

## УСАДОЧНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ СУШКЕ ПЕНОКЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Дмитриев К.С.

*ФГБОУВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Россия (190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4), e-mail: dm-konstantin@mail.ru*

---

С каждым годом во многих странах все более интенсивно исследуются вопросы энергосбережения и энергоэффективности с учетом соблюдения норм экологичности применения строительных материалов. Работа посвящена комплексному исследованию усадочных деформаций при сушке пенокерамических изделий. Рассмотрены особенности воздушной усадки пеноглиняных масс как на этапе укладки в формы и предварительной выдержки, так и в период интенсивной сушки в распалубленном состоянии. Сделан анализ основных особенностей проявления усадочных деформаций в технологии керамики, выбраны наиболее рациональные способы их снижения. Установлено количественное соотношение испаряемой воды при сушке пенокерамических сырцов по сравнению с кирпичом-сырцом, изготовленным пластическим методом формования. В результате эксперимента установлено положительное влияние в составе пеноглиняных масс армирующего компонента (базальтовой фибры): снижение линейной воздушной усадки до 20 % с одновременным увеличением прочностных характеристик обожженных образцов.

---

Ключевые слова: коагуляция, шликер, пенообразователь, глина.

## OF SHRINKAGE DURING DRYING OF CERAMIC FOAM PRODUCTS

Dmitriev K.S.

*Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Russian Federation (190005, Saint-Petersburg, 2-ya Krasnoarmeyskaya street, 4), e-mail: dm-konstantin@mail.ru*

---

Every year in many countries more intensively studied energy conservation and energy efficiency, taking into account compliance with the application of environmental building materials. The work is devoted to the complex research on drying shrinkage deformation of ceramic foam products. The features of air masses penoglinyanyh shrinkage both during installation and in the form of pre-exposure and in a period of intense drying raspalublennom condition. The analysis of the main features of the manifestation of shrinkage strain in the technology of ceramics, selected the most rational ways to reduce them. The quantitative ratio of water evaporated in drying ceramic foam Sirtcov compared with raw brick, manufactured by plastic molding. The experiment found a positive effect in the composition of the mass penoglinyanyh reinforcing component (basalt fiber) decrease in a linear shrinkage of air up to 20% while increasing the strength characteristics of the fired samples.

---

Keywords: coagulation, slurry, foaming agent, clay.

Задачи по решению вопросов, связанных с энергоэффективностью и энергосбережением, являются приоритетными научными направлениями во многих развитых странах. В строительной отрасли эти проблемы связаны, прежде всего, с развитием производства и применением эффективных стеновых материалов и изделий. Снижение топливных издержек и материалоемкости при производстве, повышение коэффициента конструктивного качества строительных материалов и изделий, улучшение их теплофизических характеристик – основные перспективы развития мирового строительного кластера. Обозначенные проблемы уже решаются путем расширения выпуска стеновых изделий с улучшенными эксплуатационными характеристиками, а также заменой мелкоштучных изделий крупноформатными [3,5].

Получение таких материалов в технологии строительной керамики возможно за счет создания ячеистой матрицы керамического черепка. Пористую структуру керамических изделий получают путем введения в состав глинистой смеси различных порообразователей, выгорающих добавок, пористых заполнителей и т. д. [4]. Возможность экономии энергетических и материальных резервов проявляется в комплексном использовании местного глинистого сырья. Одним из перспективных направлений в технологии ячеистой керамики для стеновых ограждающих конструкций является способ пенообразования, который отличается достаточной простотой в реализации производства на существующих предприятиях по выпуску керамических изделий, так и на новых заводах, использующих комплексные технологические передельные технологии пенобетона и стеновой глиняной керамики.

### Цель и задачи

Целью работы является снижение влияния усадочных деформаций при сушке пенокерамического сырца, сохраняя заданные прочностные характеристики готовых изделий. Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- анализ физико-механических процессов глинистого сырья при сушке;
- выбор способов снижения сушильных деформаций пенокерамических сырцов;
- оценка прочностных показателей готовых пенокерамических образцов.

### Выбор и характеристики исходных сырьевых материалов

Основные требования к глинистому сырью для получения бездефектных пенокерамических изделий: легкоплавкость и высокая способность к коагуляции. С учетом этих факторов для исследования были отобраны 2 вида глинистого сырья, а именно: глина боровичско–любытинская (Новгородская область) и кембрийская глина (Ленинградская область).

Химический состав используемых глин приведен в таблице 1.

**Таблица 1**

Химический состав глинистого сырья

№ п/п	Наименование глины	Содержание оксидов, %						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O+ K <sub>2</sub> O	п.п.п
1	Боровичско–любытинская	55,34	17,70	7,29	4,53	2,42	4,32	7,99
2	Кембрийская	61,10	17,92	6,30	1,15	3,64	5,36	4,53

При изготовлении пенокерамических изделий применялись следующие добавки к основному глинистому сырью:

- натриевое жидкое стекло (электролит);
- «ПБ–2012» (синергетическая смесь анионоактивных ПАВ);

- бой керамического кирпича с максимальным размером зерна 0,16 мм;
- нить базальтовая рубленая (армирующая добавка).

### **Особенности сушки пенокерамических материалов**

Процесс сушки пенокерамических материалов состоит из двух основных переделов: выдержка уложенной пеноглиняной массы в формах до достижения необходимой пластической прочности и сушка пеноглиняного сырца после распалубки.

Набор необходимой структурной вязкости и пластической прочности достигается за счет способности глинистого сырья к активной коагуляции, в том числе под влиянием электролитов, а также благодаря тиксотропным свойствам глиняных масс [1]. Особенностью данной работы является отсутствие в составе пеноглиняных масс специальных добавок–коагулянтов. Чем коагуляционные способности глины выражены сильнее, тем быстрее можно осуществить распалубку отформованных изделий.

Сушка пеноглиняных изделий обладает рядом отличных от сушки кирпича-сырца особенностей.

В теории сушки классических керамических изделий рассматривается системы «твердые частицы – вода – газ». В данном случае пеноглиняная масса в начальный период времени содержит в себе неразрушенную пену. Устойчивость пены определяет начало ее разрушения и, следовательно, увеличения показателя паропроницаемости отформованных масс. Наличие пены и малая величина пластической прочности сырца на ранней стадии не позволяют поднять температуру в сушильной камере выше 40 °С. Ускоренный прогрев материала приводит к его разрушению от действия растягивающих напряжений. При повышении температуры до 50 °С и выше наблюдается повышение давления пара в пузырьках пены. Далее происходит увеличение размеров пузырьков в пеноглиняной массе, приводящее к образованию «горбушки» и нарушению сплошности сырца.

Испарение воды из тел с пористой структурой отличается от испарения жидкости со свободной поверхности, т.к. плоскость испарения расположена на некоторой глубине от поверхности. В поризованной массе изменение глубины плоскости испарения происходит по мере разрушения пены, что приводит к возрастанию коэффициента теплообмена [2].

Стоит отметить, что при сушке пенокерамических изделий количество испаряемой воды меньше, чем выделяется пара при сушке полнотелого керамического кирпича, изготовленного методом пластического формования. Докажем данное утверждение следующим расчетом.

Абсолютная формовочная влажность в среднем составляет для пенокерамических изделий – 50–70 %, для полнотелого кирпича – 15–25 %. Массу испаряемой воды определяем из формулы 1:

$$m_{в} = W_{абс} m_{с} , \quad (1)$$

где:  $W_{абс}$ – абсолютная формовочная влажность, кг/кг;  $m_{с}$ – масса абсолютно сухого изделия.

Массу испаряемой воды при сушке пенокерамического кирпича и керамического кирпича пластического формования выражаем из формул 2 и 3 соответственно:

$$m_{в1} = W_{абс1} m_{с1} , \quad (2)$$

$$m_{в2} = W_{абс2} m_{с2} , \quad (3)$$

Абсолютная формовочная влажность пенокерамических изделий в среднем выше влажности кирпича пластического формования в 3 раза (формула 4):

$$W_{абс1} = 3W_{абс2} , \quad (4)$$

Плотности изделий из пенокерамики и полнотелого кирпича в сухом состоянии составляют около 600 кг/м<sup>3</sup> и 1800 кг/м<sup>3</sup> соответственно. Следовательно, соотношение масс высушенных изделий одинакового размера (формула 5):

$$m_{с1} = 1/3 m_{с2} , \quad (5)$$

Используя соотношения (4) и (5), получаем (формула 6):

$$\frac{m_{в1}}{m_{в2}} = \frac{W_{абс1} m_{с1}}{W_{абс2} m_{с2}} = \frac{3W_{абс2} m_{с2}}{W_{абс2} m_{с2}} = 1, \quad (6)$$

Итог, количество воды, которая испаряется при сушке изделий из пенокерамики и пластического формования, примерно одинаково [2]. Пенокерамические изделия с пониженной плотностью от 400 до 550 кг/м<sup>3</sup> при формовочной влажности вспененных масс 50–60 % позволяют испарять воды меньше до 1,5 раз по сравнению с полнотелым керамическим кирпичом.

Кроме того, процессы исследования сушильных процессов пенокерамических изделий сопровождаются уникальным набором получаемых результатов для каждого состава пеноглиняных масс, что не позволяет заранее рассчитать режим сушки и спроектировать конечные свойства высушенных изделий.

### **Исследование сушильных деформаций пенокерамических изделий**

Отсутствие в сырцовой структуре сушильных трещин – один из главных показателей качественного проектирования состава и режима сушки пенокерамических сырцов. Основные причины появления трещин в процессе сушки заключаются в следующем:

1. Усадка изделий появляется из-за перемещения его наружных слоев к центру. На ранней стадии сушильных процессов, когда пластическая прочность изделий относительно мала, вероятность разрыва сплошности велика, в том числе и благодаря адгезии пеноглиняной массы к стенкам формы. Возникающие трещины направлены перпендикулярно граням с наибольшими размерами.

2. В силу неравномерности влагосодержания по толщине изделия в процессе сушки происходят разные по величине усадочные деформации отдельных его слоев. Испарение влаги, уложенной в форму пеноглиняной массы, происходит только с открытой поверхности. После распалубки испарение происходит также и с четырех боковых поверхностей сырца. В результате у основания сырца создается область с наибольшим влагосодержанием, обладающей наименьшей усадкой. Вследствие этого возникают растягивающие напряжения на поверхности и сжимающие напряжения у основания образца. Такое распределение напряжений является причиной опасных деформаций сырца: кривизна, коробление, появление трещин.

Для проведения эксперимента по уменьшению воздушной усадки пенокерамических сырцов изготавливались образцы, размерами 40×40×160 мм. Распределение пенокерамической массы в форме после укладки изображено на рисунке 1.



*Рис.1. Распределение пенокерамической массы в форме после укладки*

Коагуляционная способность глины повышает пластическую прочность сырца в начальный период сушки и позволяет осуществить распалубку изделий через 3–4 часа после укладки пеноглиняной массы в форму, снижая тем самым вероятность появления трещин. Для уменьшения сушильных деформаций в исходный состав до вспенивания добавляется армирующие компоненты. В данной работе используются базальтовые волокна длиной 7 мм. Шликерная технология подготовки пеноглиняных масс позволяет равномерно распределить фибру по всему объему. Волокна ориентированы в объеме изделия беспорядочно, занимая различные возможные направления. Базальтовая фибра компенсирует растягивающие напряжения, препятствуя тем самым образованию трещин и уменьшая усадку сырцов. Компонентные составы пенокерамических образцов на основе глины боровичско-любыйтинской и кембрийской отражены в таблице 2. Показатель

относительной вязкости для всех составов глиняных шликеров находится в диапазоне от 1,50 до 1,55. Плотность пеноглиняных масс: в пределах 550–560 кг/м<sup>3</sup>.

**Таблица 2**

Компонентные составы пенокерамических образцов

№ п/п	Компонент	Номер образца с содержанием компонента, % по массе							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Боровичско–любытинская глина	42,2	42,2	42,2	42,2	–	–	–	–
2	Кембрийская глина	–	–	–	–	41,1	41,1	41,1	41,1
3	Бой керамического кирпича (d≤0,16 мм)	–	–	18,2	18,1	–	–	17,6	17,86
4	Бой керамического кирпича (d≤0,125 мм)	18,2	18,1	–	–	17,6	17,86	–	–
5	Базальтовая фибра	–	0,14	–	0,14	–	0,14	–	0,14
6	Электролит	1,9	1,86	1,9	1,86	1,4	1,4	1,4	1,4
7	Вода	35,8	35,8	35,8	35,8	37,6	37,6	37,6	37,6
8	ПАВ	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9

Структура поверхности срезов в высушенном и обожжённом образцах представлена на рисунках 2 и 3 соответственно.



*Рис. 2. Структура поверхности среза высушенного пенокерамического сырца*

Через 4 часа после формования образцы-балочки освобождаются от стенок формы, предварительно выдерживаются при комнатной температуре 24 часа, и затем подвергаются тепловой обработке в сушильном шкафу с постепенным поднятием температуры до 80 °С. Образцы высушивались до влажности не более 5 %. Температурный интервал обжига пенокерамических изделий на основе боровичско-любытинской и кембрийской глин составляет 950–980 °С.

Обжиг происходил в лабораторной электрической печи. Подъем температуры осуществлялся со скоростью 250 °С/час. Изотермическая выдержка при достижении максимальной температуры обжига составила 180 минут.



Рис. 3. Структура поверхности среза обожжённого пенокерамического образца

Охлаждение обожженных пенокерамических изделий осуществлялось естественным образом. Результаты исследования сведены в таблицу 3.

**Таблица 3**

Физико-механические показатели высушенных и обожженных образцов

№ п/п	Наименование показателя	Номер образца							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Линейная воздушная усадка, %	12,7	10,2	11,9	9,6	13,1	10,9	12,5	10,2
2	Средняя плотность после сушки, кг/м <sup>3</sup>	468	465	471	473	481	479	478	482
3	Предел прочности при сжатии после сушки, МПа	1,15	1,32	0,80	0,88	0,95	1,18	0,78	0,87
4	Средняя плотность после обжига, кг/м <sup>3</sup>	458	456	460	462	470	467	466	471
5	Предел прочности при сжатии после обжига, МПа	3,24	3,52	2,46	2,59	2,92	3,18	2,31	2,43

В результате эксперимента установлено:

1. Введение в состав пенокерамических масс базальтовой фибры позволило снизить значения линейной воздушной усадки до 20 % с увеличением значения прочности при сжатии до 8 % по сравнению с контрольными составами.

2. Максимальная крупность зерен наполнителя (бой керамического кирпича) значительно влияет на качество обожженных образцов. Чем тоньше осуществлен помол наполнителя, тем выше значения прочности поровой структуры будущего пенокерамического изделия. Стоит отметить, что использование в составе наполнителя с

максимальной крупностью зерен более 0,16 мм значительно снижает прочность пенокерамических изделий при сжатии.

Прочностные показатели пенокерамических образцов находятся в пределах класса прочности при сжатии В1–В2,5. Прочность при сжатии пенокерамического образца (В2,5) соответствует нормируемым значениям прочности для изделий из ячеистых бетонов при одинаковой марке по средней плотности (D500).

### Список литературы

1. Завадский В.Ф., Путро Н.Б., Максимова Ю.С. Поризованная строительная керамика // Строительные материалы. – 2004. – № 2. – С. 50–51.
2. Кролевецкий Д. В. Пенокерамические стеновые и теплоизоляционные изделия на основе легкоплавких глин: дис... канд. тех., наук. – М., 2005. – С. 39–40.
3. Кукса П. Б., Акберов А. А. Высокопористые керамические изделия, полученные нетрадиционным способом // Строительные материалы. – 2004. – № 2. – С.34–35.
4. Хузагарипов А.Г., Габидуллин М.Г. Регулирование структуры сырца при производстве пенокерамики комплексными стабилизаторами // Академические чтения РААСН «Достижения, проблемы и направления развития теории и практики строительного материаловедения». – Пенза; Казань, 2006. – С. 436–437.
5. Хузагарипов А.Г., Габидуллин М.Г. Пенокерамические материалы с комплексными добавками флюсующего действия // Строительные материалы. – 2007. – № 9. – С.

### Рецензенты:

Пухаренко Ю.В., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой технологии строительных материалов и метрологии, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург;

Харитонов А.М., д.т.н., профессор, доцент кафедры технологии строительных материалов и метрологии, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург.