УДК 631.365
doi: 10.18.101/978-5-9793-0883-8-157-159

Особенности плавления силикатных материалов при технических скоростях нагрева и при плазменном воздействии

О. Г. Волокитин, **В. В. Шеховцов**[1]
[1]Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, Россия, г. Томск, пл. Соляная, 2, tel.: +7 (3822) 65-04-78, e-mail: volokitin_oleg@mail.ru

Аннотация
В работе сформированы обобщенные модели процессов, протекающих при технических скоростях нагрева и при быстром нагреве в условиях низкотемпературной плазмы. Установлено, что процесс получения расплава в условиях низкотемпературной плазмы, со скоростью нагрева исследуемого сырья более 1000 °С в секунду, характеризуется одновременным плавлением всех фаз, в отличие от процессов, протекающих при обычных скоростях нагрева 0,5–1 °С в секунду.
Ключевые слова: силикатный расплав, электроплазменная установка, конденсированное состояние, рентгенофазовый анализ.

Features of Melting Silicate Materials with Technical Heating Rate and in Plasma Effects

O. G. Volokytin, **V. V. Shekhovtsov**[1]
[1]Tomsk State University of Architecture and Building,
634003, Russia, Tomsk, pl. Salt, 2, tel.: +7 (3822) 65-04-78, e-mail: volokitin_oleg@mail.ru

Abstract
The work presents the generalized models of the processes proceeding at technical speeds of heating and at fast heating in the conditions of low-temperature plasma. It has been established that the process of receiving fusion in the conditions of low-temperature plasma with a speed of the raw material heating more than 1000 C per second is characterized by simultaneous melting of all phases, unlike the processes proceeding at usual speeds of heating 0,5-1 C per second.
Keywords: silicate fusion, electroplasma installation, the condensed state, the X-ray phase analysis.

На территории России находятся сотни тысяч тонн силикатных отходов, в том числе и отходов энергетических производств, пригодных для создания на их основе качественных строительных материалов отвечающих современным требованиям строительной отрасли [1-4]. Уровень утилизации техногенных отходов в России составляет около 4-5 %, в Европе до 70 %. Утилизация силикатных отходов при производстве строительных материалов исключает огромные финансовые затраты и положительно влияет на экологическую обстановку мест размещения золоотвалов. Представляет интерес исследование процессов плавления силикатных систем с помощью энергии низкотемпературной плазмы. Исследование физико-химических и фазовых превращений протекающих в процессе плавления силикатных систем целесообразно проводить с использованием диаграммы состояния и кривых плавкости.

Объектом исследованием в работе являлись золы ТЭЦ г. Северска (Томская область), полученные после сжигания каменного угля. Исходный (усредненный) химический состав представлен в табл. 1.

Рентгенофазовый анализ золы показал (рис. 1), что на фоне большого количества стеклофазы присутствуют пики кварца и четко выраженная фаза муллита ($3Al_2O_3 \cdot SiO_2$).

Исследуемое сырье подвергалось плавлению с использованием плазменной установки [5-8]. Технологические режимы при этом соответствовали значениям: U=160 В, I=220 А, P=35,2 кВт, q=1,8·10^6 Вт/м^2. Процесс образования расплава протекает за счет воздействия высококонцентрированных потоков плазмы на порошкообразное силикатсодержащее сырье, в результате которого осуществляется нагрев мелкодисперсных частиц с последующим формированием гомогенного расплава.

Таблица – 1. Химический состав золы до плазменного нагрева

Сырьевые материалы	Содержание оксидов, мас. %							
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	R_2O	$\Delta m_{пр}$	M_K
Зола ТЭЦ	51,16	35,07	3,62	8,33	0,91	0,23	0,68	9,33
M_K – модуль кислотности, $M_K = \frac{SiO_2 + Al_2O_3}{CaO + MgO}$								

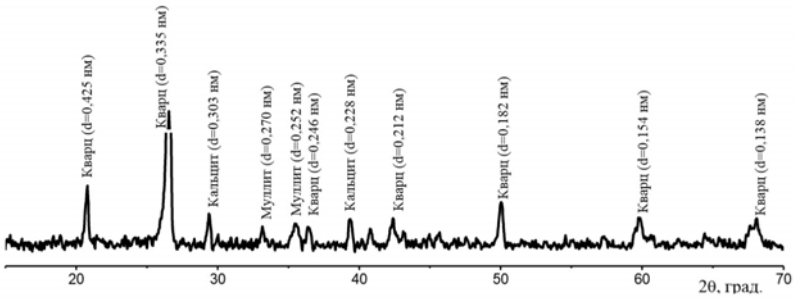

Рис. 1. Рентгенограма золы ТЭЦ г. Северск

В работах [9, 10] проведен анализ и сравнение кривой плавкости золы приведенной к системе CaO-Al_2O_3-SiO_2 и кривой плавкости простроенной с учетом реального химического состава. Анализ кривых плавкости показал, что температура начала образования расплава золы не превышает 1350 ºС. При этом одинаковое количество первичного расплава (около 35%) в реальной системе образуется при 1170 ºС, а в модельной при 1350 ºС. Дальнейшее увеличение жидкой фазы проходит аналогично для равновесных и неравновесных процессов. Образование 100%-го расплава золы в модельной системе происходит при температуре 1640 ºС, однако с учетом реального химического состава зола полностью расплавится при температуре 1590 ºС.

На основании проведенных исследований сформированы обобщенные модели процессов, протекающих при технических скоростях нагрева (рис. 2) и при быстром нагреве в условиях низкотемпературной плазмы (рис.3).

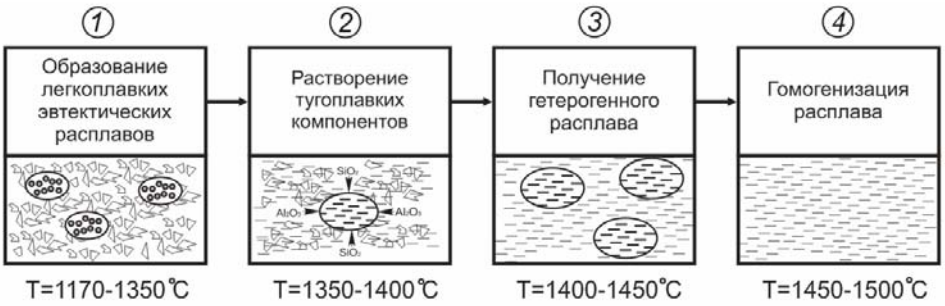

Рис.2. Схема процессов плавления золошлаковых отходов при технических скоростях нагрева

В общем виде процесс получения расплава при технических скоростях нагрева состоит из четырех этапов, на первом этапе происходит образование легкоплавких эвтектических расплавов, далее, с увеличением температур происходит растворение тугоплавких компонентов. На третьем этапе происходит образование гетерогенного расплава локально, по всему объему. С повышением температур расплав локальных областей перемешивается друг с другом и происходит выравнивание химического состава и расплав гомогенизируется.

Процесс получения расплава в условиях низкотемпературной плазмы отличается отсутствием отдельных этапов образования первичного эвтектического расплава и растворения оксидов в расплаве.

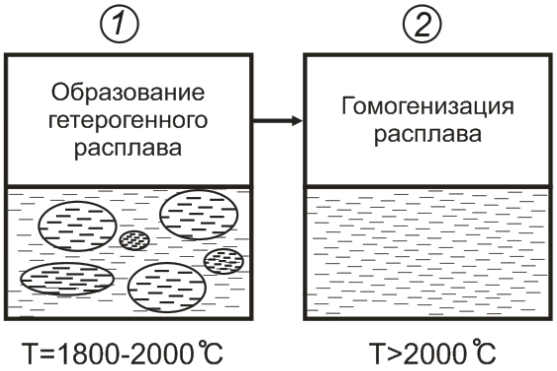

Рис. 3. Схема неравновесных процессов плавления золошлаковых отходов в условиях низкотемпературной плазмы

Эти процессы за счет быстрого нагрева шихты протекают одновременно с процессом образования гетерогенного расплава одновременным плавлением всех компонентов, который в итоге, перемешивается, образуя гомогенный силикатный расплав за счет понижения вязкости.

В результате проведенных исследований установлено, что процесс получения расплава в условиях низкотемпературной плазмы со скоростью нагрева исследуемого сырь более 1000 °С в секунду характеризуется одновременным плавлением всех фаз, в отличие от процессов, протекающих при обычных скоростях нагрева 0,5–1 °С в секунду. Сверхвысокие скорости нагрева сокращают время образования гетерогенного расплава и уменьшают удельные энергозатраты (1,5–2,1 кВт/кг), что в 2–2,5 раза меньше, чем в существующих технологиях. Процесс получения силикатных расплавов в условиях низкотемпературной плазмы протекает в две стадии: одновременное плавление всех фаз шихты с образованием гетерогенного расплава и гомогенизация расплава в условиях пониженной вязкости (менее 10 Па·с) за счет перегрева материала.

Литература

1.Делицын Л. М., Власов А. С. Необходимость новых подходов к использованию золы угольных ТЭС // Теплоэнергетика. – 2010. – № 4.

2.Ватин Н.И., Петросов Д.В., Калачев А.И., Лахтинен П. Применение зол и золошлаковых отходов в строительстве // Инженерно-строительный журнал. №4. 2011. С. 16-21.

3.Min'ko N. I., Bessmertnyi V. S., Dyumina P. S. / Use of Alternative Energy Sources in the Technology of Glass and Glass Ceramic Materials / Glass and Ceramics - vol. 59, no. 3, pp. 77-79, 2002

4.Ефимов Н.Н. Проблемы комплексной переработки золошлаковых отходов и синтеза на их основе силикатных материалов строительного назначения / Н.Н. Ефимов, В.И. Паршуков, Е.А. Яценко [и др.] // Техника и технология силикатов. – 2010. – № 2. – С. 17–21.

5.Волокитин О. Г. Тимонов Е. В., Волокитин Г. Г., Никифоров А. А., Чибирков В. К. Плазменная установка для получения тугоплавкого силикатного расплава. Патент 2503628 РФ, С03 В37/04, Опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1.

6.Volokitin G. G.. Technology for producing mineral fibers by recycling ash-sludge and oil-shale wastes / Volokitin G. G., Skripnikova N. K., Volokitin O.G., Volland S. // Glass and Ceramics. – 2011. Vol. 68, Pp 239-241.

7.Volokitin G. Complex research of molybdenum ore tailings / Volokitin G., Skripnikova N., Volokitin O., Iuriev I., Shekhovcov V.// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2015. No. 71.

8.Abzaev Yu. A. Investigation of the Melting of Quartz Sand by Low-Temperature Plasma/ Abzaev Yu. A., Volokitin G. G., Skripnikova N. K., Volokitin O. G.,· Shekhovtsov V. V. // Glass and Ceramics. – 2015, Vol. 72, Pp. 225-227.

9. Volokitin O. G. Mineral Fiber Production Based on Ash from the Republic of Kazakhstan Using Low-Temperature Plasma Apparatus./ Volokitin O. G., Volokitin G. G., Skripnikova N. K. Glass and Ceramics January 2014, Volume 70, Issue 9-10, pp 340-343.

10. Vlasov V.A., Volokitin O.G., Volokitin G.G., Skripnikova N.K., Shekhovtsov V.V., A Pfuch. Non-equilibrium melting processes of silicate melts with different silica content at low-temperature plasma. Journal of Physics: Conference Series 652 (2015) 012022. pp. 1-6.

11. Волокитин Г.Г. Плазменные технологии в строительстве / Волокитин Г.Г., Скрипникова Н.К., Шиляев А.М., Петроченко В.В.. – Томск: Изд-во ТГАСУ, 2005. 291 с.

УДК 539.26..669.21/23
doi: 10.18.101/978-5-9793-0883-8-159-167

Рентгеноструктурные исследования изменения атомного дальнего порядка в сплаве Ni_4Mo со сверхструктурой $D1_a$

Э. В. Козлов[1], А. А. Клопотов[1,2], А. И. Потекаев[2], Т. Н. Маркова [1], С. А. Поробова[1], О. Г. Волокитин[1], В. Д. Клопотов[3]

[1]Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, Россия, Томск, пл. Соляная 2, e-mail: porobova.sveta@yandex.ru

[2]Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, Россия, Томск, пл. Ленина 36, e-mail: klopotovaa@tsuab.ru

[3]Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Россия, Томск, пл. ул. Ленина 30, e-mail: klopotovaa@tsuab.ru

Аннотация

Представлены результаты рентгеноструктурного исследования процесса разупорядочения сплава Ni_4Mo. Установлено, что переход $D1_a \rightarrow A1$ является ФП I рода. Установлены особенности температурой зависимости параметра дальнего порядка $\eta = \eta(T)$, что позволило сделать предположение о существовании в области ФП $D1_a \rightarrow A1$ слабоустойчивых структурных состояний, которые трудно зафиксировать при помощи закалки.

Ключевые слова: фазовые переходы порядок-беспорядок, рентгеноструктурный анализ, сплав Ni_4Mo, параметры дальнего порядка.