

УДК 691.4

Г.В. Сопегин, С.М. Федосеев

G.V. Sopegin, S.M. Fedoseev

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СТЕКЛОСОДЕРЖАЩЕГО КОМПОНЕНТА НА ДООБЖИГОВЫЕ СВОЙСТВА ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF THE GLASS-CONTAINING COMPONENT ON THE PRE-FIRING PROPERTIES OF CLAY RAW MATERIALS

Представлены результаты исследований дообжиговых свойств (формовочная влажность, пластичность, чувствительность к сушке и воздушная усадка) глинистого сырья с пористой стеклосодержащей добавкой. В качестве стеклосодержащей добавки использовалось молотое гранулированное пеностекло с размером зерен менее 0,063 мм, которое вводилось в глинистую шихту в количестве 5, 10 и 15 % по массе. Результаты исследований показали эффективность и целесообразность модификации глинистого сырья добавкой стеклосодержащего компонента, позволяющей на 15 % повысить трещиностойкость изделий на стадиях сушки.

Ключевые слова: воздушная усадка, глинистое сырье, гранулированное пеностекло, керамическая отрасль, пластичность, стеклосодержащий компонент, сушка, трещиностойкость, формовочная влажность, чувствительность глин к сушке.

The results of studies of pre-firing properties (molding moisture, plasticity, sensitivity to drying and air shrinkage) of clay raw materials with a porous glass-containing additive are presented. As a glass-containing additive, used ground granulated foam glass with a grain size of less than 0.063 mm, which was introduced into the clay mixture in an amount of 5, 10 and 15 % by weight. The research results have shown the effectiveness and feasibility of modifying clay raw materials by adding a glass-containing component, which makes it possible to increase the crack resistance of products in the amount of 15 % at the drying stages.

Keywords: air shrinkage, clay raw materials, granulated foam glass, ceramic industry, plasticity, glass-containing component, drying, crack resistance, molding moisture, sensitivity of clays to drying.

В условиях современной непростой экономической ситуации перед предприятиями керамической отрасли стоит задача максимально использовать все находящиеся в их распоряжении сырьевые ресурсы для получения товарной продукции. Многие действующие предприятия сталкиваются с проблемой полной выработки своих месторождений кондиционного глинистого сырья и необходимо уделять внимание разработкам составов формовочных масс на основе низкосортных глин и суглинков.

Наиболее перспективным направлением в решении вопроса об использовании низкосортного исходного сырья и возможности получения эффективной и качественной продукции является модификация его за счет применения различного вида добавок. Одними из таких добавок могут быть постоянно накапливаемые техногенные отходы промышленности. В связи с этим целесообразно модифицировать глинистое сырье техногенными пористыми и стеклосодержащими материалами, которые позволят снизить плотность и повысить спекаемость керамических масс [1–11].

Таким образом, исследование комплекса технологических и физико-механических свойств глинистого сырья и изучение возможности производства высококачественной стеновой керамики из низкосортного глинистого сырья при введении добавок-модификаторов на основе техногенных отходов приобретает особую важность и актуальность.

Цель работы заключалась в исследовании влияния стеклосодержащего компонента, представленного молотым гранулированным пеностеклом, на дообжиговые свойства глинистого сырья (формовочная влажность, пластичность, чувствительность к сушке и воздушная усадка).

Материалы и методы. Для проведения исследования в работе были использованы следующие материалы.

1. Глина из карьера Таушинского месторождения Пермского края (кирпично-черепичные глины). Продуктивная толща сложена четвертичными элювиально-делювиальными глинами и представляет собой пластообразную залежь мощностью 7,7 м. Данная глина относится к группе кислого сырья. Химический состав глины и ее гранулометрический состав представлены в табл. 1 и 2 соответственно.

Таблица 1

Химический состав глины Таушинского месторождения

Химический состав, %							
SiO ₂	Al ₂ O ₃ +TiO ₂	Fe ₂ O ₃ +FeO	CaO	MgO	K ₂ O+Na ₂ O	SO ₃	П.П.П.
61,0–65,6	13,6–19,6	5,2–6,9	1,8–4,4	2,3–2,7	1,9–3,4	0,04–0,07	4,78–7,14

Таблица 2

Гранулометрический состав исходной глинистой шихты

Номер пробы	Начальный объем пробы, см ³	Количество глинистого вещества, %	Объем песка, см ³	Количество песка, %	Количество пыли, %	Тип глинистого сырья
1	10	20,43	4,74	47,4	32,17	Тяжелый суглинок
2	10	20,43	4,67	46,7	32,87	Тяжелый суглинок
Среднее значение		20,43	–	47,05	32,52	Тяжелый суглинок

2. Стеклосодержащий компонент (ССК). В качестве добавки-модификатора исходного глинистого сырья принято пористое стеклосодержащее техногенное сырье, представленное продуктами дробления гранулированного пеностекла с размером зерен менее 0,063 мм. Основными химическими соединениями, присутствующими в составе исходного гранулированного пеностекла, являются оксиды кремния, алюминия, натрия и железа, а также химические элементы К, Mg, Ti.

Добавка ССК вводилась в исходную шихту по массе в количестве 5, 10 и 15 %.

Определение гранулометрического состава исходного глинистого сырья осуществлялось методом Рутковского, основанным на способности глинистых частиц набухать в воде и на различной скорости падения частиц в воде в зависимости от их размеров.

Определение дообжиговых свойств (формовочная влажность, пластичность, чувствительность к сушке, воздушная усадка) глинистого сырья бездобавочного состава и с добавкой ССК проводилось по ГОСТ 21216–2014.

Результаты исследования. В табл. 3 представлены результаты определения формовочной влажности, которая рассчитывалась по формуле

$$W_{\text{форм}} = \frac{m_1 - m_2}{m_1} 100,$$

где m_1 – масса влажной навески, г; m_2 – масса навески в сухом состоянии, г.

Таблица 3

Формовочная влажность глинистого сырья с добавкой ССК

Состав исходной смеси	Номер образца	Масса образца, г		Формовочная влажность, %	
		влажного	сухого	абсолютная по массе	относительная по массе
100% ИГШ	1	51,26	39,10	31,10	23,72
	2	52,04	39,70	31,08	23,71
	Среднее значение		31,09	23,72	
95% ИГШ+5% ССК	1	52,17	40,00	30,43	23,33
	2	49,49	38,10	29,90	23,01
	Среднее значение		30,17	23,17	
90% ИГШ+10% ССК	1	49,79	38,20	30,34	23,28
	2	51,34	39,30	30,64	23,45
	Среднее значение		30,49	23,37	
85% ИГШ+15% ССК	1	49,96	38,20	30,79	23,54
	2	49,96	38,10	31,13	23,74
	Среднее значение		30,96	23,64	

Примечание: ИГШ – исходная глинистая шихта.

Как следует из приведенных в табл. 3 данных, введение ССК в глинистую шихту привело к снижению величины формовочной влажности. Наибольшее снижение формовочной влажности наблюдается у состава, содержащего 5 % ССК.

При высокой дисперсности добавки ССК содержание открытых пор, способных поглощать и удерживать влагу, уменьшается. Также уменьшается смачиваемость стенок пор у измельченного стеклосодержащего материала по сравнению с глинистыми, пылеватыми и песчаными частицами в составе шихты. Этим следует объяснить, что формовочная влажность шихты в присутствии ССК в количестве 5, 10 и 15 % ниже, чем формовочная влажность исходной шихты.

Тот факт, что повышение величины формовочной влажности шихты не произошло с введением добавки ССК, может положительно повлиять на снижение длительности сушки материалов на основе данных составов глинистой шихты и как следствие уменьшит расходы на сушку изделий.

Далее определялась пластичность (Π) глинистой шихты и рассчитывалась по формуле

$$\Pi = W_1 - W_2,$$

где W_1 – влажность на границе текучести, %; W_2 – влажность на границе раскатывания, %.

Влажность массы на границе текучести и границе раскатывания рассчитывалась по формуле

$$W = \frac{m_2 - m_1}{m_1} 100,$$

где m_1 – масса сухой навески, г; m_2 – масса влажной навески, г.

Результаты определения пластичности приведены в табл. 4.

Результаты оценки влияния добавки ССК по данным табл. 4 показали, что изменение пластичности массы в направлении снижения по отношению к исходной шихте не происходит или происходит в незначительной степени. Этот положительный факт позволяет предположить, что мелкодисперсный стеклосодержащий компонент не влияет отрицательно на изменение пластичности формовочной массы.

Чувствительность глинистой шихты к сушке оценивалась по коэффициенту чувствительности K_v , который рассчитывался по формуле

$$K_v = \frac{V}{V_0 \frac{m_0 - m}{(V_0 - V)} - 1},$$

где V – объем образца в воздушно-сухом состоянии, см^3 ; V_0 – начальный объем сформованного образца, см^3 ; m_0 – масса сформованного образца, г; m – масса образца в воздушно-сухом состоянии, г.

Таблица 4

Пластичность исходной глинистой шихты с добавкой ССК

Состав глинистой шихты	Масса образца, г			Влажность, %		Число пластичности глинистой шихты, П	Группа глинистой шихты по пластичности
	влажного, m_2	сухого, m_1	на границе текучести, W_1	на границе раскатывания, W_2			
100 % ИГШ	Т	7,91	5,89	34,30	17,59	16,71	Среднепластичная
	Р	3,61	3,07				
	Т	9,17	6,79	35,05	18,68	16,37	Среднепластичная
	Р	3,24	2,73				
Среднее значение результатов из 2 проб				34,68	18,14	16,54	Среднепластичная
95 % ИГШ+5 % ССК	Т	8,04	5,96	34,90	17,33	17,57	Среднепластичная
	Р	5,62	4,79				
	Т	20,61	15,15	36,04	18,04	18,00	Среднепластичная
	Р	6,15	5,21				
Среднее значение результатов из 2 проб				35,47	17,69	17,79	Среднепластичная
90 % ИГШ+10 % ССК	Т	12,12	9,06	33,77	18,20	15,57	Среднепластичная
	Р	5,52	4,67				
	Т	16,38	12,18	34,48	17,68	16,80	Среднепластичная
	Р	4,06	3,45				
Среднее значение результатов из 2 проб				34,13	17,94	16,19	Среднепластичная
85 % ИГШ+15 % ССК	Т	9,87	7,35	34,29	13,28	21,00	Среднепластичная
	Р	1,45	1,28				
	Т	9,87	7,41	33,20	18,90	14,30	Умереннопластичная
	Р	4,09	3,44				
Среднее значение результатов из 2 проб				33,75	16,09	17,65	Среднепластичная

Примечание: Т – граница текучести, Р – граница раскатывания.

Результаты оценки коэффициента чувствительности к сушке представлены в табл. 5.

Как следует из приведенных в табл. 5 данных, при введении в состав исходной глинистой шихты добавки ССК в количестве 15 % от массы шихты, коэффициент чувствительности к сушке снизился с величины 2,28 до величины 1,42 по сравнению с бездобавочным составом. Полученный результат

позволяет отметить эффективность введения ССК для улучшения дообжигаемых свойств испытуемых составов глинистой шихты и в дальнейшем снизить образование трещин при обжиге.

Таблица 5

Чувствительность глинистой шихты к сушке с добавкой ССК

Состав глинистой шихты	Номер		Масса образца, г		Объем образца, см ³		Кэф. чувствительности к сушке K_u	Группа глинистой шихты сырья по чувствительности к сушке	
	партии	образца	свежеформованного, m_0	в воздушно-сухом состоянии, m	свежеформованного, V_0	в воздушно-сухом состоянии, V			
100 % ИГШ	1	1	37,51	30,03	20,41	14,80	2,18	$K_u > 1,5$ Высокочувствительная к сушке	
		2	37,83	30,25	20,71	15,07	2,12		
		3	40,63	32,60	22,17	16,13	2,21		
	Среднее значение для партии №1						2,17		
	2	1	41,11	32,92	22,55	16,40	2,19		
		2	45,20	36,43	24,53	17,60	2,70		
		3	40,01	32,26	21,75	15,87	2,29		
	Среднее значение для партии №2						2,39		
	Среднее значение для образцов двух партий								2,28
	95 % ИГШ+ 5 % ССК	1	1	33,85	27,21	18,47	13,60		2,03
2			33,98	27,45	18,37	13,37	1,83		
3			37,16	29,95	20,21	14,80	2,20		
Среднее значение для партии						2,02			
2		1	35,20	28,31	19,20	14,40	1,72		
		2	35,90	28,81	20,00	14,53	2,45		
		3	34,17	27,47	19,16	13,73	3,06		
Среднее значение для партии						2,41			
Среднее значение для образцов двух партий							2,22		
90 % ИГШ+ 10 % ССК	1	1	41,20	32,92	22,93	16,80	2,09	$K_u > 1,5$ Высокочувствительная к сушке	
		2	40,80	32,57	22,80	16,53	2,32		
		3	49,64	39,63	27,52	19,87	2,34		
	Среднее значение для партии						2,25		
	2	1	47,60	38,10	25,87	19,20	1,75		
		2	31,27	24,94	17,03	12,80	1,51		
		3	41,24	32,95	22,59	16,93	1,61		
Среднее значение для партии						1,62			

Окончание табл. 5

Состав глинистой шихты	Номер		Масса образца, г		Объем образца, см ³		Кэф. чувствительности к сушке K_v	Группа глинистой шихты сырья по чувствительности к сушке	
	партии	образца	свеже-сформованного, m_0	в воздушно-сухом состоянии, m	свеже-сформованного, V_0	в воздушно-сухом состоянии, V			
Среднее значение для образцов двух партий							1,94		
85 % ИГШ+ 15 % ССК	1	1	39,88	31,85	21,84	16,53	1,48	$K_v = 1-1,5$	
		2	39,62	31,61	21,76	16,53	1,43		
		3	36,68	29,28	20,24	15,20	1,60		
	Среднее значение для партии							1,50	Среднечувствительная
	2	1	37,21	29,74	20,41	15,60	1,38		
		2	40,42	32,22	22,16	16,93	1,35		
		3	40,32	32,16	22,03	16,93	1,28		
Среднее значение для партии							1,34		
Среднее значение для образцов двух партий							1,42		

Далее для исследуемых составов глинистой шихты определялась воздушная усадка, характеризующаяся уменьшением объема изделий при сушке. Знание величины воздушной усадки глинистой шихты необходимо для правильного назначения режима сушки изделий, а также для назначения правильного размера формовочного отверстия – мундштука при пластическом формовании изделий на вакуум-прессе. Согласно ГОСТ 21216-2014 сушку образцов для определения воздушной усадки следует проводить в естественных условиях. Кроме того, следует учитывать, что значение величины воздушной усадки зависит от начальной влажности массы и формовать изделия необходимо из массы нормальной формовочной влажности. Результаты испытания приведены в табл. 6.

Таблица 6

Воздушная усадка глинистой шихты с добавкой ССК

Состав глинистой шихты	Среднее значение воздушной усадки из серии 18 образцов, %
100% ИГШ	8,04
95 % ИГШ + 5 % ССК	8,08
90 % ИГШ+ 10 %ССК	8,52
85 % ИГШ+ 15 %ССК	8,59

Из данных табл. 6 следует, что величина воздушной усадки образцов без добавочного состава соответствует среднепластичным глинам, для которых воздушная усадка колеблется от 7 до 10 % [6].

При оценке изменения величины воздушной усадки глинистой шихты от содержания ССК следует отметить, что тонкодисперсный компонент в составе шихты сыграл отрицательную роль и вызвал повышение воздушной усадки с 8,04 до 8,59 %.

Подобную динамику изменения величины воздушной усадки возможно объяснить только повышенной величиной сцепления пористого стеклосодержащего компонента с глинистыми частицами композита. В дальнейшем такое плотное соединение глинистой части и неорганического минерального компонента в составе композиции может повысить трещиностойкость изделий в процессе обжига.

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Введение ССК в исходную глинистую шихту привело к снижению величины формовочной влажности. Наибольшее снижение формовочной влажности наблюдается у состава, содержащего 5 % ССК. При данном составе формовочная влажность снижается с 31,09 до 30,17 %. Полученный результат можно объяснить высокой дисперсностью добавки ССК, что приводит к меньшему содержанию открытых пор, способных поглощать и удерживать влагу, а также к понижению смачиваемости частиц ССК в составе глинистой шихты. Стоит отметить, что снижение формовочной влажности наблюдается также и в присутствии 15 % добавки ССК. В целом понижение формовочной влажности исходной шихты с добавкой ССК снижает длительность сушки материалов, а это в свою очередь сокращает затраты на сушку изделий.

2. Введение ССК незначительно влияет на изменение пластичности глинистой массы, что в данном случае является положительным фактором.

3. Введение 15 % ССК существенно снизило коэффициент чувствительности к сушке и позволило испытываемой исходной глинистой шихте перейти из группы глин высокочувствительных к сушке в группу среднечувствительных, что также является положительным фактором и будет способствовать повышению трещиностойкости изделий в процессе обжига.

4. Воздушная усадка образцов увеличивается при введении ССК с 8,04 до 8,59 %, что связано с высоким сцеплением ССК с глинистыми частицами. В дальнейшем данный фактор может повысить трещиностойкость изделий в процессе сушки.

Таким образом, результаты проведенного исследования показали эффективность и целесообразность модификации глинистого сырья стеклосодержащим компонентом, позволяющим улучшить технологические и дообжиговые

характеристики глинистой шихты. Наиболее эффективным для снижения трещиностойкости изделий как на стадии сушки, так и последующего обжига является введение 15 % ССК.

В дальнейшем необходимо изучить влияние ССК на обжиговые свойства глины, что является предметом дальнейших исследований.

Список литературы

1. Бабаев З.К., Матчанов Ш.К., Эрметов А.И. Керамический кирпич на основе низкосортных глин, модифицированный стеклобоем // Научные горизонты. – 2018. – № 1(5). – С. 203–208.
2. Исследование материалов, полученных спеканием в системе «глина-стеклобой» / Н.Ф. Жерновая и др. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 1. – С. 20–23.
3. Галенко А.А., Довженко И.Г. Исследование возможности повышения качества кирпича пластического формования, производимого с применением техногенных отходов // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2009. – №4(152). – С. 100–102.
4. Христофоров А.И., Христофоров И.А., Пикалов Е.С. Улучшение керамических свойств модифицированной стеновой керамики // Строительство и реконструкция. – 2011. – №5(37). – С. 99–105.
5. Беседин В.П., Ивлева И.А., Мосьпан В.И. Теплоэффективный композиционный стеновой материал // Стекло и керамика. – 2005. – №3. – С. 24–25.
6. Мороз И.И. Технология строительной керамики: учеб. пособие. – М.: ЭКОЛИТ, 2011. – 384 с.
7. Куликова Е.С., Мартынова А.С., Мазунина Н.С. Исследование свойств глинистого сырья для изготовления керамического кирпича методом пластического формования // Дальний Восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса. – 2014. – №1. – С. 243–248.
8. Довженко И.Г. Эффективность применения сталеплавыльных шлаков в грубозернистых массах для производства керамического кирпича // Фундаментальные науки. – 2011. – №4. – С. 78–82.
9. Арискина К.А. Влияние химико-минералогического состава глин на цвет керамических материалов // Вестн. Технол. ун-та. – 2016. – №24(19). – С. 25–28.
10. Старостина И.В., Симонов М.М., Федорина М.Ю. Утилизация осадков сточных вод в производстве керамического кирпича // Фундаментальные исследования. – 2014. – №12. – С. 2120–2124.
11. Кидалов Н.А. Исследование способов активации глин и их влияние на свойства формовочных смесей // Изв. Волгогр. гос. техн. ун-та. – 2019. – № 7(230). – С. 41–45.

Получено 15.06.2020

Сопегин Георгий Владимирович – аспирант, ассистент кафедры «Строительный инжиниринг и материаловедение», строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: sp.georg@yahoo.com.

Федосеев Сергей Михайлович – магистрант, строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: fedoseew.sereja2016@yandex.ru.

Научный руководитель **Семейных Наталья Сергеевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительный инжиниринг и материаловедение», строительный факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет e-mail: semeyn@mail.ru.