

УДК 679.8; 621.923

**В. В. Пегловский**, канд. техн. наук

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

## **ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ГОРНЫХ ПОРОД НА ТРУДОЕМКОСТЬ И ЭНЕРГОЕМКОСТЬ ИХ ОБРАБОТКИ**

*Влияние вида основного породообразующего минерала горных пород, их структуры и размера зерен минеральных индивидов породы на трудоемкость и энергоемкость их обработки.*

**Ключевые слова:** минерал, горные породы, структуры.

При обработке горных пород и минералов замечено, что производительность, трудоемкость и энергоемкость их обработки [1; 2] зависят от наличия и процентного содержания в их химическом составе определенных компонентов: оксидов кремния, алюминия, железа и некоторых других [3; 4]. Эти компоненты влияют так же на прочностные свойства горных пород [5].

В то же время кроме прочностных свойств и химического состава горные породы характеризуются показателями (минералогический состав, структура и размер зерен минеральных образований), влияние которых на производительность, трудоемкость и энергоемкость их обработки мало изучено.

В связи с изложенным исследование влияния минералогических особенностей горных пород на трудоемкость и энергоемкость их обработки является актуальной задачей камнеобрабатывающего производства.

### **Методика исследований**

Известно, что минералогический состав горных пород, являющийся условно постоянным для природного камня определенного вида, может состоять из различных природных минералов, относящихся к разным химическим соединениям, содержание которых в горных породах непостоянно [6–8].

Минерал, содержание которого в горной породе наибольшее, называют основным породообразующим, а остальные минералы второстепенные [6].

Минералогический состав некоторых добываемых в Украине видов горных пород (декоративных камней) [9], из которых изготавливают преимущественно строительные, интерьерные, декоративно-художественные и производственно-технические изделия [10; 11], приведен в табл. 1.

**Таблица 1. Минералогический состав некоторых видов мрамора, габбро, лабрадорита и гранита Украинских месторождений**

Минерал	Содержание, %			
	мраморизованного известняка Довгорунского	габбро Букинского	лабрадорита Головинского	гранита Маславского
Калишпат	–	2–9	0–6	40–63
Кварц	5–30	0–5	0–2	40
Плагиоклаз	–	57–72	87–99	–
Роговая обманка	–	–	–	10
Бiotит	–	–	–	7
Апатит	–	–	–	2
Оливин	–	–	0–2	4
Пироксен	–	25–32	4	–
Кальцит	40–90	–	–	–
Мусковит	1–16	–	–	–
Хлорит	0,1–12	–	–	–
Другие	–	0–3	–	1

Минералогический состав некоторых других горных пород (полудрагоценных камней) месторождений различных стран приведен в табл. 2.

**Таблица 2. Породообразующие и второстепенные минералы в составе некоторых полудрагоценных камней**

Полудрагоценный камень	Основные породообразующие минералы	Второстепенные минералы
Мраморной оникс Карлюкский. Казахстан	Кальцит	–
Лиственит. Россия	Анкерит, кварц	Тальк, слюда, мусковит и др.
Серпентинит. Россия	Серпентин (антигорит, хризотил), доломит и др.	Кальцит, гранаты, пироксены, амфиболы и др.
Скарн датолитовый. Россия	Датолит, доломит	Пироксены, магнезит, кальцит, известняк и др.
Родонит. Россия	Родонит, доломит	Родохрозит, бустамит, спессартин, кварц и др.
Нефрит Саянский. Россия	Тремолит, актинолит	Диопсид, шпинель, серпентин, апатит, кальцит и др.
Жадеит. Россия	Жадеит	Альбит, амфиболы, слюда и др.
Амазонит. Россия	Амазонит	Плагиоклазы, кварц, слюда и др.
Роговик. Россия	Полевые шпаты	Кварц
Джеспилит. Украина	Кварц	Окислы железа
Окаменелое дерево. Украина	Кварц	Халцедон, опал
Яшма Орская. Россия	Кварц, халцедон	Эпидот, актинолит, хлорит, слюда и др.
Кварцит. Россия	Кварц	Слюда, плагиоклаз, тальк
Халцедон. Казахстан	Халцедон	–
Льдистый кварц. Украина	Кварц	–

Из приведенных (табл. 1, 2) и известных данных [6–8] приходим к выводу о том, что основными породообразующими минералами декоративных камней являются карбонаты групп кальцита и доломита, алюмосиликаты групп полевых шпатов, полудрагоценных камней, кроме того, другие силикаты (амфиболы, пироксены, сложные силикаты) и силикаты группы кварца (кварц, халцедон, опал).

Количественно оценить свойства основных породообразующих минералов для рассматриваемых видов горных пород при исследовании их влияния на трудоемкость и энергоемкость обработки можно по твердости этих пород (например, по Викерсу).

Однако кроме минералогического состава горная порода характеризуется признаками, среди которых особое место занимают размер зерен минеральных образований и структура камня.

Различают следующие основные виды минерального строения (структуры) [7; 8]:

- зернисто-кристаллическое (минеральный агрегат состоит из зерен минеральных индивидов одинакового или разного размера) – большинство из рассматриваемых видов камней;

- волокнистое (минеральные индивиды сильно вытянуты в одном направлении и напоминают растительные волокна), например параллельно-волокнистое (асбест), лучисто-волокнистое (вавелит), радиально-волокнистое (актинолит), спутанно-волокнистое (серпентинит);

- шестоватое (поперечное сечение минеральных индивидов сопоставимо с их длиной) – параллельно-лучистое и спутанно-шестоватое (эпидот, турмалин, иногда кварц);

- чешуйчатое и сланцевое (среди рассматриваемых видов камней встречается редко), пластинчатые минеральные индивиды имеют вид мелких беспорядочно расположенных чешуек (тальк и слюда).

Важной характеристикой минералов кристаллического строения является размер зерен минеральных индивидов в минеральных образованиях. В зависимости от размеров зерен минералов различают их виды [7; 8] (табл. 3).

#### **Результаты и их обсуждение**

Минералогические особенности 30 видов природных декоративных и полудрагоценных камней, полученных в результате исследований [6–8; 12], приведены в табл. 4.

**Таблица 3. Характеристики зернистости минералов и минеральных образований**

минералы	Размер минеральных образований $h$ , мм (мкм)
Гигантские	> 100 мм
Крупнозернистые	10–100 мм
Среднезернистые	1–10 мм
Мелкозернистые	100 мкм–1 мм
Тонкозернистые	10–100 мкм
Скрытокристаллические	1–10 мкм
Тонкодисперсные	< 1 мкм

**Таблица 4. Минералогические особенности некоторых видов природных камней**

Природный камень. Происхождение	Минералогическая особенность		
	$h$ , мм	$c$ , о. е.	$H_M$ , ГПа
1. Мраморный оникс Карлюкский. Казахстан	1,0	1	1,6
2. Мрамор Коелгинский. Россия	1,0	1	1,6
3. Мрамор Кибик-Кордонский. Россия	1,0	1	1,6
4. Офиокальцит. Россия	1,0	1	1,6
5. Мрамор «Verde Antiquo». Индия	1,0	1	1,6
6. Скарн датолитовый. Россия	1,0	1	5,8
7. Лиственит. Россия	1,0	1	1,6
8. Мрамор Белогорский. Россия	1,0	1	1,6
9. Мрамор «TISD» Индия	1,0	1	1,6
10. Родонит. Россия	1,0	1	5,8
11. Лазурит. Россия	1,0	1	5,8
12. Серпентинит. Россия	1,0	2	5,8
13. Габбро оливковое (ср. знач.) <sup>2</sup>	10,0	1	8,0
14. Джеспилит. Украина	1,0	1	8,0
15. Габбро безоливиновое (ср. знач.) <sup>2</sup>	10,0	1	8,0
16. Нефрит Кольский. Россия	0,1	2	8,0
17. Роговик. Россия	0,1	1	8,0
18. Лабрадорит Головинский. Украина	10,0	1	8,0
19. Жадеит. Россия.	0,1	2	8,0
20. Беломорит (лабрадорит). Россия	10,0	1	8,0
21. Гранит Софиевский. Украина	10,0	1	8,0
22. Гранит слюдяной (среднее значение) <sup>2</sup>	10,0	1	8,0
23. Обсидиан. Армения	100,0	1	8,0
24. Гранит лейкократовый (среднее значение) <sup>2</sup>	10,0	1	8,0
25. Яшма техническая. Россия	0,1	1	12,0
26. Окаменелое дерево. Украина	0,01	2	12,0
27. Кварцит Овручский. Украина	1,0	1	12,0
28. Халцедон. Казахстан	0,01	2	12,0
29. Агат. Россия	0,01	2	12,0
30. Льдистый кварц. Украина	0,1	1	12,0

В табл. 4 представлены микротвердость  $H_M$  основного породообразующего минерала рассматриваемых видов пород, максимальный размер  $h$  зерен минеральных индивидов в конгломерате и структура  $c$  этих камней. Причем при исследовании структуры камней рассматривали кристаллическую структуру  $c = 1$  и волокнистую или близкую к ней шестоватую  $c = 2$ .

Если данные табл. 4 представить в кодированных значениях и сопоставить с кодированными значениями относительной трудоемкости  $t$  и энергоемкости  $e$  обработки этих видов камней [1; 2], линейная аппроксимация зависимостей трудоемкости и энергоемкости от рассматриваемых особенностей пород, полученная известными методами [13], будет выглядеть так, как показано на рис. 1, 2.

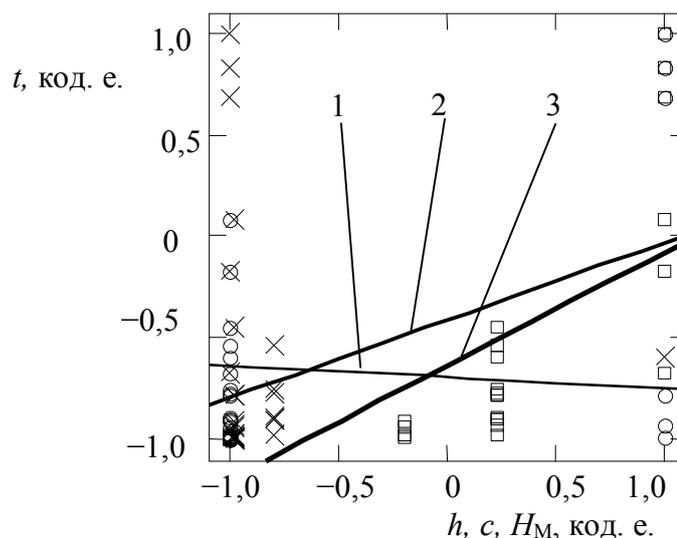


Рис. 1. Зависимость трудоемкости обработки горных пород от размеров зерен  $h$  минеральных образований – 1 ( $\times$ ); структуры с породы – 2 ( $\circ$ ); Твердости  $H_M$  основного породообразующего минерала – 3 ( $\square$ )

Коэффициенты линейных регрессий, показанные на рис. 1, 2 приведены в табл. 5.

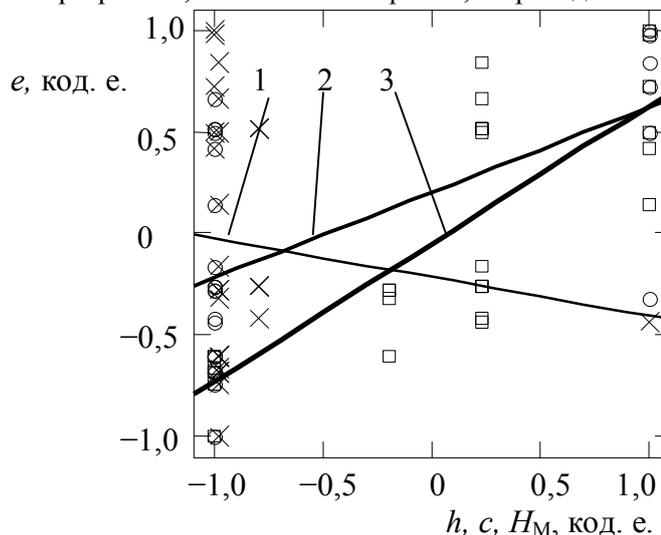


Рис. 2. Зависимости энергоемкости обработки горных пород от размеров зерен  $h$  минеральных образований – 1 ( $\times$ ); структуры с породы – 2 ( $\circ$ ); твердости  $H_M$  основного породообразующего минерала – 3 ( $\square$ )

Таблица 5. Коэффициенты регрессий исследуемых зависимостей

Зависимость	Значения $k$	Значения $b$
1 на рис. 1	-0,058	-0,692
2 на рис. 1	0,382	-0,413
3 на рис. 1	0,56	-0,642
1 на рис. 2	-0,187	-0,215
2 на рис. 2	0,419	0,201
3 на рис. 2	0,677	-0,051

Из данных рис. 1, 2 и табл. 5 следует, что трудоемкость и энергоемкость обработки горных пород повышается тогда, когда порода имеет меньший размер зерен минеральных образований, волокнистую структуру и большую твердость основного породообразующего минерала. Однако низкая точность аппроксимации для указанных зависимостей (средняя ошибка  $\approx 70\%$ ) не позволяет использовать их для расчета трудоемкости и энергоемкости обработки горных пород, а лишь указывает на тенденции в их обработке.

Сопоставив минералогический состав рассматриваемых горных пород (табл. 1, 2, 4) и значения относительной трудоемкости и энергоемкости их обработки, полученные в результате ранее проведенных исследований [1; 2], можно систематизировать эти данные так, как показано в табл. 6.

**Таблица 6. Оценка обрабатываемости горных пород в зависимости от их минералогического состава**

Класс (группа) химических соединений	Основные породообразующие минералы	Технологические параметры, о. е.	
		<i>e</i> ,	<i>t</i> ,
Карбонаты групп кальцита, арагонита и доломита	Кальцит, доломит, арагонит, анкерит, магнезит, родохрозит, и др.	1,0–1,4	1–20
Алюмосиликаты и силикаты групп полевых шпатов, фельдшпатоидов, ортосиликатов, пироксенов, пироксеноидов, амфиболов, метасиликатов и др.	Полевые шпаты, содалит, лазурит, оливин, жадеит, авгит, эгерин, волластонит, родонит, тремолит, актинолит, датолит, антигорит, хризотил, мусковит, биотит и др.	1,3–1,7	20–600
Силикаты группы кварца	Кварц, халцедон, опал	1,7–2,0	600–1000

### Выводы

В результате исследований установлено, что трудоемкость и энергоемкость обработки горных пород повышаются тогда, когда горная порода имеет меньший размер зерен минеральных индивидов в минеральном конгломерате, а также при волокнистой или близкой к ней (шестоватой) структуре таких пород.

Трудоемкость и энергоемкость обработки исследованных видов горных пород (декоративных и полудрагоценных камней) можно связать с видом их основного породообразующего минерала. Например, наиболее легкообрабатываемыми породами могут считаться те, где основным породообразующими минералами являются карбонаты, более труднообрабатываемыми являются те, в которых породообразующими минералами являются различные силикаты (алюмосиликаты) и наивысшую трудоемкость обработки проявляют те, где в качестве основных породообразующих минералов присутствуют различные виды кварца.

Результаты работы можно использовать при назначении технологических параметров обработки горных пород на всех технологических операциях изготовления различных изделий из камня и определении основных технико-экономических параметров (трудоемкость, энергоемкость) производимых изделий.

*Вплив виду основного породотворного мінералу гірських порід, їх структури та розміру зерен мінеральних індивідів породи на трудомісткість і енергоємність їх обробки.*

**Ключеві слова:** мінерал, гірські породи, структури.

*Influence of type of basic mineral of mountain breeds is investigational, their structure and sizes of grains of mineral individuals of breed on labour intensiveness and power-hungryness of treatment of such breeds.*

**Key words:** mineral, mountain breeds, structure.

### Литература

1. Исследование производительности и трудоемкости шлифования природных камней алмазным инструментом / В.В. Пегловский, В.И. Сидорко, В.Н. Ляхов, Е.М. Поталько // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технологии его изготовления и применения. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – 2009. – Вып. 12. – С 500–504.
2. 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 технологии его изготовления и применения. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины – 2008. – Вып. 11. – С 449–453.
3. Влияние содержания оксидов алюминия и железа в химическом составе горных пород на трудоемкость и энергоемкость их обработки / В.В. Пегловский // Породоразрушающий и

- металлообрабатывающий инструмент – техника и технологии его изготовления и применения. – К.: ИСМ им. В.Н. Бакуля НАН Украины. – 2010. – Вып. 13. – С 536–540.
4. Сидорко В.И., Пегловский В.В., Ляхов В.Н. Влияние содержания оксида кремния в природных камнях на их прочностные свойства, производительность алмазного шлифования и потребляемую мощность // Сверхтвердые матер. – 2008. – № 5. – С. 64–71.
  5. Исследование влияния некоторых компонентов химического состава природных камней на их прочностные свойства / 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. – 2008. – Вып. 11. – С 444–449.
  6. Добыча и обработка природного камня: Справочник / Под ред. А.Г. Смирнова. – М.: Недра, 1990. – 445 с.
  7. Лазаренко Е.К. Курс минералогии: Учебник для университетов. – М.: Высш. шк., 1971. – 608 с.
  8. Федоровский Н.М. Курс минералогии. – М.; Л.; Новосибирск. ГНТГИ. 1932. – 456 с.
  9. Постановление Кабинета Министров Украины «Об общей классификации и оценке стоимости природного камня» от 27 июля 1994 г. № 512.
  10. ТУУ 26.7–23504418–001:2007. Изделия камнерезные – Введ. 01.05.2007.
  11. ДСТУ Б В.2.7-37-95. Строительные материалы. Плиты и изделия из природного камня. Технические условия.
  12. Отчет ИСМ НАН Украины о НИР 1114 (арх. № 2105) «Исследование основных закономерностей процесса алмазной обработки цветных камней с целью установления оптимальных режимов обработки» / Рук. Александров В.А., Бобровский Е.И., Ляхов В.Н. Гос. Рег. №73055305. К.: 1974. – 74 с.
  13. Кирьянов Д.В. Mathcad 13. – СПб.: БВХ-Петербург, 2006. – 590 с.

Поступила 14.04.11

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*

### **ЗАВИСИМОСТЬ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АЛМАЗНОЙ ОБРАБОТКИ ГОРНЫХ ПОРОД ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ СИНТЕТИЧЕСКИХ АЛМАЗОВ АЛМАЗОНОСНОГО СЛОЯ ИНСТРУМЕНТА**

*Зависимость производительности шлифования горных пород от концентрации алмазов в рабочем слое камнеобрабатывающего инструмента.*

**Ключевые слова:** *шлифование, горные породы, алмаз.*

#### **Введение**

При выборе параметров алмазно-абразивного инструмента, используемого для обработки (чернового шлифования) горных пород и минералов (природных декоративных и полудрагоценных камней) в процессе изготовления строительных, производственно-технических и декоративно-художественных изделий [1; 2] необходимо знать, как соотносятся основные параметры алмазоносного слоя инструмента (вид связки, размер зерна алмазного порошка и его марка, концентрация алмазов в алмазоносном слое) с производительностью обработки таких материалов. Это необходимо как для определения технологических параметров процесса шлифования (например, производительности), так и для прогнозирования технико-экономических характеристик изготавливаемых из камня изделий (например, трудоемкости) [3].

Цель настоящего исследования – определить взаимосвязь концентрации синтетических алмазов алмазоносного слоя камнеобрабатывающего инструмента и производительности шлифования горных пород и минералов.