

УДК 679.8

*С.В. Назаренко, К.Д. Давтян, Г.Л. Левковский,
В.Д. Христолюбов*

**ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИТНЫХ
МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ПРИРОДНОГО КАМНЯ**

Семинар № 15

Эксплуатационные характеристики природного камня зависят от его структуры, текстуры и трещиноватости, имеющей естественное или техногенное происхождение.

Степень трещиноватости камня в свою очередь зависит от вида нагрузки, используемой при его добыче (плавнорастающая или динамическая, направленная или объемная), и от расположения зоны разрушения (разрушение в приконтактной зоне или разрушение в отдаленной зоне, возникающее в силу волнового распространения нагрузки).

В то же время появился целый ряд химических средств укрепления камня, позволяющих решать проблему повышения выхода готовой продукции. Из этих средств в камнеобрабатывающей промышленности применяются клеи, полироли, воски, мастики и др.

Применение химических средств позволяет снижать пористость и трещиноватость, устранять отверстия и раковины, увеличивать насыщенность и яркость цветовой гаммы камней, придавать камню гидрофобные свойства. Химические средства применяются перед окончательной полировкой лицевой поверхности, способствуя достижению высокого класса этой стадии обработки камня.

Для решения задач указанного направления в условиях Московского камнеобрабатывающего комбината осуществляется переоборудование одного из

производственных цехов путем установки автоматических линий итальянской фирмы Протек. Одновременно с участием института ВНИПИИстромсырье разрабатывается технологическая документация с целью выпуска на указанных линиях нескольких разновидностей облицовочных изделий, у которых для повышения эксплуатационных характеристик предусматривается использование эпоксидного клея. Эпоксидный клей относится к числу широко применяемых в промышленном производстве химических средств укрепления камня.

Программой технологического обеспечения предусмотрено решение ряда задач, характерных для рассматриваемого вида производств:

- выбор вариантов укрепления плит только клеем с одной или с двух сторон (упрочненные плиты);
- выбор вариантов укрепления плит помимо клея стекловолоконной сеткой (упрочненные плиты);
- выбор вариантов укрепления плит помимо клея алюминиевыми сотами (сэндвич-панели);
- разработка способов крепления плит на сооружаемом объекте (вариант на отnose с расположением утеплителя в воздушном промежутке между облицовкой и несущей стеной);
- разработка технических условий на упрочненные плиты и сэндвич-панели;

Таблица 1
Основные характеристики упрочненных плит

Наименование показателя	Един. измер.	Величина показателя	
		Плиты без стекловолокна	Плиты со стекловолокном
Предел прочности на растяжение при изгибе в сухом состоянии (не менее)	МПа	15	90
Снижение предела прочности на растяжение при изгибе после водонасыщения (не более)	%	25	20
То же после насыщения кислотой (не более)	%	10	15
То же после насыщения солью (не более)	%	15	35
То же после 50 циклов замораживания (не более)	%	15	15
То же в водонасыщенном состоянии после термического воздействия (не более)	%	15	20
Морозостойкость (не менее)			50
Сопротивление удару (не менее)	F	50	130
Показатель адгезии при изгибе в сухом состоянии (не менее)	см	20	2,5
	МПа	-	

- разработка технологического регламента на процесс производства облицовочных изделий.

В итоге значительного объема исследований, выполненных в условиях испытательной лаборатории кафедры физики горных пород и процессов Московского государственного горного университета (МГГУ) с использованием образцов изделий, выявлен диапазон свойств намечаемой к выпуску продукции (табл. 1). Следует отметить, что показатели по сэндвич-панелям примерно соответствуют показателям упрочненных плит со стекловолокном.

При проведении испытаний за основу приняты стандартные методики. В то же время учтено, что испытываемые образцы имеют толщину H , отличную от толщины образцов по стандарту.

Для испытаний по определению адгезии стекловолокна к граниту на указанной кафедре разработаны три методики, отличающиеся характером приложения нагрузки со стороны пресса на образец: с односторонним (боковым) приложением

нагрузки; с двухсторонним (симметричным) приложением нагрузки; с центральным приложением нагрузки. Перед испытаниями на поверхностях образцов со стороны камня и со стороны стекловолокна делаются специальные надрезы. Во время испытаний образцы располагаются на специально изготовленной опорной подставке.

Ряд исследований выполнен с использованием акустических методов. Это позволило оценить эффективность применения эпоксидного клея, исходя из понятий о композитных материалах. Композиты, композиционные материалы (КМ) состоят из матрицы и армирующего компонента (АК). Роль матрицы – придание изделию из КМ заданной формы и обеспечение распределения нагрузок по объему. Роль АК – оптимальное перераспределение внутренних напряжений и внешних нагрузок, имеющих место при изготовлении или применении КМ. АК оказывает определяющее влияние на механические свойства композита.

Таблица 2

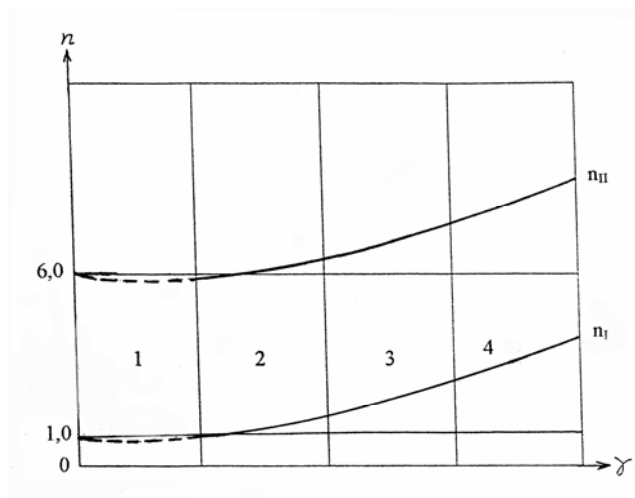
Технологические операции и используемое оборудование

№.№ операций	Технологическая операция	Оборудование
Автоматическая линия № 2 (производство упрочненных плит)		
1	Прием слэбов и перемещение их к сушильной печи	Вращающаяся подставка для слэбов, погрузчик, роликовый конвейер, конвейер с поднимающимися и опускающимися роликами
2	Сушка слэбов	Сушильная печь
3	Укладка стекловолокна	Автоматическая установка для укладки стекловолокна
4	Нанесение клея	Установка для нанесения клея с автоматическим контролем, кабина вытяжки паров клея
5	Вакуумная обработка	Вакуумная камера
6	Каталитическая обработка	Каталитическая печь
7	Складирование изделий	Конвейер с поднимающимися и опускающимися роликами, роликовый конвейер, автоматическое разгрузочное устройство, вращающаяся подставка для изделий
Автоматическая линия № 3 (производство сэндвич-панелей)		
1	Прием слэбов и перемещение их к сушильной печи	Подставка для слэбов, консольный кран с вакуумным устройством
2	Сушка слэбов	Сушильная печь
3	Нанесение клея и укладка алюминиевых сот	Роликовый конвейер, консольный кран с вакуумным устройством, стол, система вытяжки паров клея
4	Вакуумная обработка	Вакуумная камера
5	Сушка и складирование изделий	Роликовый конвейер, стенд для укладки изделий
Автоматическая линия № 1 (обработка плит и панелей)		
1	Прием упрочненных плит или сэндвич-панелей и перемещение их к калибратору	Вращающаяся подставка для плит или панелей, погрузчик, роликовый конвейер
2	Калибровка по толщине	Калибратор, роликовый конвейер
3	Шлифование	Автоматическая шлифовально-полировальная линия
4	Полирование	
5	Складирование готовой продукции	Роликовый конвейер, автоматическое разгрузочное устройство, вращающаяся подставка для готовых изделий

В рассматриваемом случае – образцы гранита, пропитанные эпоксидным клеем, - в качестве матрицы (непрерывная составляющая в объеме КМ) выступает гранит, в качестве АК (дисперсно или непре-

ривно распределенный в объеме матрицы компонент) выступает эпоксидный клей.

При этом композитный материал характеризует то, что средняя скорость поверхностных волн для образцов гранита,



Стадии насыщения гранита эпоксидным клеем: n_1 – зависимость для плит без стекловолокна (композиты); n_{II} – зависимость для плит со стекловолокном (многослойные изделия); 1 – $t_1 = \text{const}$, $W = 0$; 2 – $t_2 = t_1 = \text{const}$, $W = 0$; 3 – $t_3 > t_2 = t_1$, $W = 0$; 4 – $t_3 = \text{const}$, $W > 0$

Первая стадия. Нанесение клея на поверхность нагретого образца с одной стороны (тыльной).

Вторая стадия. Нанесение клея на вторую (лицевую) поверхность нагретого образца.

Третья стадия. Повышение степени проникновения клея в гранит (с поверхности образца и из его приповерхностной зоны) за счет применения более высокой температуры нагрева образца.

Четвертая стадия. Повышение степени проникновения клея в гранит (с поверхности образца и из его приповерхностной зоны) за счет применения процесса вакуумирования плит (в вакуумной камере).

Описанный процесс графически представлен на рисунке.

На указанном графике на оси абсцисс дана относительная величина, характеризующая насыщение гранита эпоксидным клеем:

$$\gamma = \frac{m_k}{m_z}, \quad (3)$$

где m_k – масса клея, г; m_z – масса гранитного образца (без клея), г.

На оси ординат на графике дана относительная величина, характеризующая соотношение предельных напряжений растяжения при изгибе:

$$n = \frac{\sigma_{км}}{\sigma_z}, \quad (4)$$

где $\sigma_{км}$ – предельное напряжение растяжения при изгибе композита, МПа; σ_z –

пропитанных эпоксидным клеем, $V_{км}$ (в м/с) составляет:

$$V_{км} \approx \frac{V_z + V_k}{2}, \quad (1)$$

где V_z – средняя скорость ультразвука на поверхности плиты из гранита (без клея), м/с; V_k – средняя скорость ультразвука на поверхности плиты из эпоксидного клея, м/с.

Величина V_z зависит от показателя трещиноватости гранита. Обозначим этот показатель буквой T . Чем больше величина T , тем меньше V_z и соответственно меньше $V_{км}$. Таким образом, $V_{км}$ представляет собой функцию:

$$V_{км} = f(T^{-1}, V_k). \quad (2)$$

Измерениями установлено, что $V_k < V_z$. Таким образом, особенность композита на основе природного камня и эпоксидного клея заключается в том, что несмотря на снижение скорости ультразвука при появлении в камне клея прочностные показатели материала в целом повышаются.

Процесс насыщения гранита эпоксидным клеем в общем случае может проходить в четыре стадии.

предельное напряжение растяжения при изгибе образца гранита без клея, МПа.

На графике буквой W обозначен уровень вакуумирования образца: при $W = 0$ вакуумирование отсутствует, при $W > 0$ осуществляется вакуумирование.

На первой стадии следует отметить заметное снижение прочности после водонасыщения. Этот участок на графике условно показан пунктиром. В качестве объяснения данного явления может быть принят эффект Ребиндера (эффект поверхностного разупрочнения). Изгибные деформации образца (композитного материала) вызывают образование напряжений в поверхностном слое клея, приводящих к разрыву когезионных связей (как наиболее слабых) с образованием в этом слое трещин, переходящих затем в камень. Вода, проникая в эти трещины, выполняет роль абсорбционного понизителя прочности («гидрорасклинивание»).

Из рисунка следует, что соотношение $\rho_{ц}:\rho_{г}$ с ростом величины γ уменьшается.

Технологические операции, выполняемые на автоматических линиях (линия №

1 1-5, линия № 2 1-7 и линия № 3 1-5), приводятся в табл. 2.

При производстве упрочненных плит для приготовления клея используются эпоксидные смолы ВВ/10 Есо и ВВМ и отвердитель 18/25. Для этих плит применяется стекловолоконная сетка с внутренним размером ячейки 4 x 5 мм.

При производстве сэндвич-панелей для приготовления клея используются эпоксидная смола Thumal 20 и отвердитель Thumal 10. Для панелей применяются алюминиевые соты с размером ячейки 6,3 мм.

В заключение можно отметить, что композитные и многослойные облицовочные изделия на основе тонкоразмерных плит природного камня перспективны с точки зрения снижения расходов на транспортные и монтажные операции. Однако практическое освоение этой продукции несомненно вызовет определенные трудности и должно проводиться поэтапно (начиная с опытных участков).

Коротко об авторах

Назаренко С.В. – кандидат технических наук, первый заместитель Генерального директора, ОАО «Московский камнеобрабатывающий комбинат»,

Давтян К.Д. – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, ФГУП «ВНИПИИстромсырье»,

Левковский Г.Л. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФГУП «ВНИПИИстромсырье»,

Христолюбов В.Д. – кандидат технических наук, доцент кафедры «Физика горных пород и процессов», Московский государственный горный университет.



