрастания.

**Таблица 2. Микротвердость некоторых горных пород и минералов, среднее квадратичное отклонение и средняя ошибка**

№ п/п	Вид природного камня. Происхождение	Микротвердость $H$ , ГПа	Среднее квадратичное отклонение, $\sigma$	Средняя ошибка $\Delta$ , %
1	Мраморный оникс медовый. Иран	1,98	0,18	6
2	Офиокальцит. Россия	2,30	0,54	19
3	Мраморный оникс Карлюкский. Казахстан	2,38	0,19	6
4	Мрамор «Вердегватемала». Гватемала	2,76	0,15	4
5	Мрамор «Верде Серано». Куба	3,36	0,25	6
6	Серпентинит Чусовской. Россия	4,50	0,53	9
7	Родонит. Россия	5,03	0,07	1
8	Амазонит. Россия	5,28	0,53	8
9	Нефрит. Россия	5,74	1,07	16
10	Обсидиан. Армения	6,26	0,53	7
11	Окаменелое дерево Коркинское. Украина	6,58	0,29	3
12	Чароит Мурунской, Россия	6,72	0,71	8
13	Лазурит. Россия	6,74	0,34	4
14	Беломорит. Россия	7,43	0,76	9
15	Лабрадорит Головинский. Украина	7,57	0,06	1
16	Яшма синяя. Россия	7,62	0,88	9
17	Жадеит. Россия	7,63	0,55	6
18	Халцедон Джамбульский. Казахстан	8,12	0,27	3
19	Агат-переливт. Россия	8,65	0,40	5
20	Гранит Емельяновский. Украина	8,79	0,02	0,2
21	Джеспилит Криворожский. Украина	8,85	3,36	53
22	Кварцит Овручский. Украина	8,98	4,1	26
23	Агат технический. Россия	9,22	0,41	29
24	Яшма Орская. Россия	9,48	2,20	18
25	Сердолик. Россия	10,12	0,98	7
26	Кремень подмосковный. Россия	11,57	0,69	5

В табл. 2 также приведены: среднее квадратичное отклонение  $\sigma$  и средняя ошибка проведения экспериментов  $\Delta$ .

Средняя по всем материалам ошибка данных экспериментальных исследований составила около 10 %.

Следует отметить, что полученные результаты являются ориентировочными и для этих же горных пород и минералов других месторождений могут отличаться. Кроме того, достоверные результаты при использовании такого метода определения микротвердости (особенно для горных пород) будут получены только при большом количестве испытаний.

Результаты исследований микротвердости существенно зависят от минералогического состава горных пород, поскольку ближайшие измерения могут показывать микротвердость различных минералов, а микротвердость минерала одного вида зависит от геометрической формы его кристаллов (габитуса), их размеров и направления приложения нагрузки, что в данном случае не могло быть идентичным для всех испытаний.

Проанализировав основные породообразующие минералы исследованных горных пород и классы (группу, подгруппу), к которым относятся эти минералы, можно отметить следующее.

В исследованных видах мраморов и мраморных ониксов основными породообразующими минералами являются карбонаты (групп кальцита, арагонита и доломита), в серпентините – серпентин, антигорит и карбонаты, в офиокальците – известняк и офит.

Минералогический состав лабрадорита, гранита, амазонита и беломорита образован различными видами полевых шпатов (минералов класса силикатов, группы алюмосиликатов) и иногда кварцем.

Нефрит, жадеит, чароит, родонит и лазурит образованы сложными силикатами (групп амфиболов, пироксенов, пироксеноидов и фельдшпатоидов).

В кварците, обсидиане, окаменелом дереве, яшмах, кремне, джеспилите основными породообразующими минералами являются разновидности кварца (класс оксидов, группа кварца) с примесями, например, в джеспилите – кварц и гематит.

Остальные виды природных камней (минералов) относятся к подгруппам кварца (кварц морион и горный хрусталь (подгруппа горного хрусталя); Джамбульский халцедон, агат, агат-переливт и сердолик (подгруппа халцедона); кахолонг (подгруппа опала)).

#### **Выводы**

В результате исследований получили значения микротвердости большого количества природных полудрагоценных и декоративных камней (горных пород и минералов), причем около половины из них впервые (см. табл. 2). Средняя ошибка экспериментальных исследований не превышает 10 %, что ниже, чем ошибка при определении твердости по шкале Мооса, которая для этих видов горных пород и минералов может составлять 20 % и более.

Полученные результаты могут способствовать объединению различных видов природных камней по группам обрабатываемости в соответствии с особенностями их минералогического (химического) состава и прочностными свойствами (твердостью), а также быть исходными данными для выявления соотношений твердости горных пород, определенной различными методами.

Результаты проведенных исследований можно также использовать для оценки производительности и трудоемкости обработки многих видов природных камней (горных пород и минералов) на основании их микротвердости наряду с другими прочностными свойствами.

*В результаті проведених експериментальних досліджень визначені значення мікротвердості близько 30 видів гірських порід та мінералів*

*Ключові слова: мікротвердість, гірські породи, мінерали.*

*In work results of researches by definition of microhardness about 30 kinds of rocks and minerals are resulted.*

*Key words: microhardness, rocks, minerals.*

#### **Литература**

1. Маслов Е.Н. Теория шлифования материалов. – М.: Машиностроение, 1974. – 318 с.
2. Добыча и обработка природного камня: Справочник / Под ред. А.Г. Смирнова. – М.: Недра, 1990. – 446 с.
3. ГОСТ 30629-99. Материалы и изделия облицовочные из горных пород. Методы испытаний. – Введ. 01.01.01.
4. Индутная Т.В. Полудрагоценные камни: – Метод. руководство по диагностике и экспертизе. – К.: Изд-во ГГЦ МФУ, 1997:– 44 с.
5. Исследование влияния прочностных свойств природных камней на трудоемкость их алмазного шлифования / В.И. Сидорко, В.В. Пегловский, В.Н. Ляхов, Е.М. Поталыко // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технологии его изготовления и применения. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – 2009. – Вып. 12. – С 495–500.
6. Постановление Кабинета Министров Украины «Об общей классификации и оценке стоимости природного камня» от 27 июля 1994 г. № 512.
7. Лидин Г.Д., Воронина Л.Д., Каплунов Д.Р. Горное дело. Терминологический словарь. – М.: Недра, 1990. – 694 с.

*Поступила 14.04.11*