

УДК 669.162

**В.П. КРАВЧЕНКО**, канд. техн. наук  
(Україна, Мариуполь, "Ера плюс"),

**В.Ф. ГАНКЕВИЧ**, канд. техн. наук, **В.Я. КИБА**  
(Україна, Днепропетровск, Государственное ВУЗ "Национальный горный университет")

## **ВСПЕНЕННЫЕ ШЛАКИ, ПОЛУЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ**

### *1. Введение*

Общеизвестно, что металлургические предприятия являются одним из значительных загрязнителей окружающей среды: атмосферы, серосодержащими выбросами, земельных площадей и водных источников своими отходами. Поэтому переработка отходов металлургического производства является актуальной и может решаться в комплексе технологических процессов переработки шлаковых расплавов, твердых шлаков (гранулированных и отвальных) и исследовании и использовании грануляционной (шлаковой) воды в лечебных целях. Получение и использование вспененных шлаков является одним из звеньев в комплексной цепи шлакопереработки.

### *2. Получение вспененного шлака*

Гранулированный шлак получают в виде более или менее мелкого материала путем быстрого охлаждения, при котором огненно-жидкая струя шлака (шлаковый расплав) распадается на мелкие частицы. При производстве вспененного шлака (термозит, искусственная пемза и др.) получают более крупное зерно, воздействуя на шлаковый расплав ограниченным количеством воды. Это осуществляется одним из следующих способов: шлак опускают в воду по возможности горизонтально, или же он стекает вместе с водой по желобу (способ Schol'я, рис. 1) или же он подвергается кратковременному воздействию воды на шейке медленно вращающегося колеса (способ Reiche-Giershachia), либо в секциях вращающегося колеса (способ Ohrt'a) и др.

С.Н. Schol первый установил, что для получения пенистого строения шлака расплав при грануляции не следует спускать с большой высоты в воду, так как при этом шлак сильно охлаждается и зернится, образуя обычного вида гранулы. Так как пенистый шлак в грануляционных бассейнах сильно поглощает воду, Schol стал производить вспенивание шлака в желобах (рис. 1).

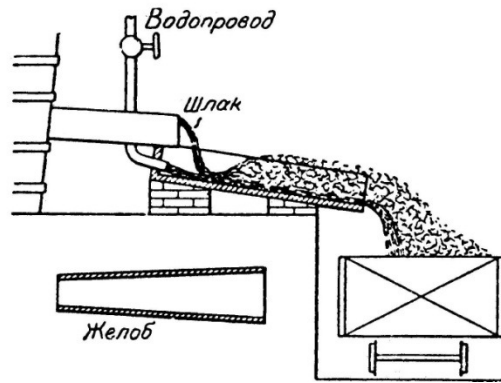


Рис. 1. Вспенивание шлака по Schol'ю

Вода в желоба вводилась в столь малом количестве так, что шлак не погружался целиком в воду и не мог образовать обыкновенный гранулят. Пар, образующийся при контакте расплавленного шлака вздувает шлак в пористую массу, состоящую из больших кусков. Так как при вспучивании масса шлака увеличивалась в объеме и загоразивала желоб, Schol стал применять желоба конусообразного сечения к выпускному концу (рис. 1). Из опыта известно, что перегретый шлак легче образует пористую массу. Следовательно, очевидно влияние температуры, а значит и вязкости, шлакового расплава на способность вспениваться.

### *3. Особенности требований к материалам для жилищного строительства*

Жилищное строительство предъявляет к строительным материалам иные требования, чем инженерные сооружения и заводское строительство. Если для последних решающим условием в большинстве случаев является прочность материала, то для жилищного строительства требуется в первую очередь материал безукоризненный с гигиенической точки зрения. Материал для жилища, при гарантии его достаточной прочности, должен быть плохим проводником тепла и звука, должен быть достаточно пористым, чтобы не затруднять обмена воздуха, на нем не должны осаждаться водяные пары жилого помещения. Кроме того, он должен быть гвоздимым и по возможности легковесным, чтобы избежать больших затрат на фундаменты и конструкции. Специальными мерами должна быть достигнута водонепроницаемость стенового материала под действием интенсивного дождя.

Из всех возможных способов работ и строительных материалов нас здесь наиболее интересует строительство из шлакового кирпича и шлакобетона, поскольку оба эти материалы допускают высококачественное выполнение работ по строительству жилых зданий при широком использовании доменных шлаков различных видов – гранулированных, кусковых и вспененных.

### *4. Микроструктура вспененного шлака*

Различают пористый, легкий граншлак имеющий зерно, диаметром в не-

скільки мм, і неоднорідну шерохувату поверхню, і важкий граншлак різноманітного зернового складу, з круглими блискучими і щільними зернами, розміри яких досягає 5-6 мм. На рис. 2 і 3 показані порошки важкого і легкого граншлаку під мікроскопом.



Рис. 2. Важкий стекловидний граншлак, розмолотий в порошок з тонкістю, соотв. ситам 2500-4900 отв/см<sup>2</sup>, під мікроскопом (×50)

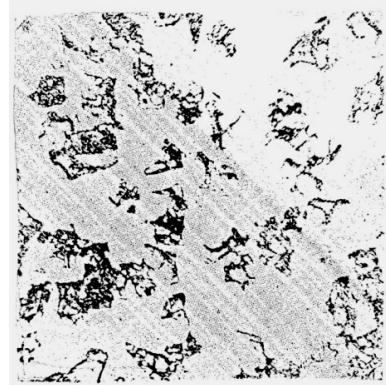


Рис. 3. Легкий стекловидний граншлак, розмолотий в порошок з тонкістю, соотв. ситам 2500-4900 отв/см<sup>2</sup>, під мікроскопом (×50)

Важкий граншлак застосовується переважно як заповнювач в розчинах і бетонах, легкий – головним чином як домішки до портованого цементу (ПЦ) і для виробництва ПЦ.

Через дроблення і просіва отримують зерна вспененого шлаку різної величини. Вони застосовуються також і як ізолюючий матеріал. На мікрошліфі (рис. 4) вспененого шлаку чітко видно здаються білими великими круглими закритими порожнечами на темному фоні стекловидного і частково розстеклованого шлаку. На рис. 5 зображено тонкий шліф пемзової щебенки, на якому видно світлі бульбашки, часто з'єднані ходами.



Рис. 4. Мікрошліф пінистого доменного шлаку в звичайному світлі (×60). Чорні місця розстеклові частини. Білі місця закриті порожнечи

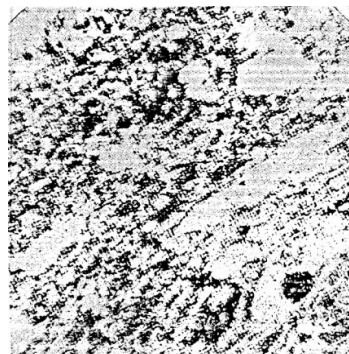


Рис. 5. Мікрошліф пемзового піску в звичайному світлі (×60). Мелкі світлі бульбашки. Деякі з них заповнені повітрям

Исследованиями установлено, что большие круглые замкнутые пустоты (рис. 4), как в доменных вспененных шлаках, в пемзе (рис. 5) встречается редко. Это различие в микроструктуре вспененного шлака и естественной пемзы обуславливает различную водопоглощаемость и отдачу влаги бетона, изготовленного на этих наполнителях.

Частичное расстеклование вспененного шлака зависит от того, что быстро охлаждается только часть шлака, принимая стекловидную структуру. Другая часть шлака, не входящая в непосредственное соприкосновение с водой, проходит через стадию более медленного остывания или, получив стекловидную структуру, теряет его в следствие неравномерного охлаждения внутренних и внешних частиц, так как вязкий шлак остается подвижным и после воздействия на него воды, то из сильно пористой массы путем отливки получают легкие камни, которые после остывания в течение нескольких часов (при  $t < 750^\circ$ ) могут быть пущены в кладку. На рис. 6 изображены полученные этим способом легковесные камни, уложенные с тонкими швами. Такие камни в зависимости от обычного веса имеют от 1/5 до 1/8 теплопроводности плотного кускового шлака и около 1/3 теплопроводности обыкновенного кирпича.

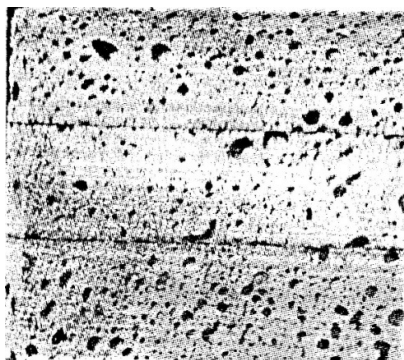


Рис. 6. Три притертых, связанных цементом, легковесных шлаковых камня (литых)

### *5. Способы производства и характеристика свойств легковесного шлакового кирпича*

Производство и применение стенового кирпича из доменных шлаков известно давно. Свойства этого материала, в частности его прочность, различны и зависят как от способа производства, так и от структуры и других свойств применяемых шлаков. Для строительства жилья особенно предпочтителен легковесный шлаковый кирпич, вследствие хороших теплозащитных свойств.

Существуют различные способы производства легковесного шлакового кирпича: способ воздушного выпаривания; способ пропаривания; способ закрепления углекислым газом (основан на химическом взаимодействии

углекислоты из газообразных продуктов горения со способными к реагированию известковыми соединениями молотых кусковых (не гранулированных) шлаков с образованием углекислой извести, которая в данном случае представляет основу прочности кирпича – метод Дреслера); метод повышения активности путем измельчения компонентов (метод Шенгефера); метод Шоля (рис. 7). Метод заключается в смешении крупнозернистого вспененного шлака с цементом в объемном соотношении 1:6 (цемент:шлак) и формование массы под небольшим давлением. Полученный легковесный кирпич выдерживается несколько дней в камере (процесс схватывания) и затем отвердевает на открытом воздухе. Кроме метода Шоля, по которому легковесные камни и кирпичи готовятся из бетона (раствора) возможен способ изготовления камней или блоков непосредственно из вспененной шлаковой массы, без применения цемента.

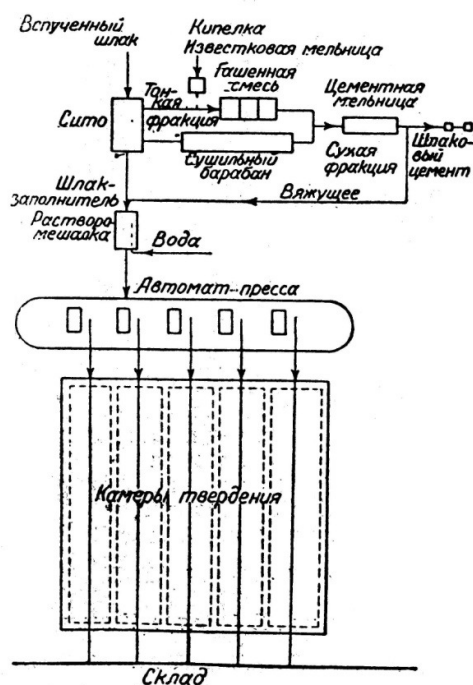


Рис. 7. Схема производства легковесного шлакового кирпича по Шолю

Для этого необходимо провести экспериментальные исследования по повышению гидравлической активности вспученных шлаков методом тонкодисперсного измельчения или использовать бесклинкерное вяжущее из доменных граншлаков [2, 4].

На основании результатов исследований и практических данных, свойства шлакового кирпича различных способов производства можно характеризовать по следующим признакам:

1. Цвет. Серовато-белый, иногда, присутствующие в шлаках соединения железа и марганца сообщают шлаковому кирпичу синеватую или буроватую

## Загальні питання технологій збагачення

окраску.

2. Размеры. По размерам шлаковый кирпич отличается разнообразием и определяется потребностями строителей.

3. Сцепление со штукатуркой хорошее и обеспечивается пористостью легковесного кирпича.

4. Морозостойкость. Согласно исследованиям [3] стена из шлакового кирпича со стороны воздействия атмосферных факторов должна быть оштукатурена.

5. Огнестойкость такая же как и у бетона.

6. Теплопроводность. Легковесный шлаковый кирпич имеет низкий коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , что обеспечивает ему значительное преимущество перед другими строительными материалами ( $\lambda_{шл.} < \lambda_{бет.}$  в 5-6 раз).

7. Водопоглощаемость или пористость высокая и имеет большое значение для обмена воздуха через стену и для сцепления кирпича со штукатуркой.

8. Гвоздимость и податливость обтеске.

9. Сцепление с раствором настолько велико, что выломать кирпич из кладки невозможно.

10. Стойкость против действия слабых кислот и щелочей.

11. Прочность. В таблице приведена прочность разного шлакового кирпича.

Результаты прочностных испытаний шлакового кирпича

Сорт кирпича	Минимальное сопротивление сжатию, кг/см <sup>2</sup>	Допустимое напряжение в кладке, кг/см <sup>2</sup>
Легкий кирпич из доменных шлаков	15	3
Обыкновенный шлаковый кирпич	30-60	3-6
Шлаковый кирпич	100	10
То же – 1 сорта	150	14
То же повышенного качества	250	18

### *6. Легкий бетон из вспененного шлака*

Развитие легкобетонного жилищного строительства получило новый импульс в связи с расширением выпуска пенистых доменных шлаков (термозит, доменная пемза, искусственная пемза и т.п.).

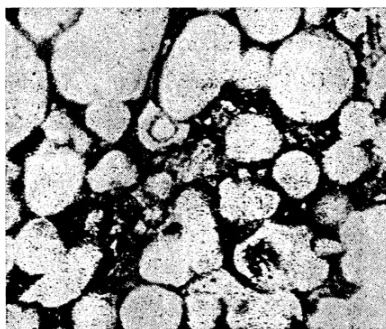


Рис. 8. Микрошлиф вспененного шлака (×60)

На рис. 8 показан микрошлиф вспененного шлака при 60-и кратном увеличении в обыкновенном свете. На снимке видны многочисленные пустоты от круглой до овальной формы, окруженные прозрачной (стекловидной) и непрозрачной массой шлака. Вспененный шлак обычно применяется с добавкой песка, отчасти для удешевления легкого бетона, отчасти для повышения его прочности. Песок используется от 0 до 2-3 мм.

При изготовлении легкого бетона рекомендуется увлажнять шлак определенным количеством воды за день до смешения с цементом и песком. Прочность легкого бетона при таком способе получается более высокой. Для защиты арматуры от ржавления, арматура перед укладкой покрывается цементным тестом.

Особенно эффективно использование вспененного шлака при строительстве 2-3-х зданий и домов поселкового типа. При этом будут хорошо сочетаться низкая себестоимость материала и отличные теплосберегающие свойства вспененного шлака. В качестве вяжущего вместо цементов можно использовать вяжущее из граншлаков по технологическим схемам разработанным в работах [4, 5].

### *Выводы*

1. Существуют различные способы получения вспененного шлака. Критерием оценки их выгодности является качество получаемого материала и его экономичность (цена) для предприятий потребителя этого материала.

2. Материалы из вяжущего доменного шлака отвечают требованиям для жилищного строительства: звукоизоляции, теплоизоляции, гигиены. По прочности пригодны для строительства домов поселкового типа.

3. Микроструктура вспененного шлака, в отличие от граншлака, содержит пузырьки воздуха, которые обеспечивают вспененному шлаку достаточную легкость и низкую теплопроводность, что делает их хорошим строительным материалом.

4. Вспененный шлак, как показала отечественная и зарубежная практика, пригодный для строительства дешевого и экологического жилья. Для этого надо развивать строительство такого направления, чтобы обеспечить высокую потребность в дешевом и качественном жилье.

### **Список литературы**

1. Гуттман А. Применение доменных шлаков. – М., 1935. – 310 с.
2. Кравченко В.П., Струтинский В.А. Гидравлическая активность доменных шлаков // Сталь – 2007. – №1 – С. 94-98.
3. О. Graf. №57, d. Deutsch Aussch.f. Eisenbeton. p. 39, 43.
4. Кравченко В.П. Рациональные технологии получения бесклинкерного вяжущего из доменных шлаков на основе измельчения и // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2009. – Вип. 46(87). – С. 41-46.

## **Загальні питання технологій збагачення**

5. Кравченко В.П. Высокоактивные вяжущие материалы из доменных шлаков и способы их получения // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2011. – Вип. 46(87). – С. 120-127.

© Кравченко В.П., Ганкевич В.Ф., Киба В.Я., 2015

*Надійшла до редколегії 20.08.2015 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. К.С. Заболотним*