

2. Филатов Ю. Д. Полирование прецизионных поверхностей деталей из неметаллических материалов инструментом со связанным полировальным порошком // Сверхтвердые материалы. – 2008. – № 1. – С. 59–66.
3. Yashchuk Vasil P., Prygodiuk Olga. Dependence of luminescence and excitation spectra on multiply scattered dyed medium parameters // Proceeding of 9-th International Young Scientists Conference Optics and High Technology, AO35. – 2008. – P. 71.
4. Kuga Y., Ishimaru A. Retroreflectance from a dense distribution of spherical particles // J. Opt. Soc. Am. A. – 1. – P. 831–835.
5. Wolf Pierre-Etienne, Marret Georg. Weak localization and coherent backscattering of photon in disordered medium // Phys. Rev. Lett. – 1985. – V. 55. – 24. – P. 2296.
6. Tsang L., Ishimaru A. Backscattering enhancement of random discrete scatterers // J. Opt. Soc. Am. A. – 1. – P. 836–839.
7. Кравцов Ю. А., Саичев А. И.. Эффекты двукратного прохождения волн в случайно-неоднородных средах // УФН 137. – 1982. – №. 3. – С. 501–527.

Надійшла 07.05.09

УДК 679.8

В. И. Сидорко, д-р. техн. наук, **В. В. Пегловский**, канд. техн. наук,
В. Н. Ляхов, **Е. М. Поталыко**

Научно-технологический алмазный концерн «Алкон» НАН Украины, г. Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ПРИРОДНЫХ КАМНЕЙ НА ТРУДОЕМКОСТЬ ИХ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ

The complex of the properties diagnosed for the natural semiprecious is considered and decorative stones at their studying, data about influence are cited on productivity of grinding of the basic strength properties of such stones.

Введение

В камнеобрабатывающем производстве при изготовлении декоративно-художественных [1] и строительных [2] изделий из полудрагоценных и декоративных природных камней [3] для определения основных технологических показателей изделий из камней – трудоемкости, энергоемкости и др. [4] – необходимо знать зависимость трудоемкости их обработки от прочностных свойств. При этом следует отметить, что такие камни обрабатывают шлифованием с использованием преимущественно алмазного инструмента.

В этой связи исследование влияния прочностных свойств природных камней на трудоемкость их алмазного шлифования является актуальной задачей камнеобрабатывающего производства.

Методика исследований

К основным свойствам, диагностируемым у полудрагоценных камней, относятся твердость по шкале Мооса, плотность, спайность, излом, формы выделения (структура), степень прозрачности, светопреломление и двупреломление.

Кроме перечисленных свойств оцениваются такие показатели качества полудрагоценных камней: просвечиваемость, насыщенность цвета, размеры бездефектных областей, включения второстепенных минералов, трещиноватость, наличие рисунка, полихромность, контрастность рисунка, размеры текстурообразующих элементов [5].

Из перечисленных свойств природных камней на процесс их алмазной обработки влияют прежде всего твердость по шкале Мооса (T_M) и плотность (ρ_0), которые определяются в соответствии с методиками, приведенными в [5].

Твердость – это свойство материала сопротивляться при местных контактных разрушениях или хрупком разрушении поверхностного слоя [6]. Сопротивление внешнему механическому воздействию природных минералов и горных пород определяется методом, предложенным немецким минерологом Ф. Моосом: сопоставлением твердости испытуемого и эталонного (твердость которых известна) материалов.

Плотность – это масса единицы объема вещества, физическая величина. Для природных камней под этой величиной подразумевают среднюю (кажущуюся) их плотность, поскольку большинство из них горные породы, т. е. конгломераты различных минералов, характеризующиеся неоднородностью состава и свойств (имеющими поры, трещины и т. д.) [6].

На трудоемкость обработки декоративных природных камней влияют предел прочности при одноосном сжатии ($R_{сж}$) – условное напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке сжатия, предшествующей разрушению, средняя плотность (ρ_0), декоративность, водопоглощение, морозостойкость и др., а также истираемость и микротвердость [7].

Одни исследователи особое внимание уделяют микротвердости природных камней (твердости по Викерсу – Н) [8]. Этот показатель позволяет сопоставлять прочностные свойства природных минералов, и ограниченно применим для конгломератов поликристаллических систем, которыми является большинство природных камней.

Другие исследователи одной из основных характеристик природных камней считают истираемость (G) [9]. Однако этот показатель, представляет собой весовую производительность шлифования камней с использованием свободного многократно меняемого абразива (карбида кремния или кварцевого песка) без применения смазочно-охлаждающей технологической среды (СОТС) и к процессу алмазной обработки камней отношения не имеет.

В данной статье рассмотрим основные прочностные и качественные показатели природных полудрагоценных и декоративных камней: предел прочности при одноосном сжатии, твердость (по шкале Мооса и по Викерсу), среднюю плотность горной породы (качественный показатель), а также их влияние на трудоемкость алмазного шлифования.

При исследовании прочностных свойств природных камней – предела прочности при сжатии ($R_{сж}$), твердости по шкале Мооса (T_M) и Викерсу (Н) и средней плотности горной породы (ρ_0) – приводятся известные их значения [8-10], определяемые по общепринятыми методикам [5; 7].

При исследовании влияния выбранных свойств природных камней на трудоемкость шлифования использовали результаты собственных исследований [11; 12], выполненных в соответствии со способом приведенным в [13],

Исследования производительности шлифования проводили на шлифовально-полировальном станке модели ЗШП-320 при условии прохождения испытуемыми образцами пути трения 1000 м и удельном давлении 60 кПа. В качестве инструмента использовали алмазный круг типа 6А2П 150×5×40 А1 1000/800-150 М10-01.

Обработку результатов исследований проводили с применением программного пакета Mathcad 2000 Pro [14].

Результаты

Основные физико-механические свойства некоторых видов природных полудрагоценных камней, поддающихся обработке алмазным инструментом, приведены в табл. 1, а декоративных камней преимущественно украинских месторождений – в табл. 2.

Трудоемкость шлифования различных видов природных камней определяли по формуле $T = V_{ед} / Q$, где $V_{ед}$ – объем материала, износ которого принят за единицу трудоемкости шлифования $V_{ед} = 1 \text{ см}^3$. Относительную трудоемкость шлифования различных материалов

(*t*) определяли относительно трудоемкости шлифования эталонного материала, которым служил оникс Карлюкского месторождения (Казахстан) как наиболее легко обрабатываемый из камней, используемых для производства декоративно-художественных изделий [1; 13]; трудоемкость обработки оникса была принята за единицу.

Объемную производительность шлифования при анализе результатов рассчитывали по формуле: $Q = \Delta m / \rho_0$, где Q , Δm – износ образцов соответственно по объему и массе, ρ_0 – средняя плотность исследуемых образцов.

Таблица 1. Основные физико-механические свойства полудрагоценных камней

№ п/п	Вид природного камня. Месторождение	Твердость по шкале Мооса T_M , о. е.	Средняя плотность ρ_0 , г/см ³
1	Флюорит. Чибаргатское, Узбекистан	3,5–4,0	3,10–3,20
2	Лиственит. Ленинское, Россия	3,5–4,0	2,50–2,70
3	Чароит. Мурунское, Россия	5,0–5,5	2,54–2,68
4	Малахит. Высокогорское, Россия	3,5–4,0	3,75–3,95
5	Серпентинит. Чусовское, Россия	3,0–4,0	2,20–2,90
6	Офиокальцит. Россия	3,5–4,0	2,50–2,70
7	Обсидиан. Армения	5,0–5,5	2,30–2,60
8	Амазонит. Гора Плоская, Россия	6,0–6,5	2,56–2,58
9	Порфир. Шавасайское. Узбекистан	5,5–6,5	2,58–2,65
10	Родонит. Алтын-Топканское, Таджикистан	5,5–6,5	3,40–3,70
11	Яшма. Маломуйнаковское, Россия	6,0–6,5	2,58–2,91
12	Яшма. Калканское, Россия	6,0–6,5	2,58–2,91
13	Кварцит. Овруцкое, Украина	6,0–7,0	2,50–2,67
14	Кремень. Онежское, Россия	6,0–7,0	2,42–2,60
15	Халцедон. Тас-Калганское, Узбекистан	6,5–7,0	2,58–2,64
16	Халцедон. Джамбульское, Узбекистан	6,5–7,0	2,58–2,64
17	Нефрит. Кольское, Россия	6,0–6,5	2,90–3,10
18	Нефрит. Восточно-Сибирское, Россия	6,0–6,5	2,90–3,10
19	Окаменелое дерево. Коркинское, Украина	6,0–7,0	2,58–2,64
20	Жадит. Верхнее Уссурийское, Россия	6,5–7,0	3,20–3,50

Таблица 2. Основные физико-механические свойства декоративных камней.

№ п/п	Название декоративного камня. Месторождение	Средняя плотность ρ_0 , г/см ³	Прочность на сжатие $R_{сж}$, МПа
1	Мрамор. Биюк-Янкойское	269	128
2	Мрамор. Камянельское	2,66–2,69	80–140
3	Мрамор. Новоселицкое	2,68–2,68	108–153
4	Мрамор (брекчия). Зиброволужское	2,63–2,88	99–128
5	Габбро. Слипчинское	2,97	135–197
6	Лабрадорит. Каменная Печь	2,53–2,64	55–77
7	Лабрадорит. Турчинское (Новый бобрлик)	2,68	252
8	Лабрадорит. Головинское	2,84	99–154
9	Гранит. Янцевское	2,64	150–250
10	Гранит. Софиевское	2,57–2,75	101–153

11	Гранит. Гайворонское	2,58–3,20	157–333
12	Гранит. Жежеловское	2,72	204–217
13	Гранит. Корсунь-Шевченковское	2,57–2,67	100–154
14	Гранит. Александровское	2,64	270–280
15	Гранит. Коростышевское	2,60	227
16	Гранит. Корнинское	2,74	156
17	Гранит. Лезниковское	2,64	217–270
18	Гранит. Крошнянское	2,66	150–200
19	Гранит. Емельяновское	2,68	128–145
20	Гранит. Ольшаницкое	2,66	230

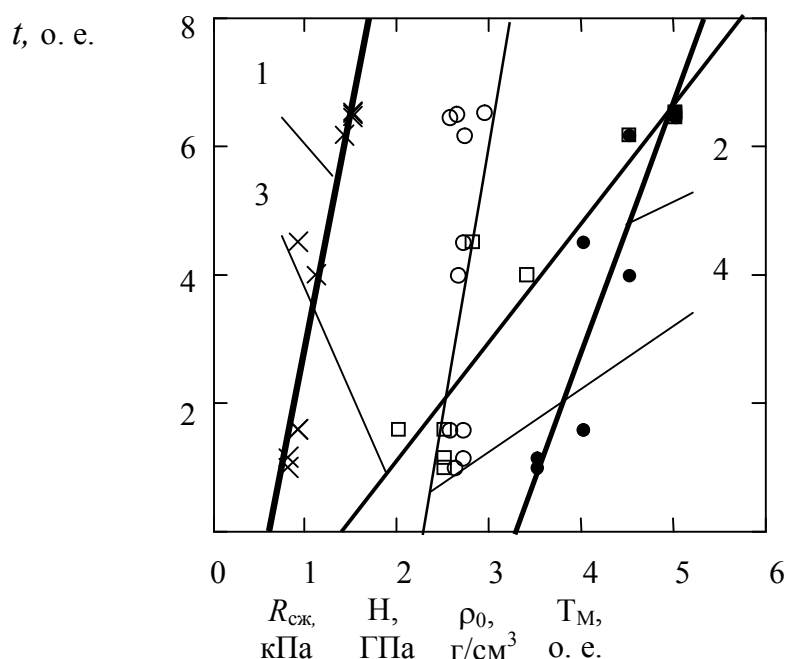
Микротвердость различных видов природных камней приведена в табл. 3.

Таблица 3. Микротвердость некоторых видов природных камней.

Группа камней	Название камней	Микротвердость Н, ГПа
Средней твердости, $T_M = 3-5$	Мрамор, мраморный оникс, серпентинит, офиокальцит, лазурит, лиственит, малахит и др.	1,8–5,5
Твердые камни $T_M = 6-7$	Гранит, лабрадорит, габбро, нефрит, жадеит, кварцит, яшма, роговик, джеспилит, кварц, халцедон и др.	8,0–12,5

Для исследования зависимости трудоемкости обработки камней от их физико-механических свойств камней (в качестве примера выбраны камни средней твердости) отобрали следующие их виды: мраморные ониксы Карлюкский, Кумышканский (Казахстан) и медовый (Иран), мраморы Каррара (Италия), Вердесерано (Куба) и Вердегватемала (Гватемала), офиокальцит, серпентинит, лазурит и лиственит (Россия).

Зависимости относительной трудоемкости шлифования выбранных камней от их прочностных и качественных свойств показаны на рисунке.



Зависимости относительной трудоемкости шлифования (t) природных камней: 1 – от предела прочности при сжатии ($R_{сж}$); 2 – от твердости по шкале Мооса (T_M); 3 – от микротвердости (H); 4 – от средней плотности (ρ_0)

Показанные зависимости аппроксимированы линейными функциями вида $Y = \kappa X + b$ с помощью метода наименьших квадратов и программного пакета Mathcad 2000 Pro [14].

Коэффициенты регрессии κ и b , средние ошибки аппроксимации Δ для всех зависимостей приведены в табл. 4.

Таблица 4. Коэффициенты регрессий и средние ошибки аппроксимаций влияния физико-механических свойств на трудоемкость шлифования природных камней.

Исследуемое свойство	Коэффициент регрессии		Средняя ошибка аппроксимации Δ %
	κ	b	
Предел прочности при одноосном сжатии $R_{сж}$	7,30	-4,31	24
Твердость по шкале Мооса T_M	3,76	-12,2	27
Микротвердость H	1,98	-3,01	31
Средняя плотность горной породы, ρ_0	9,97	-22,7	89

Как следует из данных рисунка и табл. 4, при усилении прочностных свойств природных камней трудоемкость их обработки стремительно повышается. Для выбранных природных камней влияние таких свойств на трудоемкость шлифования можно ранжировать в следующем порядке: предел прочности при сжатии, твердость по шкале Мооса, микротвердость. Средняя ошибка аппроксимации влияния всех прочностных свойств (предела прочности при сжатии, твердости по шкале Мооса и по Викерсу) составляет 27 %. При значительном влиянии средней плотности на трудоемкость шлифования ошибка аппроксимации влияния указанного показателя высока (табл. 4), что не позволяет достоверно утверждать о таком влиянии.

Указанные зависимости для основных прочностных свойств невозможно напрямую использовать для определения трудоемкости шлифования, они лишь свидетельствуют об определенных тенденциях обработки камней и могут использоваться только для ориентировочной оценки трудоемкости обработки определенного вида камня.

Выводы

В результате исследований установлено следующее.

1. На трудоемкость шлифования природных камней влияют их прочностные свойства, с усилением которых трудоемкость обработки существенно повышается. Например, при увеличении значений прочности при сжатии и твердости (по шкале Мооса или по Викерсу) примерно в два раза трудоемкость обработки повышается почти на порядок.

2. Силу влияния на трудоемкость шлифования исследованных видов камней прочностных свойств можно расположить в такой последовательности: предел прочности на сжатие, твердость по шкале Мооса и микротвердость.

3. Результаты исследований могут использоваться для предварительной оценки трудоемкости обработки природных камней по их физико-механическим свойствам.

Литература

1. ТУУ 26.7-23504418-001:2007. Изделия камнерезные. – Введ. 01.05.07.
2. ДСТУ БВ.2.7-37-95. Строительные материалы. Плиты и изделия из природного камня. Технические условия. – Введ. 01.01.96.
3. Постановление Кабинета Министров Украины «Об общей классификации и оценке стоимости природного камня» от 27 июля 1994 г. № 512.

4. ДСТУ БВ.2.7-16-95. Строительные материалы. Материалы стеновые каменные. Номенклатура показателей качества. – Введ. 01.07.95.
5. Индугная Т. В. Полудрагоценные камни: Метод. руководство по диагностике и экспертизе. – К.: Изд-во ГГЦ МФУ, 1997. – 44 с.
6. Лидин Г. Д., Воронина Л. Д., Каплунов Д. Р. Горное дело. Терминологический словарь. – М.: Недра, 1990. – 694 с.
7. ГОСТ 30629-99. Материалы и изделия облицовочные из горных пород. Методы испытаний. – Введ. 01.01.01.
8. Добыча и обработка природного камня: Справочник / Под ред. А. Г. Смирнова. – М.: Недра, 1990. – 446 с.
9. Митрофанов Г. К., Шпанов И. А. Облицовочные и поделочные камни СССР / ГКГСА Госстроя СССР. М. – Недра, 1970. – 200 с.
10. Баранов П. Н. Геммология самоцветов. – Днепропетровск: Металл, 2002. – 208 с.
11. Комплексная оценка обрабатываемости природного камня алмазным инструментом. Ч. 3. Физико-механические свойства природных камней, непосредственно влияющие на процессы их алмазной обработки В. И. Сидорко, В. В. Пегловский, В. Н. Ляхов, Поталько Е. М. // Инструмент. світ. – 2007. № 37-38. – С. 55-58.
12. Исследование влияния прочностных свойств природных камней на мощность, потребляемую при алмазном шлифовании / В. И. Сидорко, В. В. Пегловский, В. Н. Ляхов, Е. М. Поталько // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – 2008 – Вып. 11. – С. 449-453.
13. Пат. 33227, Украина, МПК (2006). В28D 1/00. Способ определения обрабатываемости камня / В. И. Сидорко, В. В. Пегловский, В. Н. Ляхов, Е. М. Поталько. – Заявл. 21.02.08; Опубл. 10.06.08; Бюл. № 11.
14. Кудрявцев Е. М. Mathcad 2000 Pro. – М.: АМК, 2001. – 572 с.

Поступила 07.04.09.

УДК 679.8

В. В. Пегловский, канд. техн. наук, **В. И. Сидорко**, д-р. техн. наук,
В. Н. Ляхов, **Е. М. Поталько**

Научно-технологический алмазный концерн «Алкон» НАН Украины, г. Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ТРУДОЕМКОСТИ ШЛИФОВАНИЯ ПРИРОДНЫХ КАМНЕЙ АЛМАЗНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ.

Data about productivity and labour input of grinding of the various are cited kinds of natural semiprecious and decorative stones the diamond tool.

Введение

При изготовлении изделий из природных камней [1; 2] об их технологических показателях (трудоемкости, энергоемкости и др.) [3] судят по обрабатываемости или трудоемкости обработки этих камней. В свою очередь, о трудоемкости обработки и обрабатываемости природных камней косвенно судят на основании имеющегося производственного опыта и прочностных свойств этих камней [4; 5]. При этом предполагают, что наименьшие значения производительности шлифования природных камней и наивысшая трудоемкость обработки соответствуют природным камням с большими значениями предела прочности при сжатии и твердости (по шкале Мооса и по Викерсу).