

Напрями максимального відхилення утворюють з головною віссю  $I$  кути  $\frac{\pi}{4} \pm \frac{\rho}{2}$  і асоціюються в статистиці сипкого середовища з лініями ковзання. На рис. 9 показано положення головної осі  $I$  і однієї пари ліній ковзання в декартовій системі координат  $xOy$ . Безпосередньо з колової діаграми одержуємо вирази для швидкостей деформацій по ортогональним напрямкам  $x, y$

$$\begin{aligned}\dot{\varepsilon}_x &= \dot{\varepsilon}_\rho + \frac{\dot{\vartheta}_\rho}{\cos \rho} (\sin \rho + \cos 2\delta); \\ \dot{\varepsilon}_y &= \dot{\varepsilon}_\rho + \frac{\dot{\vartheta}_\rho}{\cos \rho} (\sin \rho - \cos 2\delta); \\ \dot{\gamma}_{xy} &= 2 \frac{\dot{\vartheta}_\rho}{\cos \rho} \sin 2\delta.\end{aligned}\quad (25)$$

З урахуванням нахилу  $\theta$  лінії ковзання (першої характеристики [1]) до осі  $x$  (рис. 8)

$$\begin{aligned}\dot{\varepsilon}_x &= \dot{\varepsilon}_\rho + \frac{\dot{\vartheta}_\rho}{\cos \rho} (\sin \rho + \cos(2\theta + \rho)); \\ \dot{\varepsilon}_y &= \dot{\varepsilon}_\rho + \frac{\dot{\vartheta}_\rho}{\cos \rho} (\sin \rho - \sin(2\theta + \rho)); \\ \dot{\gamma}_{xy} &= \frac{\dot{\vartheta}_\rho}{\cos \rho} \cos(2\theta + \rho).\end{aligned}\quad (26)$$

**Висновки.** Введення деформацій  $\varepsilon_r, \mathcal{G}_r$  за напрямом для аналізу деформування площини в умовах плоскої задачі розширює положення загальної теорії деформацій, оскільки дає можливість визначати деформації по довільних напрямках, в тому числі по неортогональним *спряженим* напрямкам, які асоціюються з лініями ковзання в сипкому середовищі.

Одержані співвідношення можуть бути безпосередньо використаними при побудові деформаційної моделі сипкого середовища.

### Література

1. Соколовський В.В. Статика сыпучей среды – М.: Физматгиз, 1960. – 243 с.
2. Ковтун В.В. Напруження по потенціальних площинках ковзання у сипкому середовищі // Вісник Хмельницького національного університету. – Технічні науки. – 2010. – № 1. С.7-12.
3. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести – М.: Высшая школа, 1961. – 536 с.
4. Филин А.П. Прикладная механика твердого деформируемого тела – М.: Наука, 1975. – 832 с.

Надійшла 23.11.2010 р.

УДК 679.85 (047)

В.И. КОНДРАТЮК  
Хмельницкий национальный университет

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ КАМНЕОБРАБОТКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОБЛИЦОВОЧНЫХ ПЛИТ

*В статье рассмотрены современные технологии использования отходов камнеобработки для изготовления облицовочных плит.*

*In the article modern technologies of utilization of wastes are considered stone of treatment for making of facings flags.*

Ключевые слова: облицовочные плиты, производство, отходы камнеобработки.

Несмотря на значительно возросший технический уровень камнедобычи и камнеобработки отходы при производстве облицовочных изделий из природного камня достигают 80 %. При этом, отходы на операциях распиловки и окантовки составляют 15– 25 %. Один из путей уменьшения материалоемкости изделий заключается в использовании отходов для изготовления облицовочной плиты.

В статье систематизированы существующие технологии и предложены новые технологические решения по использованию отходов камнеобработки.

Для систематизации существующих технологических решений разработана классификация

облицовочных плит из отходов производства технических изделий (таб.1). В качестве квалификационных признаков приняты: рисунок лицевой поверхности, конструкция плит, тип применяемого связующего и способ раскрытия декоративности камня. Отходы природного камня при алмазно-скальвающей обработке технических изделий могут быть использованы для производства брекчиевидных облицовочных плит методом поштучного кассетного формования или декоративных орнаментных плит методом склейки. Раскрытие декоративности камня при обоих методах может быть обеспечено либо механическим путем (шлифование и полирование лицевой поверхности), либо химическим (нанесением на лицевую поверхность и отвержение слоя прозрачного полимера [2, 3, 4]). Второй путь с позиции трудоемкости является более приемлемым, однако, область применения облицовочных изделий с полимерным слоем ограничивается санитарно-гигиеническими и климатическими условиями.

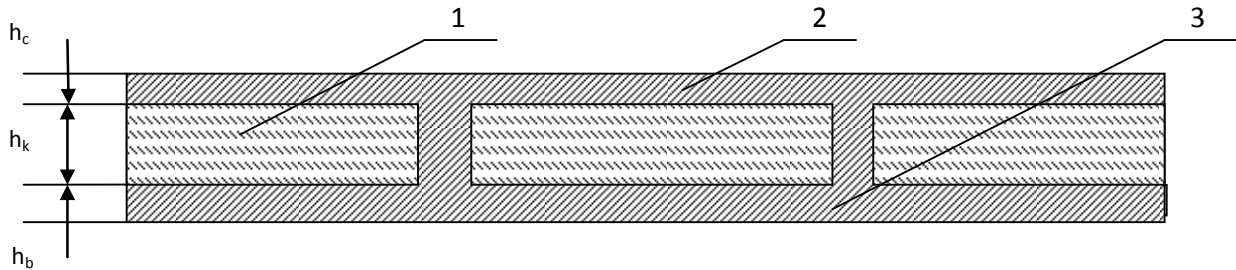


Рис. 1. Конструкция двухслойной брекчиевидной плиты: 1 – отходы природного камня; 2 – слой полимера для вскрытия декоративности; 3 – связующее

Таблица 1

Классификация облицовочных плит из отходов производства технических изделий				
№ п/п	Классификационные признаки	Облицовочные плиты		
		1. Брекчиевидные	2. Орнаментные	3. Орнаментно-брекчиевидные
1	Рисунок лицевой поверхности			
2	Конструкция	1. Однослойные 2. Однослойные с армослоем 3. Двухслойные		
3	Тип связующего	1. Неорганические 2. Органические 3. Совместное использование органических и неорганических		
4	Способ раскрытия декоративности камня	1. Снятием поверхностного слоя плиты 2. Нанесением слоя полимера 3. Формованием плит на слое полимера		

Технология производства декоративных орнаментных плит методом склейки включает следующие операции:

1. Фрезеровка отходов на элементы заданной формы и размеров.
2. Формование плит с заданным рисунком.
3. Склейка плит.
4. Сушка плит.
5. Калибровка торцов плит.
6. Раскрытие декоративности камня.

Производство орнаментных плит внедрено на Московском, Саяно-Шушенском, Беличском (г.Киев) камнеобрабатывающих комбинатах. Операция 2, 3, 4 выполняются на конвейере. Расход клея на изготовление 1 м.кв. плиты не превышает 0,6 кг.

Технология производства брекчиевидных облицовочных плит включает следующие операции:

1. Подготовка кассеты (нанесение тонкого слоя смазки).
2. Раскладка отходов на дне кассеты.
3. Заливка связующего.
4. Раскрытие декоративности камня.

В качестве связующего применяются бетоны или бетонополимеры. Применение бетонополимеров обеспечивает более высокую прочность облицовочных плит. Однако, при этом значительно увеличивается стоимость изделий.

При использовании в качестве заполнителя при изготовлении бетонополимеров шлама, который получают в процессах окантовки и шлифования плит значительно уменьшаются затраты на приготовление бетонополимеров и будут определяться только расходом и стоимостью полимерного связующего.

Раскрытие декоративности брекчиевидных плит химическим путем может быть достигнута либо путем укладки отходов на слой полимера формования изделий, либо путем нанесения полимерного слоя на отформованные плиты. Для механизации работ по второму варианту могут быть использованы наливные машины применяемые в деревообработке.

Определим расход полимерного связующего при производстве брекчиевидных плит (рис. 1). Объем связующего для производства  $A_0$  квадратных метров плиты равен:

$$V_c = h_c A_0 + \frac{\alpha_c}{100} V_{\text{б}} \tag{1}$$

где  $h_c$  – высота слоя связующего для вскрытия декоративности природного камня, м;  
 $A_0$  – площадь плиты, м.кв.;  
 $\alpha_c$  – содержание связующего в бетонополимере, %;  
 $V_{\text{б}}$  – объем бетонополимера, м.куб.;  
 Объем бетонополимера будет определяться:

$$V_{\text{б}} = \frac{\beta}{100} A_0 (h_0 - h_k - h_c) + \frac{100 - \beta}{100} A_0 (h_0 - h_c)$$

где  $\beta$  – заполнение площади лицевой поверхности плиты природным камнем, %;  
 $h_0$  – толщина плиты, м  
 $h_k$  – толщина плиты природного камня, м.  
 После несложных преобразований получим:

$$V_{\text{б}} = \left( h_0 - h_c - \frac{\beta}{100} h_k \right) A_0 \tag{2}$$

Подставляя 2 в 1 будем иметь:

$$V_c = A_0 \left[ h_c + \frac{\alpha}{100} \left( h_0 - h_c - \frac{\beta}{100} h_k \right) \right] \tag{3}$$

Для удобства анализа представим 3 в безразмерном виде:

$$V_{1c} = V_c / (A_0 h_0) = h_{1c} + \alpha / 100 (1 - h_{1c} - \beta / 100 h_{1ck}),$$

где

$$h_{1c} = \frac{h_c}{h_0}, \quad h_{1ck} = \frac{h_k}{h_0}$$

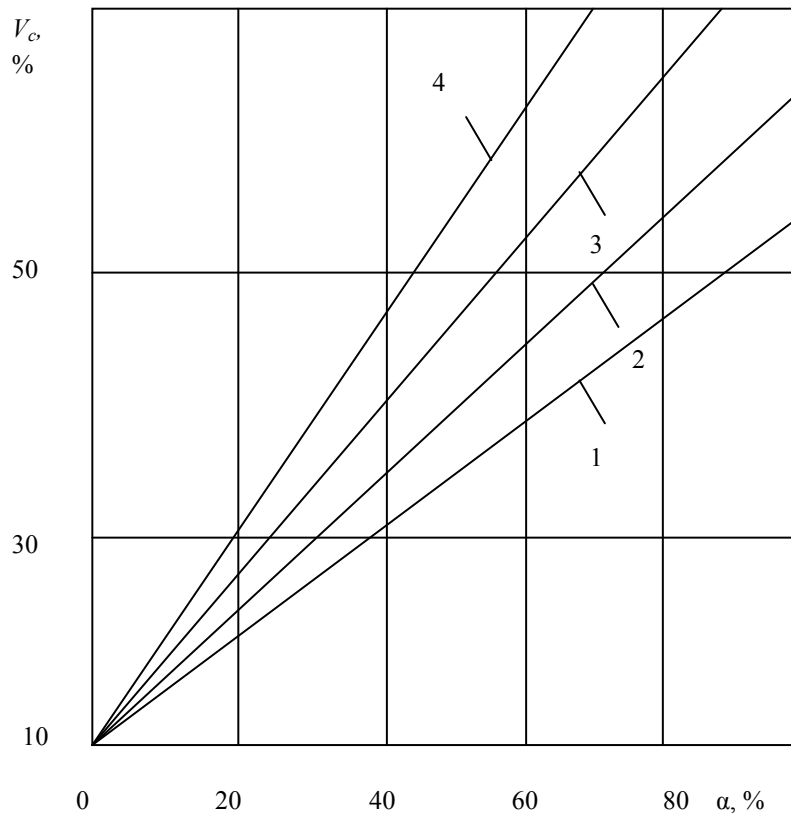


Рис. 2. Зависимость расхода связующего на производство облицовочных плит от его содержания в бетонополимере при  $h_{oc}=0,1$ ;  $h_{ok}=0,5$ ; 1.  $\beta=100\%$ ; 2.  $\beta=70\%$ ; 3.  $\beta=50\%$ ; 4.  $\beta=0$

На рис. 2 представлен графический анализ зависимости расхода связующего на производство облицовочных плит от его содержания в бетонополимере. Из графиков видно, что при содержании связующего в бетонополимере в пределах 20 % и заполнением площади лицевой поверхности плиты

природным камнем в пределах (70– 100 %) расход связующего составляет 18– 21 % от объема плиты. При этом, расход связующего на раскрытие декоративности камня и приготовление бетонополимера практически совпадает. Затраты на полимерное связующее при производстве плит толщиной 30 мм при указанном расходе не превышают 16 % себестоимости плиты.

Из анализа следует, что основными путями уменьшения расхода высокопрочных и дорогостоящих связующих являются:

1. Увеличение заполнения площади лицевой поверхности плиты природным камнем.
2. Применение бетонополимерных смесей с минимально допустимым с позиции прочности содержанием связующего.
3. Применение для приготовления бетонополимерных смесей недефицитных связующих с низкой стоимостью.

Наиболее простой в осуществлении первый путь. Однако, достигнуть существенного уменьшения расхода связующего за счет заполнением лицевой поверхности природным камнем невозможно. Так, например, при содержании в бетонополимерной смеси 40 % связующего увеличение заполнения природным камнем лицевой поверхности с 70 % до 100 % общий расход связующего уменьшится с 32 % до 27 %.

Для осуществления второго пути необходимо выполнить специальные исследования влияния содержания связующего на прочность бетонополимерной смеси.

Наиболее существенного уменьшения стоимостных затрат на связующее можно достигнуть в результате приготовления заполняющих связующих смесей с малой стоимостью, например, цемента, алебаstra и др. Однако, применение неорганических связующих не обеспечивает необходимой прочности связи заполняющего состава и природного камня.

Известна технология производства брекчиевидных плит обеспечивающая повышение прочности сцепления бетона с природным камнем за счет нанесения на поверхность природного камня слоя полимерного связующего [5]. Заливка бетона по этой технологии выполняется после 40-60 % времени отверждения полимерной композиции. Прочность сцепления природного камня с бетоном при введении промежуточного слоя возрастает практически в 2 раза.

#### **Выводы:**

1. Из существующих видов плит отходы производства технических изделий наиболее рационально использовать для изготовления брекчиевидных плит с промежуточным слоем из полимерного связующего.
2. Увеличение прочности брекчиевидных плит и уменьшение расхода полимерного связующего может быть достигнуто путем разработки специальных композитных промежуточных слоев.

#### **Литература**

1. Хшоншевський В. Розпилювання кам'яних блоків: теорія і практика. / В. Хшоншевський // Камінь-Київ. Співак-прес. – 2007. – № 18. – С. 28– 32.
2. Ацагорян З. А. Эффективные облицовочные материалы из отходов добычи и обработки камня из неполирующихся пород / Ацагорян З. А., Хагартян А. А., Абея Р. Д // Облицовочные камни. – М.: Наука, 1974. – С. 92– 102.
3. Лобаков Н. Ф. Опыт производства брекчиевидных облицовочных плит из отходов добычи и переработки карбонатных пород // Лобаков Н. Ф., Петровченко Р. Г., Зрелова Т. Ф // Экспресс-информация ВНИИЭСМ, Серия 7. – М.: ВНИИЭСМ, 1988. – № 3. – С. 5– 6.
4. Зрелова Т. Ф. Обоснование технологий производства облицовочны изделий при комплексном использовании природного камня: авт. дисс. на соиск. ученой степ. канд. техн. наук / Зрелова Т. Ф. – М.: МНИ, 1987. – 24 с.
5. Петроченков Р. Г. Технология производства брекчиевидных облицовочных плит из отходов распиловки природного камня // Петроченков Р. Г., Лазовятский Г. А., Зрелова Т. Ф // Экспресс-информация ВНИИЭСМ. Серия 7. – М.: ВНИИЭСМ, 1988. – Вып. 4. – С. 7.

Надійшла 12.11.2010 р.