

УДК 691.42

© Г. Р. Фасеева, соискатель, инженер-технолог  
(ООО Зеленодольский завод силикатного кирпича,  
Зеленодольск, Россия)

E-mail: galiya\_@mail.ru

© Ю. А. Захаров, д-р техн. наук, профессор  
(Казанский (Приволжский) федеральный  
университет, Казань, Россия)

E-mail: zaha1964@yandex.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2024-21-2-103-107

© G. R. Faseeva, PhD competitor, process engineer  
(LLC Zelenodolsk silicate brick plant,  
Zelenodolsk, Russia)

E-mail: galiya\_@mail.ru

© Yu. A. Zakharov, Dr. Sci. Tech., Professor  
(Kazan (Volga Region) Federal University,  
Kazan, Russia)

E-mail: zaha1964@yandex.ru

## УПРОЧНЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКОГО КИРПИЧА МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЭКСТРУЗИОННОГО ФОРМОВАНИЯ

### CERAMIC BRICK HARDENING BY ULTRASONIC EXTRUSION MOLDING

Представлены результаты изготовления лабораторных образцов миниатюрных кирпичиков (65 × 31 × 26 мм) из глинистого сырья для грубой строительной керамики методом вакуумной экструзии, в том числе с ультразвуковыми колебаниями фильеры. Образцы после обжига в муфельной печи при 980 °С испытаны на прочность при сжатии и изгибе. Рассматривается существенное ускорение выхода бруса из фильеры, падение в ней давления, уплотнение и упрочнение керамики, вызванное ультразвуковым воздействием на формируемый брус. Такое воздействие обеспечивает предпосылки для получения клинкера.

*Ключевые слова:* керамический кирпич, ультразвуковая экструзия, упрочнение, клинкер.

The article presents the results of manufacturing of laboratory samples of miniature bricks (65x31x26 mm) from clay raw materials for coarse building ceramics using the vacuum extrusion method, including ultrasonic vibrations of the die. Samples after firing in a muffle furnace at 980 °C were tested for compressive and bending strength. There is discussed significant acceleration of the exit of the clay from the die, the pressure drop in it, compaction and strengthening of the ceramics caused by ultrasonic effect on the molded clay. This exposure provides prerequisites for the production of clinker.

*Keywords:* ceramic brick, ultrasonic extrusion, hardening, clinker.

#### Введение

Истощение запасов высококачественного глинистого сырья вынуждает кирпичные заводы переходить на сырье среднего и низкого качества и модифицировать его добавками различных промышленных отходов [1–6]. Из-за пониженного содержания глинистых минералов в нем пластичность соответствующей шихты ухудшается, что создает проблемы для технологии экструзионного формования сырца вплоть до непроходимости бруса через фильеру [7]. В кирпиче-сырце увеличиваются остаточные напряжения, вызывающие в процессе сушки и обжига трещины и деформацию [8]. Недостаток глинистых минералов также ухудшает процесс

спекания частиц шихты на стадии обжига. Глинистые минералы являются «высокотемпературным клеем», связывающим инертные частицы шихты в керамический каркас. При его малом количестве и плохом прилегании склеиваемых поверхностей прочность керамики не может быть высокой. В этой связи для получения кирпича приемлемого качества необходимо обеспечить два технологических процесса: снизить трение бруса о стенки фильеры, более плотно упаковать частицы шихты.

В работах [9–11] показано, что указанная цель достигается с помощью возбуждения резонансных колебаний фильеры частотой порядка 30 кГц и амплитудой несколько



микрон. Уже при мощности подключаемого к фильере ультразвукового преобразователя 1,5 кВт между ее стальной стенкой и глиняным брусом возникает периодический отрыв и локальный нагрев с выпариванием влаги, которая служит эффективной смазкой. В это же самое время все частицы шихты пребывают в состоянии вибрации от ультразвука и более плотно упаковываются при сжатии. Поскольку ультразвуковая волна также проникает в часть бруса, уже вышедшего из фильеры, то она за счет «потряхивания» частиц способствует снятию остаточных напряжений в нем.

Эффективность такой ультразвуковой формовки в опубликованных работах проиллюстрирована на примере шихты для лицевого кирпича. Упрочнение керамики достигает 30 %, что является существенным приращением. Сырье для производства рядового кирпича, как правило, готовится менее тщательно (без вальцевания с минимальным зазором на валах), так как требования к качеству лицевой поверхности не предъявляются, поэтому рядовая шихта является более грубой, содержит большее количество крупных частиц. В этой связи необходимо выяснить, насколько такая шихта восприимчива к ультразвуковому воздействию, приводит ли оно к упрочнению керамики, значимому для промышленного производства.

Целью данной работы является исследование процесса ультразвукового формования лабораторных образцов рядового керамического кирпича из низкосортной глины и изменения его прочности, плотности и усадки по сравнению с обычным формованием без ультразвуковых колебаний фильеры.

#### **Методика изготовления и испытаний лабораторных образцов кирпича**

Методика изготовления образцов полностью воспроизводит заводской производственный цикл, начиная от подготовки глины и заканчивая обжигом в печи по установленной температурно-временной программе.

Оборудование, с помощью которого готовили шихту, состоит из щековой дробилки ШД-6 для измельчения сухой глины, смесителя глины с водой, вальцев ДВГ 200 × 125 и вакуумного экструдера Verdes-050. Увлажненную до 20 % глину сначала выдержали в полиэтиленовом пакете в течение суток, а затем однократно пропустили через вальцы с зазором 2 мм и сразу приступили к формовке образцов. Использовали фильеру с выходным сечением 72×34 мм [9]. К фильере привинчен ультразвуковой преобразователь ПМС-1,5 с генератором И10-1.5 мощностью 1,5 кВт для создания резонансных вибраций фильеры с частотой около 32 кГц. Формование осуществили при вакуумировании шихты –0,9 бар и частоте вращения шнека 25 Гц как в обычном режиме, так и с включением ультразвукового воздействия. После нарезки струнным резакон полученного бруса на брикеты толщиной 27 мм их сушили в течение трех суток в комнатных условиях, а затем еще сутки в сушильном шкафу при 50 °С.

Обжиг проводили в лабораторной муфельной печи (рис. 1). Образцы загружали в печь при комнатной температуре и нагревали до температуры 980 °С со скоростью 1 °С/мин, выдерживали при достигнутой температуре 4 ч, затем охлаждали до 50 °С по мере естественного остывания печи.

Предел прочности при сжатии керамических образцов определяли на прессе гидравлическом ПГМ-500МГ4 при подаче нагрузки 1 МПа/с. Для измерения прочности при



Рис. 1. Образцы в печи до и после обжига



изгибе образец устанавливали на двух опорах специального приспособления к прессу с расстоянием между опорами 52 мм. Нагрузку подавали со скоростью 0,1 МПа/с. Пресс автоматически регистрировал значение приложенной силы в момент разрушения керамики. Процедура испытаний соответствовала п. 3 ГОСТ 8462-85. Для каждого испытания использовано по 10 случайно выбранных из партии образцов.

### Результаты и их обсуждение

Из-за низкой пластичности шихты образцы из нее формовались с трудом. Давление в фильере составляло 10 бар, а скорость выхода бруса была минимальной — 2 мм/с. Включение ультразвуковых вибраций фильеры значительно облегчило выход бруса — давление упало до 5 бар, а скорость возросла до 10 мм/с. Все образцы получились без видимых сушильных и обжиговых дефектов и трещин. После разрушения сжатием в прессе наблюдалось расщепление материала, а не превращение его в труху (рис. 2). При испытаниях на изгиб образцы разламывались пополам (рис. 3). Все это свидетельствовало о формировании весьма прочного керамического черепка.

При заданной температуре обжига кирпич получился с серой сердцевиной. Это допускается при производстве рядового кирпича, но указывает на возможность снизить температуру для экономного обжига данной керамической массы. Линейная усадка обо-



Рис. 2. Образец после разрушения сжатием



Рис. 3. Обломки образцов после испытания на изгиб (справа образцы с ультразвуковой формовкой)

их видов образцов составила 11 %. Плотность ультразвуковой керамики увеличилась на 1 %.

Результаты измерений разрушающей силы при сжатии и изгибе образцов представлены в таблице и на рис. 4, 5 по убыванию силы.

Наблюдается разброс значений разрушающей силы как при сжатии, так и при изгибе. Отношения максимальных значений к минимальным соответственно составили 3,4 и 7,9 раза. Ультразвуковая формовка уменьшает их до 2,4 и 3,2 раза, а суммарное и среднее значения сил при этом возросли на 37 и 27 %. Учитывая, что размеры образцов

### Результаты определения прочности образцов

№ по убыванию прочности	Разрушающая сила, кН			
	при сжатии образца		при изгибе образца	
	без УЗ обработки	с УЗ обработкой	без УЗ обработки	с УЗ обработкой
1	87,76	106,5	7,86	7,8
2	74,29	105,2	6,63	6,6
3	74,26	103,4	5,38	6,29
4	61,44	86,85	5,31	5,76
5	57,46	84,13	4,04	5,56
6	49,84	68,48	3,95	5,46
7	49,47	64,85	3,39	5,13
8	46,16	63,89	2,83	5,1
9	41,54	49,4	2,38	4,2
10	26,05	43,71	1,00	2,47
<b>Сумма</b>	<b>568,27</b>	<b>776,41</b>	<b>42,77</b>	<b>54,37</b>
<b>Среднее</b>	<b>56,83</b>	<b>77,60</b>	<b>4,28</b>	<b>5,44</b>

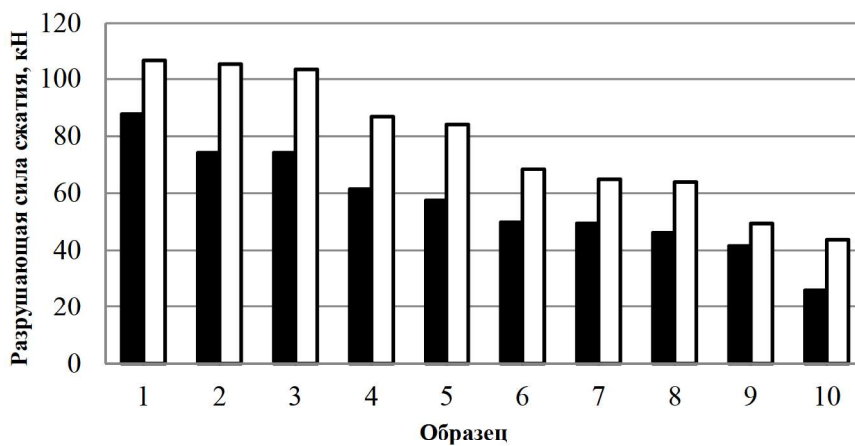


Рис. 4. Расставленные по убыванию результаты измерений разрушающей силы (кН) при сжатии образцов, полученных без ультразвукового воздействия (черные столбцы) и с ним (белые столбцы)

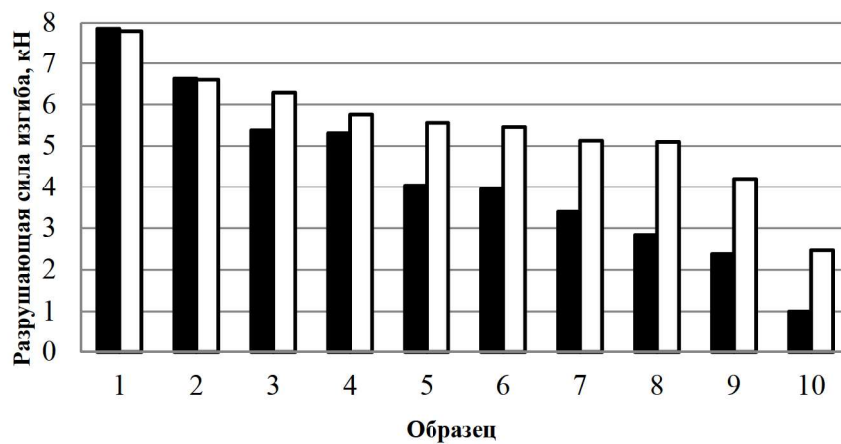


Рис. 5. Расставленные по убыванию результаты измерений разрушающей силы (кН) при изгибе образцов, полученных без ультразвукового воздействия (черные столбцы) и с ним (белые столбцы)

равны  $65 \times 31 \times 26$  мм, предел прочности, вычисленный по среднему значению разрушающей силы на сжатие, равен 28 МПа, но благодаря ультразвуковому формованию он увеличивается до величины 38,5 МПа. С практической точки зрения это означает, что при обычном формовании из данной глины получается кирпич марки М250, а при ультразвуковом — марка даже выше, чем М300, то есть при прочих равных условиях выходит уже клинкерный кирпич. Для второсортной малопластичной глины это отличный результат, который не уступает улучшениям, достигаемым традиционным

методом модификации глины различными добавками [1–6].

#### Выводы

В лабораторных условиях показано, что ультразвуковая формовка существенно повышает прочность керамики из низкосортной глины для производства рядового кирпича как на сжатие, так и на изгиб. Обеспечивается переход кирпича марки М250 в разряд клинкера М300. Это достигается за счет более плотной упаковки частиц грубой шихты в поле действия ультразвуковой волны, снижения трения о стенки фильеры и снятия остаточных напряжений при выходе бруса из экструдера.



**Библиографический список**

1. Boltakova N. V., Faseeva G. R., Kabirov R. R., Nafikov R. M., Zakharov Yu. A. Utilization of inorganic industrial wastes in producing construction ceramics. Review of Russian experience for the years 2000–2015 // *Waste Management*. 2017. Vol. 60. Pp. 230–260.
2. Zhang L. Production of bricks from waste materials – A review // *Construction and Building Materials*. 2013. Vol. 47. Pp. 643–655.
3. Raut S. P., Ralegaonkar R. V., Mandavgane S. A. Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks // *Construction and Building Materials*. 2011. Vol. 25. Pp. 4037–4042.
4. Muñoz Velasco P., Morales Ortíz M. P., Mendivil Giró M. A., Muñoz Velasco L. Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material – A review // *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 63. Pp. 97–107.
5. Bories C., Borredon M.-E., Vedrenne E., Vilarem G. Development of eco-friendly porous fired clay bricks using pore-forming agents: A review // *Journal of Environmental Management*. 2014. Vol. 143. Pp. 186–196.
6. Vieira C. M. F., Monteiro S. N. Incorporation of solid wastes in red ceramics – an updated review // *Revista Matéria*. 2009. Vol. 14, № 3. Pp. 881–905.
7. Händle F. *Extrusion in Ceramics. Engineering Materials and Processes*. Springer Berlin, Heidelberg, 2007. 413 p.
8. Чижский А. Ф. Сушка керамических материалов и изделий. М.: Стройиздат, 1971. 177 с.
9. Kabirov R. R., Garipov L. N., Faseeva G. R., Nafikov R. M., Lapuk S. E. Prototyping of Ultrasonic Die for Extrusion of Ceramic Brick // *Glass and Ceramics*. 2017. Vol. 74. Pp. 85–90.
10. Faseeva G. R., Nafikov R. M., Lapuk S. E., Zakharov Y. A., Novik A. A., Vjuginova A. A., Kabirov R. R., Garipov L. N. Ultrasound-assisted extrusion of construction ceramic samples // *Ceramics International*. 2017. Vol. 43, Iss. 9. Pp. 7202–7210.
11. Faseeva G. R., Nafikov R. M., Lapuk S. E., Kiyamov A. G., Zakharov Yu. A., Kabirov R. R., Garipov L. N., Lyadov N. M., Faizrakhmanov I. A. Clay

Modifier Activation for Ceramic Brick by Ultrasonic Extrusion // *Glass and Ceramics*. 2018. Vol. 74. Pp. 450–455.

**References**

1. Boltakova N. V., et al. Utilization of inorganic industrial wastes in producing construction ceramics. Review of Russian experience for the years 2000 –2015. *Waste Management*, 2017, vol. 60, pp. 230–260.
2. Zhang L. Production of bricks from waste materials. *Construction and Building Materials*, 2013, vol. 47, pp. 643–655.
3. Raut S. P., Ralegaonkar R. V., Mandavgane S. A. Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks. *Construction and Building Materials*, 2011, vol. 25, pp. 4037–4042.
4. Muñoz Velasco P., Morales Ortíz M. P., Mendivil IGiró M. A., Muñoz Velasco L. Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material. A review. *Construction and Building Materials*, 2014, vol. 63, pp. 97–107.
5. Bories C., Borredon M.-E., Vedrenne E., Vilarem G. Development of eco-friendly porous fired clay bricks using pore-forming agents. A review. *Journal of Environmental Management*, 2014, vol. 143, pp. 186–196.
6. Vieira C. M. F., Monteiro S. N. Incorporation of solid wastes in red ceramics. An updated review. *Revista Matéria*, 2009, vol. 14, no. 3, pp. 881–905.
7. Händle F. *Extrusion in Ceramics. Engineering Materials and Processes*. Springer Berlin, Heidelberg, 2007, 413 p.
8. Chizhskiy A. F. *Sushka keramicheskikh materialov i izdeliy* [Drying of ceramic materials and products]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1971, 177 p.
9. Kabirov R. R., et al. Prototyping of ultrasonic die for extrusion of ceramic brick. *Glass and Ceramics*, 2017, vol. 74, pp. 85–90.
10. Faseeva G. R., et al. Ultrasound-assisted extrusion of construction ceramic samples. *Ceramics International*, 2017, vol. 43, iss. 9, pp. 7202–7210.
11. Faseeva G. R., et al. Clay modifier activation for ceramic brick by ultrasonic extrusion. *Glass and Ceramics*, 2018, vol. 74, pp. 450–455.