

**А.И. ХЛЫСТОВ**  
**С.В. СОКОЛОВА**  
**В.А. ШИРОКОВ**

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СПОСОБА РЕМОНТА ФУТЕРОВОК ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ

*REFINEMENT OF REPAIR PROCEDURES OF THERMAL GENERATING SET COFFERING*

*Приводятся различные способы ремонта футеровки тепловых агрегатов, выполненных из шамотного огнеупора. С целью совершенствования технологии ремонта футеровки предлагаются к применению составы жидкостекольных жаростойких пластичных композиций с расширяющимся эффектом, полученным за счет применения металлического алюминия в виде тонкодисперсных частиц. Для повышения термической стойкости и химической сопротивляемости ремонтной поверхности футеровки она обрабатывается методом глубокой пропитки жидкими фосфатными связками. Фосфатные связки позволяют повысить плотность и прочность жаростойких композиций практически на любом вяжущем веществе.*

**Ключевые слова:** жаростойкие композиции, шамотный огнеупор, ремонт футеровки, расширяющийся эффект, жидкие фосфатные связки, пропитка

В настоящее время поставки сырья: огнеупорной глины, каолина из-за рубежа, в частности с Украины, практически приостановлены. Для повышения долговечности шамотных футеровок были исследованы составы защитных обмазок, представляющие собой жаростойкие растворы на фосфатных связующих [1–4]. В процессе нанесения фосфатного раствора-обмазки на футеровку теплового агрегата, выполненную из штучных шамотных огнеупоров, происходит активная пропитка поверхности кирпича за счет капиллярного подсоса. Пропитке подвергается также огнеупорный наполнитель, в частности шамотный песок, присутствующий в фосфатном растворе-обмазке.

Было изучено влияние пропитки шамотных огнеупоров плотной и пористой структуры ортофосфорной кислотой. Образцы, выпиленные из шамотного кирпича типа ША (ГОСТ 390) и пеношамота

*Different repair procedures for coffering of thermal generating set from fireclay refractory are viewed. To improve repair technologies the authors propose formulations of soluble-glass heat resistant plastic compositions with spread effect raised from metallic aluminum in the form of fine-dispersed particles. Coffering is treated by method of liquid phosphate bond deep impregnation to enhance thermal and chemical resistance of coffering repair surface. Phosphate bonds permit to enhance density and resistance of compositions based on any binding substance.*

**Keywords:** heat resistant compositions, fireclay refractory, repair procedures of coffering, spread effect, liquid phosphate bond, impregnation

ШЛБ-06 с маркой по плотности 600, пропитывали ортофосфорной кислотой 70 %-й концентрации в естественных условиях в течение 24 часов. После этого образцы подвергались нагреву при температурах 200–1500 °С в течение двух часов.

Испытания показали, что пропитка плотных и пористых шамотных материалов  $H_3PO_4$  положительно влияет на их термомеханические свойства. Прочность при сжатии плотного и пористого шамота возрастает в 1,2–2 раза, а плотность увеличивается на 1–1,5 %.

Таким образом, ремонт футеровки возможно осуществлять в виде её обработки ортофосфорной кислотой, вызывая пропитку поверхности, или путем нанесения слоя обмазки в виде фосфатного раствора на кирпичную кладку. Были исследованы структурно-фазовые превращения шамотного огнеупора при обжиге, пропитанного ортофосфорной

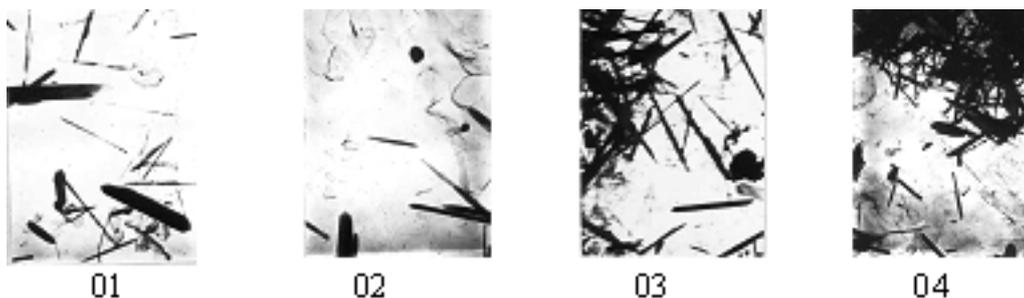


Рис. 1. Микроструктура шамота, обожженного при температуре 1500 °С:  
01;02 – сухой шамот; 03;04 – пропитанный 70 %-й  $H_3PO_4$  и подвергнутый обжигу

кислотой. Петрографический анализ микроструктуры образцов, пропитанных 70 %-й ортофосфорной кислотой и подвергнутых термообработке при температуре 1500 °С, показал рост кристаллической составляющей: муллита, кварца и кристобафита (рис. 1). Данная технология повышения физико-термических показателей керамических огнеупоров составила основу структурно-химической модификации штучных огнеупоров [5–8].

Термическое расширение является основной причиной разрушения огнеупорных футеровочных материалов. С целью сближения коэффициентов термического расширения (КТР) шамотной кладки с фосфатной обмазкой, предлагается предварительная обильная пропитка ортофосфорной кислотой ремонтируемой поверхности. Шамотная основа в результате пропитки после термообработки снижает свой КТР, который становится сравним с КТР шамотного фосфатного раствора-обмазки.

Как показывают dilatометрические исследования, проведенные в ЗАО «НИИ Керамзит», коэффициенты термического расширения шамота, пропитанного  $H_3PO_4$ , шамотного фосфатного раствора-обмазки, находятся в пределах  $(7,57-8,63) \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup> при температурах 500–900 °С [5]. С целью опре-

деления физико-термических показателей образцы из растворов-обмазок испытывали на прочность при сжатии после нагрева. Также у данных составов растворов определялись адгезионные качества по методике [5], температуры деформации под нагрузкой и термическая стойкость. Тонкомолотым огнеупорным наполнителем в составах растворов-обмазок являлись алюмохромистый отход – отработанный катализатор нефтехимии ИМ-2201; шамотный мертель МШ-36. В качестве заполнителя использовался шамотный песок, а роль затворителя выполняла ортофосфорная кислота 70 %-й концентрации. Пределы прочности при сжатии образцов-обмазок находились на уровне 25–40 МПа после обжига во всем интервале температур вплоть до 1300 °С.

Адгезионные свойства растворов по отношению к шамотному огнеупору оценивали по методике [5], определяя предел прочности при отрыве. Некоторые данные, характеризующие адгезионные свойства растворов-обмазок, представлены на рис. 2.

Для сравнения на рис. 2 представлена также кривая изменения адгезионных свойств традиционного шамотно-глинистого раствора состава: шамотный песок – 55 %; огнеупорная глина – 15 %; вода – 30 %. По прочности сцепления фосфатные

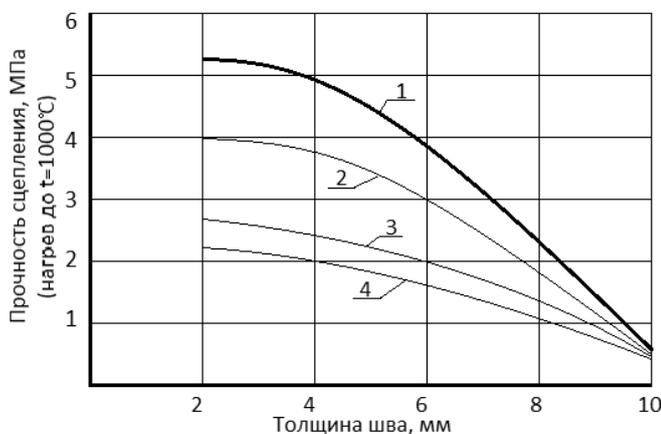


Рис. 2. Зависимость прочности сцепления растворов-обмазок с шамотной основой футеровок:  
1 – состав №1 (алюмохромистый отход); 2 – состав №2 (шамотный мертель);  
3 – состав №3 (алюмохромистый отход + шамотный мертель); 4 – шамотно-глинистый раствор

растворы-обмазки даже при большей толщине склеивания превосходят шамотно-глинистый раствор. Это объясняется тем, что ортофосфорная кислота, впитываясь в поверхностные слои шамотного огнеупора, изменяет его фазовый состав в сторону сближения с составом раствора-обмазки. Коэффициенты термического расширения раствора-обмазки и огнеупорной основы (шамота) практически становятся близкими [9, 10]. Термостойкость фосфатных растворов-обмазок высокая.

Таким образом, применение данного способа ремонта футеровок с использованием структурно-химической модификации керамических огнеупоров показало, что формируется рабочий защитный слой на базе затвердевшего фосфатного раствора-обмазки, обладающий высокой адгезией к ремонтируемой поверхности [10].

Также в ремонтных технологиях футеровок используются огнеупорные набивные массы, содержащие корундовый песок, каолин, алюмохромистый отход. После уплотнения, твердения и высушивания ремонтного слоя из огнеупорных набивных масс производится его обработка жаростойким пропиточно-обмазочным составом (обмазкой) или просто раствором ортофосфорной кислоты. Прочностные показатели образцов набивных масс достигали 30–50 МПа после обжига при температуре 1400 °С.

У составов огнеупорных набивных масс кроме прочностных характеристик на сжатие были определены: адгезионные показатели к шамотному огнеупору; прочностные показатели на отрыв системы «огнеупорная шамотная футеровка – набивная масса». Они свидетельствуют о высокой адгезии разработанных составов огнеупорных набивных масс фосфатного твердения к штучным огнеупорам. Применение фосфатных связующих в составах огнеупорных набивных масс позволяет их использовать и для ремонта футеровок промышленных печей с агрессивными средами [3,4–7]. Термостойкость набивных масс составила 30–35 водных теплосмен.

Далее совершенствование способа ремонта футеровок проводилось непосредственно с корректировкой составов жаростойких растворов.

В настоящее время значительно увеличилась область применения пластичных растворных композиций с расширяющимся эффектом при ремонте не только различных зданий и сооружений, но и спецсооружений, в том числе футеровок тепловых агрегатов. В результате этого эффекта адгезия ремонтных масс к поверхностям, на которые они наносятся, достигает значительных величин, что положительно сказывается на долговечности реставрационного участка [11].

Получение жаростойких композиций с расширяющимся эффектом имеет большое значение,

так как их применение в технологиях ремонта футеровок тепловых агрегатов значительно увеличит их долговечность.

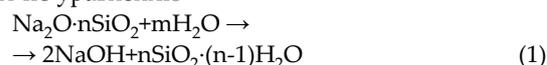
Жаростойкие композиции на жидком стекле являются весьма эффективными, широкое распространение которых определяется, прежде всего, высокими прочностью и термической стойкостью, а также простотой технологии [2, 12].

Расширяющийся эффект в композициях на жидком стекле возможно получить путем введения в их составы добавок тонкодисперсного металлического алюминия различного химического состава [11–13].

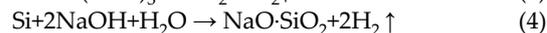
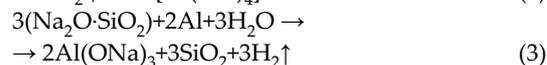
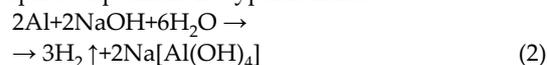
Рост объема продуктов реакции и небольшое выделение водорода при взаимодействии металлического алюминия с щелочным силикатом в процессе твердения и нагревания с химической точки зрения можно объяснить следующим образом [11–13].

Щелочные силикаты могут реагировать с металлами и металлоидами. Эту способность обуславливает присутствие в водном растворе (жидком стекле) гидролитически расщепленной едкой щелочи.

Гидролиз натриевого жидкого стекла происходит по уравнению



Образовавшаяся щелочь реагирует с алюминием и другими металлами, а также с порошком элементарного кремния по уравнениям:



Таким образом, в первый момент контакта жидкого стекла с алюминийсодержащим компонентом начинается процесс его растворения в едкой щелочи по реакциям (2) и (3). При этом положительно заряженные ионы  $\text{Al}^{3+}$  вызывают концентрацию отрицательно заряженных коллоидных частиц  $\text{SiO}_4^{4-}$ . Метастабильный кремнезем превращается в устойчивый кремнегель, выделяющийся в виде защитной пленки на поверхности металлического алюминия. Действие щелочи замедляется и в дальнейшем полностью прекращается.

Введение в состав жаростойких композиций алюминия в виде тонкодисперсной добавки, в качестве которой можно использовать отработанные алюминиевые отходы, образующиеся при обработке сплавов МГ, АМГ и др., позволяет получить увеличение объема ремонтных масс [13]. В настоящей работе опробованы следующие алюминиевые отходы Самарского металлургического завода: отработанная дробь с установки Гутмана цеха №2, алюминиевые опилки того же цеха, пыль из циклона цеха №1.

С целью выбора вида алюминиевого отхода, в наибольшей степени снижающего усадку, были приготовлены составы раствора на жидком стекле без добавки и с перечисленными добавками алюминия в количестве 1,5–2,5 %.

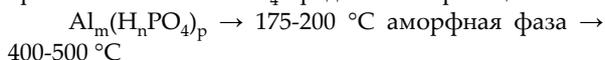
Предварительно алюминиевые опилки рассеивали через сито с отверстием 1 мм и в дальнейшем использовали фракцию размером 0,14–1 мм. Составы растворов на жидком стекле с различными расходами алюминиевых опилок включали в себя также тонкомолотый магнезит как огнеупорную добавку и мелкий заполнитель в виде шамотного песка.

Введение алюминиевых отходов в составы растворов на жидком стекле положительно влияет на их прочность при температурах 800–1200 °С, повышает термическую стойкость и снижает огнеую усадку. Наилучшие результаты по совокупности этих свойств достигнуты для состава, в который была введена алюминиевая дробь с установки Гутмана цеха №2. На термическую стойкость образцов влияет химический состав обрабатываемого алюминиевого сплава, а также количество добавки. Оптимальным принято содержание алюминиевой дроби в количестве 2–2,5 % сплава АГМ. При этом относительная термостойкость возрастает с 0,70 до 0,9 по методике С.Ю. Гобериса [14].

Таким образом, для ремонта футеровки тепловых агрегатов рекомендуется следующий состав, масс %: жидкое стекло  $\rho = 1,36 \text{ г/см}^3$  – 15,0 %;  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  – 1,2 %; шамот фракции 0–5 мм – 55 %; тонкомолотый магнезит – 28,0 %; алюминиевые опилки – 2–2,5 %. Максимальная прочность раствора достигает 38–39 МПа после обжига при температуре 1200 °С.

После трехсуточного твердения ремонтных участков футеровок тепловых агрегатов рекомендуется провести сушку всей футеровки при температуре 100–120 °С.

С целью совершенствования технологического процесса структурно-химической модификации штучных керамических огнеупоров, а также некоторых жаростойких бетонов, ортофосфорная кислота была заменена водорастворимой алюмофосфатной и алюмокальцийфосфатной связками. Известно, что жидкие алюмофосфатные связки типа  $\text{Al}(\text{H}_2\text{PO}_4)_3$  и  $\text{Al}_2(\text{HPO}_4)_3$  в процессе нагревания обезвоживаются, кристаллизуются и превращаются в стабильный минерал кристобафит  $\text{AlPO}_4$  [15–20]. Схема химических превращений жидких алюмофосфатных связок в кристаллический  $\text{AlPO}_4$  представлена реакцией:



Таким образом, для структурно-химической модификации штучных шамотных огнеупоров и жаростойких композитов (растворы и бетоны) из-

бран более эффективный способ образования в порах  $\text{AlPO}_4$ .

После сушки ремонтного слоя футеровки рекомендуется с целью повышения ее долговечности провести обработку (пропитку) поверхности всей футеровки жидкими алюмофосфатной или алюмокальцийфосфатной связками. Эти связки синтезируются с помощью ортофосфорной кислоты с применением такого нанотехногенного сырья, как высокоглиноземистый шлам щелочного травления алюминия и алюмокальциевый шлам с очистных сооружений. Данное нанотехногенное сырье образуется на Самарском металлургическом заводе в большом количестве [13].

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Судакас Л.Г. Фосфатные вяжущие системы. СПб.: РИА «Квинтет», 2008. 260 с.
2. Хлыстов А.И. Повышение эффективности и улучшение качества огнеупорных футеровочных материалов. Самара, 2004. 134 с.
3. Хлыстов А.И. Теоретические и технологические принципы повышения долговечности огнеупорных футеровочных материалов: автореф. ... д.т.н. Самара, 2004. 40 с.
4. Хлыстов А.И. Физико-химические основы применения фосфатных связок при ремонте футеровок тепловых агрегатов // Огнеупоры и техническая керамика. 2008. №3. С. 41–44.
5. Хлыстов А.И., Соколова С.В. О службе шамотных огнеупоров в футеровке керамзитобжигательных печей // Огнеупоры и техническая керамика. 2007. №5. С. 41–44.
6. Хлыстов А.И., Соколова С.В., Марков Д.В. Повышение стойкости и долговечности алюмосиликатных огнеупоров в углеродсодержащей среде // Огнеупоры и техническая керамика. 2005. № 11. С. 47–49.
7. Хлыстов А.И., Божко А.В., Соколова С.В., Рязов Р.Т. Повышение эффективности и улучшение качества футеровочных конструкций из жаростойкого бетона // Огнеупоры и техническая керамика. 2004. №3. С. 26–31.
8. Хлыстов А.И., Соколова С.В., Коннов М.В., Сидлов В.С. Способ повышения эксплуатационных характеристик алюмосиликатного огнеупора. Патент РФ №2474559 RU. Заявка №2011127297, 01.07.2011 г. Зарегистрировано в Госреестре изобретений РФ 2013 г.
9. Хлыстов А.И., Коннова Л.С., Закирова М.Н., Широков В.А. Химическое связывание неорганических отходов – один из экологических путей их утилизации // Научное обозрение. 2015. № 9. С. 135–137.
10. Хлыстов А.И., Соколова С.В., Баранова М.Н., Коннов М.В., Широков В.А. Совершенствование технологии применения футеровочных пропиточно-обмазочных составов и структурно-химической модификации алюмосиликатных и высокоглиноземистых огнеупоров // Огнеупоры и техническая керамика. 2015. №10. С.48–55.
11. Хлыстов А.И., Коннова Л.С., Широков В.А., Левинков А.О. Расширяющиеся пластичные композиции общестроительного и специального назначения // Научное обозрение. 2015. №23. С.22–26.

12. Хлыстов А.И., Горюшинский И.В., Власов А.В. Жаростойкие бетоны на жидком стекле повышенной долговечности // Огнеупоры и техническая керамика. 2013. №4-5. С.22–27.

13. Сасса В.С. Футеровка индукционных электропечей. М.: Металлургия, 1989. 232 с.

14. Гоберис С.Ю., Мерлинская Л.И. Метод определения термостойкости жаростойких бетонов по потере прочности / Издание ВНИИ Теплоизоляции. Вильнюс, 1985. 8 с.

15. Хлыстов А.И., Соколова С.В., Коннов М.В., Чернова Е.А., Широков В.А. Синтезирование фосфатных связующих на основе минеральных шламовых отходов // Огнеупоры и техническая керамика. 2013. №7–8. С. 77–80.

16. Хлыстов А.И., Широков В.А., Чернова Е.А. Применение минеральных шламовых отходов в процессах синтеза жидких фосфатных связок // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура». 2013. Т. 13. №2 С. 43–46.

17. Хлыстов А.И., Власов А.В., Коннов М.В. Применение высокоглиноземистых шламов в технологических процессах производства обжиговых и безобжиговых огнеупоров // Вестник Оренбургского государственного университета. 2013. №5. С. 212–215.

18. Хлыстов А.И., Широков В.А., Чернова Е.А. Высокоглиноземистое шламовое нанотехногенное сырье в производстве жаростойких бетонов // Научное обозрение. 2013. №12. С. 196–199.

19. Чумаченко Н.Г., Коренькова С.Ф., Хлыстов А.И. Перспективы развития нанотехнологий в производстве строительных материалов на основе строительных материалов // Промышленное и гражданское строительство. 2010. 2008. С. 20–22.

20. Хлыстов А.И., Широков В.А. Особенности применения фосфатных связок на основе нанотехногенного сырья в составах жаростойких бетонов // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре: сборник статей / под ред. М.И. Бальзанникова, К.С. Галицкова; СГАСУ. Самара, 2015. С. 1435–1440.

Об авторах:

**ХЛЫСТОВ Алексей Иванович**

доктор технических наук, профессор кафедры производства строительных материалов и конструкций Самарский государственный технический университет Архитектурно-строительный институт 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846) 242-37-02

**СОКОЛОВА Светлана Владимировна**

доцент кафедры строительства Самарский государственный университет путей сообщения 443066, г. Самара, ул. Свободы, 2 В, тел. (846) 255-67-20

**ШИРОКОВ Владимир Александрович**

ассистент кафедры производства строительных материалов и конструкций Самарский государственный технический университет Архитектурно-строительный институт 443001, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 194, тел. (846) 242-37-02

**KHLYSTOV Alexey I.**

Doctor of Engineering Science, Professor of the Production of Building Materials and Structures Chair Samara State Technical University Institute of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846) 242-37-02 Email: alex-x1950@yandex.ru

**SOKOLOVA Svetlana V.**

Associate Professor of the Construction Chair Samara State Transport University 443066, Russia, Samara, Svobody str., 2 V, tel. (846) 255-67-20

**SHIROKOV Vladimir A.**

Assistant of the Production of Building Materials and Structures Chair Samara State Technical University Institute of Architecture and Civil Engineering 443001, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 194, tel. (846) 242-37-02

Для цитирования: Хлыстов А.И., С.В. Соколова, Широков В.А. Совершенствование способа ремонта футеровок тепловых агрегатов // Градостроительство и архитектура. 2016. №4(25). С. 54-58. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.04.10.

For citation: Khlystov A.I., Sokolova S.V., Shirokov V.A. Refinement of repair procedures of thermal generating set coffering // Urban Construction and Architecture. 2016. №4(25). Pp. 54-58. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.04.10.