

Вадим Викторович ОПЕКУНОВ,
доктор технических наук,
профессор кафедры
"Строительные материалы
и конструкции"
Гродненского государственного
университета им. Я. Купалы

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ КАМНЕПИЛЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ

USE OF WASTES FROM STONE CUTTING AND SAWING IN PRODUCTION OF CELLULAR CONCRETE

Рассмотрены результаты исследований по использованию дисперсных техногенных продуктов, образующихся в результате обработки скальных пород (отходов камнепиления и камнеобработки) при изготовлении цементных ячеистых бетонов неавтоклавного твердения.

This paper presents the research results on using dispersed technogenic products, formed in the process of rock crushing (wastes from stone cutting and sawing), during the manufacturing of non-autoclaved cellular concrete.

ВВЕДЕНИЕ

Здания и сооружения с уменьшенной материалоемкостью могут быть возведены с применением изделий из различных ячеистых бетонов со средней плотностью 400–800 кг/м³ [1, 2]. Очевидно, что среди ячеистых бетонов массового производства достойной альтернативы газобетонам автоклавного твердения как качественным стеновым и теплоизоляционным материалам нет и в обозримом будущем, исходя из достигнутого уровня мировых знаний в области ячеистых бетонов, не предвидится.

При изготовлении ячеистых бетонов используют вяжущие системы, дисперсные микрозаполнители и добавки различной природы и функционального назначения.

В отличие от газобетонов автоклавного твердения (в качестве кремнеземистых компонентов — микрозаполнителей — в технологии производства ячеистых бетонов автоклавного твердения применяют песок, соответствующий требованиям СТБ 1727, с содержанием кварца не менее 70,0 %, слюды — не более 0,5 %, глинистых примесей — не более 5,0 %) в цементных ячеистых бетонах неавтоклавного твердения в качестве микрозаполнителей возможно применение не только кварцевого песка или вторичных продуктов обогащения руд, но и других горных пород и техногенных продуктов, в том числе и алюмосиликатных [2, 3].

ПРИМЕНЕНИЕ ДИСПЕРСНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ В КАЧЕСТВЕ МИКРОЗАПОЛНИТЕЛЕЙ

Для получения цементных ячеистых бетонов неавтоклавного твердения с уменьшенной усадкой при высыхании и повышенной прочностью R необходимо осуществлять специальную подготовку как матрицы в виде вяжущих систем, так и микрозаполнителей, то есть про-

изводить затраты энергии при эксплуатации активирующего оборудования. Технологические приемы физико-химической активации различных микрозаполнителей приведены в [2].

В работах [1, 2] показано, что если принять прочность в качестве основного параметра оптимизации структуры ячеистых бетонов, то условие $R = R_{\max}$ выполнимо при $R_c \geq R_a$, $R_c \geq R_m$ и $R_m \leq R_a$ (R_a — функция, характеризующая адгезионную прочность контакта "микрозаполнитель — матрица"; R_m , R_c — функции, характеризующие когезионную прочность матрицы и микрозаполнителя).

Наиболее распространенными способами механической и механохимической активации вяжущих веществ и другого сырья в заводских условиях являются сухой и мокрый домол в специальных помольных агрегатах (различных мельницах, дезинтеграторах), что способствует образованию более мелкокристаллической и плотной структуры цементирующего вещества с повышенным уровнем R_m .

Природа адгезионной связи между цементирующей гидросиликатной матрицей и плотным микрозаполнителем в газобетонах автоклавного твердения и цементных ячеистых бетонах неавтоклавного твердения различна и изучена недостаточно.

В [2] анализируется термодинамическая концепция адгезии, согласно которой для создания прочного контакта "микрозаполнитель — матрица" (R_a) необходимо выполнение условия

$$G_1 < G_2, \quad (1)$$

где G_1 — поверхностная энергия элементов вяжущей системы;

G_2 — поверхностная энергия микрозаполнителя.

Как следует из неравенства (1), высокий уровень R_a достижим при осуществлении активации микрозапол-

нителя, то есть при повышении уровня G_2 , так как вяжущее имеет достаточно высокий уровень G_1 и R_m . При недостаточном уровне G_2 (неактивированный микрозаполнитель) имеет место $R_m \gg R_a$.

Особую группу механоактивированных микрозаполнителей составляют техногенные продукты, образующиеся в результате обработки различных скальных пород (отходы камнепиления и камнеобработки в виде шламов с $pH \approx 6-8$), например, гранита. При высокой плотности ($2,6-2,7 \text{ т/м}^3$), твердости (до 8 единиц по шкале Мооса) и прочности (R_c) частицы отходов камнепиления имеют непостоянный минеральный состав (например, полиминеральный гранит включает кварц, полевой шпат, ортоклаз и глаукоклаз, слюды, роговую обманку и другие минералы) и поверхность, существенно более развитую по сравнению с поверхностью частиц, полученных помолом, например, в шаровой мельнице (рис. 1, 2). Уровень радиоактивности отходов камнепиления соответствует радиоактивности исходной горной породы. Микротрещиноватость частиц отходов камнепиления в результате микроскопических исследований не выявлена.

При оценке теплоты смачивания Z и гидравлической активности A_r отходов камнепиления уровень значений коэффициента вариации v не превышал уровень значений v для мономинерального кварцевого песка ($v < 0,08$; таблица 1).

ЦЕМЕНТНЫЕ ЯЧЕЙСТЫЕ БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ КАМНЕПИЛЕНИЯ

Дисперсный полиминеральный техногенный продукт — отходы камнепиления — может выполнять функцию наполнителя (заполнителя) во множестве строительных смесей, в том числе может быть использован как микрозаполнитель в производстве изделий из цементных ячеистых бетонов неавтоклавного твердения.

С применением отходов камнепиления были изготовлены образцы цементных ячеистых бетонов неавтоклавного твердения в виде кубов с ребром 15 см (ТКП 45.03-137 [3]). При этом использовались материалы: портландцемент М400, отходы камнепиления (проход через сито № 008 — 70 %, влажность — 9 мас. %), газообразователь ПАП-2 и добавка в виде негашеной извести активностью 87 %. Технология формования — литьевая. Режим пропаривания сырца: 3 + 9 + 3 при 95 °С.

Технический уровень смесительного оборудования — значимый фактор в процессе получения качественных формовочных смесей и ячеистых бетонов (некоторые турбулентные смесители являются сме-

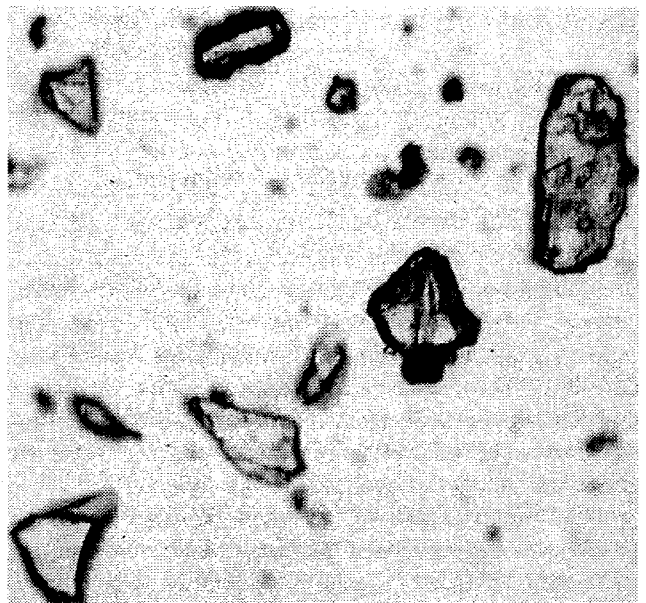


Рис. 1. Отходы камнепиления в составе техногенного шлама (частицы гранита размером 10–100 мкм)

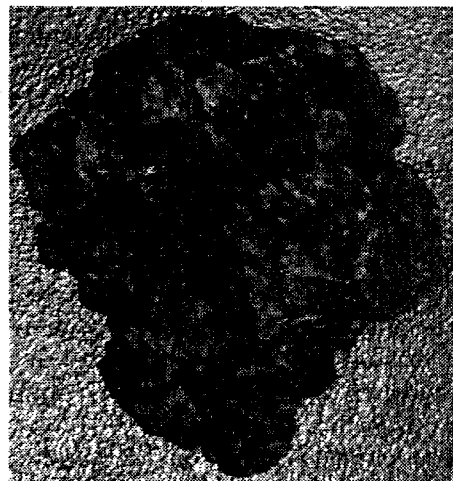


Рис. 2. Частица отходов камнепиления размером 80 мкм с развитой поверхностью

сителями-активаторами). Для изготовления качественных цементных (гидратационных) пенобетонов неавтоклавного твердения было разработано несколько опытных унифицированных турбулентных смесителей с вертикальным перемешивающим валом (верхний привод, 400–600 мин⁻¹) объемом до 3 м³, в том числе и работающих при избыточном давлении (баросмесители). В процессе решения некоторых технологических задач поризация смесей при получении цементного пенобетона осуществлялась без использования пеногенератора.

Таблица 1. Гидравлическая активность и теплота смачивания микрозаполнителей

Вид микрозаполнителя	A_r/Z (по воде)
Кварцевый песок, активированный в шаровой мельнице	5,9/2,1
Пылевидная фракция перлитовой породы	15,8/-
Зола-унос Ладыжинской ГРЭС	5,3/-
Зола-унос Бурштынской ГРЭС	5,4/-
Диатомит Кировоградский	12,8/-
Отходы камнепиления	5,2–5,8/1,5–1,9
Примечание — В числителе приведены значения A_r (мгСаО/1гSiO ₂), в знаменателе — Z (кДж/кг).	

Таблица 2. Физико-технические свойства лабораторного цементного газобетона на основе отходов камнепиления

Показатель	Среднее значение показателя
Средняя плотность, кг/м ³	560
Прочность на сжатие, МПа: после пропаривания через 28 суток естественного твердения	2,5 2,9
Марка по морозостойкости	F25
Усадка при высыхании, мм/м	2,2

Газобетонную смесь состава (кг/м³): цемент — 290, извесь — 15, отходы камнепиления — 325, вода — 280 приготавливали в модернизированном смесителе СБ-43 (С-868). Результаты определения основных физико-технических свойств лабораторного цементного газобетона неавтоклавного твердения на основе отходов камнепиления представлены в таблице 2.

При использовании отходов камнепиления с различным минеральным составом (непостоянство R_c) параметр G_2 будет иметь повышенные значения v . Вследствие этого значения R_a и R также будут варьироваться в большей степени, чем при использовании мономинерального микрозаполнителя.

Известно, что степень долговременного влияния множества технологических факторов на прочность бетона R и другие физико-технические свойства (усадку, набухание, ползучесть, морозостойкость и т. д.) существенно возрастает по мере уменьшения средней плотности как газобетонов автоклавного твердения, так и цементных ячеистых бетонов неавтоклавного твердения (цементного пенобетона и цементного газобетона). При $\rho < 400$ кг/м³ проявляется существенное влияние качественных факторов (например, "технологическая культура производства").

Непостоянство минерального состава отходов камнепиления приводит к формированию неоднородной микро(нано)структуры цементных ячеистых бетонов неавтоклавного твердения, что существенно ограничивает области безопасного применения изделий из такого бетона, особенно при $\rho < 500$ кг/м³. В воде (выдержка в суспензии в течение 15 суток) отходы камнепиления не набухают, поэтому разрушительного набухания цементных ячеистых бетонов неавтоклавного твердения в сборных изделиях не произойдет (СТБ EN 1996-1-1 [4]).

Экспериментальные формовки и испытания бетонов показали, что в диапазоне $\rho = (400-600)$ кг/м³ лабораторные цементные ячеистые бетоны неавтоклавного твердения на основе отходов камнепиления по своим основным физико-техническим свойствам практически тождественны ячеистым бетонам неавтоклавного твердения на основе молотого кварцевого песка (содержание SiO₂ не менее 70 %). Вместе с тем, у лабораторных бетонов при значении коэффициента вариации средней плотности $v_p = 0,048$ параметр v_R изменяется от 0,08 — для цементных ячеистых бетонов неавтоклавного твердения на кварцевом песке до 0,108 — для цементных ячеистых бетонов неавтоклавного твердения на основе отходов камнепиления.

Между прочностью легкого бетона (R) и его классом по прочности (C) существует вероятностная зависимость (СТБ 1187 [5]):

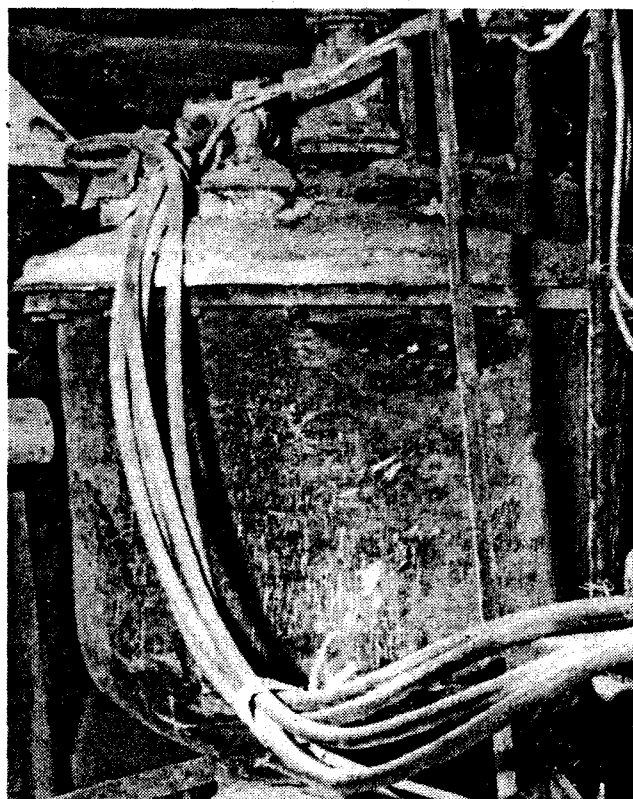


Рис. 3. Экспериментальный баросмеситель на базе химического реактора

$$C = R \cdot (1 - 1,64 v_R). \quad (2)$$

Из формулы (2) следует, что в общем случае цементный ячеистый бетон неавтоклавного твердения на основе отходов камнепиления имеет более низкий уровень (C) по сравнению с бетоном на кварцевом песке.

Более достоверная информация о физико-технических свойствах цементных ячеистых бетонов неавтоклавного твердения на основе отходов камнепиления может быть получена после формования крупноразмерных массивов (3–6 м³) при использовании современного дозирующего и смесительного оборудования.

По сравнению с лабораторными промышленные цементные ячеистые бетоны неавтоклавного твердения на основе отходов камнепиления при $\rho > 400$ кг/м³ будут иметь более высокий уровень значений параметра (C) за счет возрастания R и уменьшения v_R (скоростные промышленные турбулентные смесители обеспечивают высокий уровень однородности и кратковременную активацию формовочной смеси).

На основе отходов камнепиления получены также и лабораторные цементные пенобетоны с $\rho = (500-800)$ кг/м³. При этом применялась добавка СДО (смола древесная

омыленная; ТУ 13-0281078-02-93) и пенообразователь "Пеностром" (ТУ 2481-001-22299560-99). Формовочную смесь цементного пенобетона приготавливали в экспериментальном баросмесителе объемом 0,5 м³ (рис. 3) и заливали в секционные формы.

Были выполнены также экспериментальные исследования по введению отходов камнепиления в состав плотных гипсобетонов для изготовления стеновых пустотелых блоков и пазогребневых плит для перегородок, получены сухие строительные смеси различного назначения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1 При изготовлении качественных цементных ячеистых бетонов неавтоклавного твердения в качестве микрозаполнителей возможно применение не только кварцевого песка, но и дисперсных техногенных полиминеральных продуктов, в том числе и алюмосиликатных.

2 Целесообразно производить высокоточные сборные изделия, например, в виде стеновых блоков не только из газобетонов автоклавного твердения, но и из цементных ячеистых бетонов неавтоклавного твердения. Ячеистые бетоны в виде цементного пенобетона и цементного газобетона на основе отходов камнепиления при $\rho > 500 \text{ кг/м}^3$ могут быть рекомендованы для изготовления неармированных стеновых мелких блоков (например, для устройства наружных и внутренних ограждающих конструкций на объектах хозяйственного назначения и т. п.). Ячеистобетонные смеси на основе отходов камнепиления могут быть также использованы для монолитного бетонирования различных конструкций в построечных условиях.

3 Несмотря на ряд известных недостатков цементных ячеистых бетонов неавтоклавного твердения, качественные изделия из них, как и изделия из газобетонов автоклавного твердения, могут быть применены, например, в строительстве с уменьшенной материалоемкостью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Опекунов, В. В. Пористые бетоны и области их применения / В. В. Опекунов [и др.] // Вестник БНТУ. — 2005. — Вып. 1. — С. 10–17.
2. Опекунов, В. В. Пористые бетоны: моногр. / В. В. Опекунов. — Гродно: ГрГУ, 2011. — 193 с.
3. Песок для производства силикатных изделий. Технические условия: СТБ 1727-2007. — Введ. 01.08.2007.
4. Опекунов, В. В. Ячеистые бетоны неавтоклавного твердения / В. В. Опекунов // Строительная наука и техника. — 2009. — № 3(24). — С. 53–56.
5. Изделия из ячеистого бетона. Правила изготовления: ТКП 45.03-137-2009. — Введ. 01.03.2000.
6. Еврокод 6. Проектирование каменных конструкций. Часть 1-1. Общие правила для армированных и неармированных каменных конструкций: СТБ EN 1996-1-1-2008. — Введ. 01.07.2009.
7. Бетоны легкие. Технические условия: СТБ 1187-99. — Введ. 01.07.2000.

Статья поступила в редакцию 10.05.2011.