

УДК 519.3

**Л.Танович, проф.****М.Шливанчанин, к.т.н.***Механический институт, г. Белград*

## **ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОГО КАМНЯ НА ТЕРРИТОРИИ СЕРБИИ**

*В статье приведены результаты исследований технико-технологических свойств камня из месторождений Сербии.*

С учетом свойств, применения, функции и долговечности архитектурно-строительного камня как специфического неметаллического минерального сырья ему нет замены в облагораживании человеческой среды. Трудно определить критерии оценки, потому что, во-первых, необходимо рассмотреть широкий спектр специфических требований, которые необходимо обеспечить, чтобы он мог использоваться на практике. Наиболее часто классификация осуществляется по его геологическим, техническим и искусственным характеристикам. Оценка архитектурно-строительного камня представляет комплексную проблему и своеобразную разработку, начиная с геологии, декоративного наблюдения, технико-эксплуатационного, технологического, рыночного, социально-экономического факторов. Для качественной разработки данного вопроса необходимо рассмотреть монолитность массы породы, долговечность камня, твердость, прочность, декоративность и обрабатываемость.

Архитектурно-строительный камень можно использовать только тогда, когда из массы породы, то есть месторождения, можно выполнять выемку блоков, пригодных к промышленной переработке.

### **1. Механические свойства архитектурно-строительного камня**

#### **1.1. Прочность камня**

Прочность определяется как свойство камня, характеризующее его способность сопротивляться действию внешних сил, пытающихся его разрушить. Камень считается разрушенным, когда в структуре наступает нарушение связи между минеральными частицами, сочленяющими его структуру.

Прочность, модуль упругости определяются испытаниями на давление, натяжение, изгиб, сдвиг.

В табл. 1 указаны результаты испытаний, выполненных на образцах архитектурно-строительного камня Сербии.

Другие механическо-физические свойства камня (например пористость) во многом влияют на его прочность, особенно при обработке.

### 1.2. Абразивность камня

В процессе эксплуатации и переработки архитектурно-строительного камня очень большое влияние на расход инструмента имеет его износ. Из всех используемых инструментов наиболее широкое применение имеют буровые коронки с алмазными резаками и резаками из твердого сплава, алмазные проволоки, пилы, инструменты для шлифования с алмазной основой и т. п. Кроме физико-химических свойств камня, абразивности, как его характеристика имеет очень большое влияние на износ и расход инструментов.

Износ инструментов при контакте с камнем рассматривается в рамках упругих и пластических деформаций, растяжения и поломки. На интенсивность износа инструмента влияют характеристики материала инструмента и обрабатываемого камня, характер износа, схема обработки, состояние контактных поверхностей, этапы режима обработки и т. п.

Процесс износа рассматривается как результат механического и взаимомолекулярного действия сопряженных поверхностей (инструмент–обрабатываемая деталь).

Для количественной оценки изнашивания используются показатели: интенсивность и эффективность износа. Интенсивность износа ( $B$ ) подразумевает величину изнашивания инструмента ( $V$ ) на единицу работы трения ( $A$ ):

$$B = \frac{V}{A} = \frac{V}{\mu \cdot F_n \cdot s}.$$

Причем:

$$A = F_t \cdot s = \mu \cdot F_n \cdot s,$$

где:

$\mu$  – коэффициент трения;

$F_n$  – нормальная сила;

$s$  – путь инструмента.

Эффективность износа ( $Q_b$ ) определяется как отношение  $V$  ко времени продолжительности контакта сопряженных поверхностей ( $t$ ):

$$Q_b = \frac{V}{t}.$$

Эффективность износа используется при выборе соответствующих инструментов и анализе их устойчивости.

1.3. Твердость камня

Твердость представляет собой свойство, определяющееся устойчивостью камня сопротивляться механическому действию какого-либо другого твердого тела. Механическое действие может выражаться царапанием, вдавливанием, шлифованием, полированием и т. п. С этой точки зрения могут отличаться твердость или стойкость к царапанию, устойчивость к вдавливанию и стойкость круга, то есть изнашивание. Метод установления твердости через царапание разработан немецким физиком Мосом (Mohs), им также предложена произвольная шкала, применяемая до сих пор. Твердость при вдавливании определяется отношением определенной силы, которой в каменную поверхность вдавливаются наконечник.

Таблица 1

	Годельево	Галовичи	Лисина			
	Известняк	Мергель	Гранит	Мрамор	Песчаник	Сланец
1	2	3	4	5	6	7
Физическо-механические свойства						
Удельный вес (кн./м <sup>3</sup> )	27,10	26,30	26,93	27,23	33,77	27,88
Пористость (%)	1,93	3,79	2,15	1,98	1,83	2,63
Прочность на сжатие (дин./см <sup>2</sup> )	486,70	506,10	1681	1460	1702	972
Прочность на растяжение	73,20	75,20	177	183	136	128

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
Прочность на изгиб	105,90	84,90	–	–	–	–
Прочность на сдвиг	176,50	123,30	131	–	98	–
Абразивность (мг)	42	17	93,10	33,05	37,10	65,50

В табл. 2 показан коэффициент абразивности, определяющийся по методу Борона для различных видов пород согласно классам.

Таблиця 2

Класс	Качество камня	Показатель абразивности	Вид камня
I	очень слабая абразивность	до 5	мягкий известняк глинистый сланец
II	слабая абразивность	5–10	глинистый сланец
III	абразивность меньше средней	10–18	песчаники
IV	средняя абразивность	18–30	песчаник, диабаз
V	абразивность больше средней	30–45	песчаник, гранит, гнейс
VI	могучая абразивность	45–65	гранит, диорит
VII	большая абразивность	65–90	диорит, порфир
VIII	очень большая абразивность	>90	породы с корундом

Сложность состава камня ухудшает определение его твердости, поэтому в настоящее время используются два метода испытаний: статический – статическое действие сил на вдавливающее устройство различной формы и динамический – динамическое действие силы.

Для измерения микротвердости используется метод Кноопа, основанный на измерении 20, 40 или 80 отпечатков в зависимости от структуры камня. Вдавливание производится алмазной пирамидой при давлении 1,96 Н в течении 40 с. Потом выполняется измерение длины большей диагонали на возникшем отпечатке. У камня мелкозернистой структуры повторяются 30 измерений, у камня – среднезернистой структуры – 40 измерений и крупнозернистой структуры – 40...80. Значение микротвердости определяется следующим образом:

$$HK = 14,23 \frac{F}{L^2} \cdot 10^6 \text{ [МПа]},$$

где:

$HK$  – микротвердость;

$F$  – нагрузка;

$L$  – длина большей диагонали отпечатка.

В табл. 3 показаны значения микротвердости некоторых видов камня.

Таблиця 3

Наименование камня	Виды породы	$HK$	$HK25$	$HK50$	$HK75$	$\frac{HK}{75/25}$
Видачевица	Андезит	3020	2100	2700	4000	1,90
Равно Бучйе	Гранит	3990	1500	4400	5500	3,60

Сугановина	Диорит	3986	1800	4400	5900	3,30
Оплатница	Гоналит	4802	3000	5400	6400	2,10
Ябланица	Габбро/гранит	4945	4000	5300	6000	1,50
Есаница	Кварциорит	5234	3600	5400	7200	2,00

Указанные обозначения имеют следующие значения:

$HK$  – среднее значение микротвердости всех измерений,  $HK25$  – микротвердость, соответствующая кумулятивной частоте, составляющей 25 %,  $HK50$  – кумулятивная частота, составляющая 50 %,  $HK75$  – кумулятивная частота, составляющая 75 %.

Эти данные указывают, что относительная однобазовая твердость встречается у камня "габбро" и "андезит". В данном случае, если отношение  $HK75/HK25$  ближе к 1, то у камня твердость равномернее по структуре.

Понятие микротвердости обозначает среднее значение серии измерений на небольших микрометрических поверхностях камня. Поверхность испытываемого образца должна быть полирована, чтобы легче определился размер отпечатка. Размеры образца чаще всего составляют 2x3x1 см. Микротвердость по методу Кноопа является количественным показателем твердости испытываемого камня.

Твердость камня близко связана с его технологическими свойствами, в том числе прочностью на резании, на долблении, износостойкостью, при ручной обработке, шлифовании, полировании и т. п.

#### 1.4. Тепловые свойства камня

Теплопроводность представляет собой свойство материи переносить теплоту через свою среду. У камня перенос теплоты по сути – это процесс обмена кинетической энергии при столкновении электронов. У него процесс проведения теплоты осуществляется осцилированием кристаллической решетки от одной частицы к другой, и этот вид проводимости характеризует изоляторы.

При высокой температуре у камня изменяются его структурные свойства, объем и т. п. Термические напряжения в нем будут настолько больше, насколько больше температурный градиент  $dt/dl$ , то есть перенос теплоты по глубине камня, который зависит от плотности теплового потока ( $Q$ ) и теплопроводности камня ( $\lambda$ ):

$$\frac{dt}{dl} = \frac{Q}{\lambda} = \frac{\beta \cdot (t_g - t_k)}{\lambda},$$

где:

$Q$  – удельный тепловой поток;

$\lambda$  – теплопроводность камня;

$\beta$  – коэффициент переноса теплоты от источника к камню;

$t_g, t_k$  – температуры источника и камня.

Пропорциональная зависимость между теплотой ( $dQ$ ), поглощаемой в камень, и ростом температуры ( $dT$ ) определяется:

$$dQ = c \cdot dT,$$

где:  $c$  – коэффициент пропорциональности.

Коэффициент пропорциональности, отнесенный на единицу массы ( $m$ ) нагретой части камня, называется удельным тепловым коэффициентом ( $c$ ):

$$c = \frac{C}{m} = \frac{dQ}{m \cdot dT}.$$

В табл. 4 указаны некоторые из тепловых свойств камня.

Теплопроводность камня (породы) намного ниже теплопроводности металла.

Таблица 4

Камень	Коэфф. теплопроводности, В/мкм	Удельная тепловая способность, ккД/(кгК)	Коэффициент теплового расширения, $\alpha \cdot 10^{-5}$ - (1/С°)
Базальт	2,90–4,30	0,63–0,88	0,54
Габбро Гнейс	2,00 1,63–3,40	0,17 0,17	–
Гранит	2,20–4,10	0,54–0,79	0,60–0,90
Известняк	1,00–2,30	0,67–1,04	0,50–0,89
Кварцит	6,30	0,21	1,10
Песчаник	1,30–4,20	0,81	0,50–1,20

Камень, как и все твердые тела, имеет свойство расширения, то есть усадки с изменением температуры. Отклонение размера от предусмотренного определяют коэффициентом теплового расширения  $\alpha$ . Линейное удлинение ( $\Delta L$ ) какого-либо камня пропорционально температуре градиента ( $\Delta t$ ) первоначальной длины ( $L_o$ ) и природе материала:

$$\Delta L = \alpha L_o \Delta t,$$

где:

$$\alpha = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta t}.$$

Коефіцієнт лінійного теплового розширення каменя представляє собою важливу теплову характеристику.

## **2. Прочие критерии для оценки качества камня**

Проектировщиками и заказчиками очень часто создается большое давление на промышленность архитектурно-строительного камня. От нее требуется максимальное обеспечение рынка домашним сырьем. Целью этого является препятствие импорту и сбыту иностранной продукции, являющейся намного дороже отечественной и угрожающей развитию страны. Чтобы она развивалась, необходимо обеспечить очень большие валютные средства. В настоящее время промышленность Сербии не отвечает таким требованиям.

2.1. Материальные критерии оценки базируются на основании:

а) физико-механических свойств, описанных в предыдущей части текста;

б) технологических качеств, рассматриваемых через устойчивость на дробление, разрыв, возможность обтесывания, сопротивление резанию.

Технологические качества камня также рассматриваются и через возможность его обработки, в том числе: царапанием, окантовкой, ударами молотка по поверхности камня, насечкой, пескоструйной обдувкой, а также и возможностью термической обработки, обработки методом Вотер Джета (обработка камня водяной струей при высоком давлении) и возможностью обработки камня лазером.

Все вышеуказанные методы осуществляются на поверхности камня, то есть считаются методами поверхностной обработки;

в) долговечность камня представляет собой характеристику его климатической устойчивости, т. е. способность камня выдержать многочисленные отрицательные влияния среды, неблагоприятно действующие на поверхность камня и на его весь состав. Все это зависит от способности камня "амортизировать" непредусмотренные влияния. Долговечность камня близко связана с его происхождением, структурой и текстурой, определенных межгранулярной связью, т. е. видом связки и пигмента, одновременно определяющих способность водопоглощения, являющейся одним из важных показателей оценки камня в качественном смысле. Долговечность камня лучше всего оценивается через его продолжительность эксплуатации в течении времени.

2.2. Декоративность камня рассматривается через цвет и рисунок.

Именно они показывают специфичность его наружного вида.

Цвет – это первое, на что реагирует человек при контакте с камнем. Чаще всего твердые породы содержат много минералов и их цвет определяется цветом доминирующего из них. Цвет в сочетании с рисунком играет значительную роль в оценке камня.

Рисунок как оценочное свойство камня значительнее цвета. Эти два элемента определяют качество камня в визуальном смысле. Рисунок больше всего выражается на свежих и влажных полированных поверхностях камня. В зависимости от структуры, текстуры, вида и интенсивности цвета тот же камень может быть различным, всесторонне гетерогенным. В декоративном смысле существуют:

- а) исключительный и единственный вид;
- б) специфический вид;
- в) декоративный вид;
- г) обычный вид.

2.3. Критерий использования во многом зависит от технических свойств камня. Они определяют его применение и возможность задерживания оригинального вида и его назначения на различных местах – снаружи, внутри, на полу, на стенах в строительных объектах, то есть на искусственных предметах. Более всего ценится тот камень, у которого есть способность широчайшего применения.

2.4. По коммерческому критерию камень считается товаром. Этот критерий включает разные экономико-рыночные показатели, определяющие его качество и спрос. Коммерческим критерием являются местный, национальный и мировой рынки.

2.5. Производственный критерий – основой его оценки является продолжительность производства в течении времени, развитии экономического, материального и человеческого ресурсов.

### **3. Вывод**

Видом обработки, технологией и техникой установки природный камень полностью приспособился к требованиям современного строительства. Сочетание старого и нового удовлетворяет применение камня.

Камень как очень старый и одновременно очень современный строительный материал представляет собой одну из основных функциональных и эстетических ценностей большей части современных строительных объектов, в которых он установлен.

Свое значение камень выражает устойчивостью цвета, рисунка и видом. В отличие от цвета и рисунка, являющихся следствием его минерального состава, структуры и долговечности условий, в которых



он создавался, его вид является человеческой деятельностью, осуществляющей переработку массы породы и обработку элементов камня, сначала вручную, а потом – обработкой посредством машин. Коэффициент абразивности служит для определения стоимости расходов в процессе технологической обработки архитектурно-строительного камня. Особенно значительным является знание данного параметра в случае выбора алмазных инструментов в процессе обработки камня.

Микротвердость изменяется у любого архитектурно-строительного камня от позиции к позиции. Твердость камня близко связана с его технологическими свойствами, в том числе: режущей способностью, износостойкостью, устойчивостью на обтесывание, абразивностью инструмента и, таким образом, с расходами производства.

В 2003 г. экспорт камня составлял 711.000 дол. США; в 2004 г. он составлял 775.000 дол. США, что составляло 0,02 % общего экспорта. В данном периоде импорт камня был в 14 раз больше экспорта, а именно – в 2003 г. он составлял 9.200.222 дол. США, а в 2004 г. – 10.900.000 дол. США, что составляло 0,1 % общего импорта.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. *Tanovic L.* Rezna keramika. – Masinski fakultet. – Beograd, 1992.
2. *Sljivancanin M.* Uticaj temperaturnih razlika na tehnicka svojstva kamena: XXVI Jupiter konferencija. – Masinski fakultet. – Beograd, 2000.
3. *Cvetkovic M.* Odredjivanje abrazivnosti stena // Kamen 2000. – Arandjelovac, 2000.
4. *Matovic V.* Ispitivanje mikrotvrdoce AG kamena «Кноор» metodom // Kamen 2000. – Arandjelovac, 2000.

ТАНОВИЧ Любодраг – профессор Механического института, г. Белград.

ШЛИВАНЧАНИН Миливое – кандидат наук Механического института, г. Белград.

Подано 12.09.2005

\*Проф.др Любодраг Танович, Механический институт, Белград.  
Канд.наук Миливое Шливанчанин, Моравамермер, Белград.

Аннотация (рос.)

В статье приведены результаты исследований технико-технологических свойств камня из месторождений Сербии.

Анотація (укр.)

В статті наведено результати досліджень техніко-технологічних властивостей каменю з родовищ Сербії.

Англ.