

На правах рукописи

Луценко Александр Валерьевич

**ОБЛИЦОВОЧНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ
СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ,
ПОЛУЧЕННЫЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАЗМЫ**

05.23.05 – Строительные материалы и изделия

05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких
неметаллических материалов

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2013

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет»

Научные руководители: доктор технических наук, профессор
Скрипникова Нелли Карповна;

кандидат технических наук,
Волокитин Олег Геннадьевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор кафедры
«Технология силикатов и наноматериалов», НИ «Томский политехнический университет»

Верещагин Владимир Иванович;

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Неорганическая химия» НИ «Томский государственный университет»

Козик Владимир Васильевич

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет» (Сибстрин)

Защита состоится «15» марта 2013 года в 14 ч. 00 мин на заседании диссертационного совета Д 212.265.01 в Томском государственном архитектурно-строительном университете по адресу:

634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, корп. 5, ауд. 307.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского государственного архитектурно-строительного университета по адресу: 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.

Автореферат разослан «15» февраля 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Копаница Н.О.

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Развитие строительного материаловедения связано с разработкой новых высокоэффективных функциональных материалов и изделий с широким диапазоном свойств, отвечающих требованиям строительной индустрии.

Стеклокристаллические материалы – это неорганические материалы на силикатной основе, позволяющие изготавливать изделия методами литья (из расплава), спекания, прессования, проката. Они имеют микрокристаллическую структуру и обладают рядом важных эксплуатационных свойств. В последнее время уделяется много внимания совершенствованию технологии производства стеклокристаллических материалов, использованию в технологическом процессе нетрадиционного и техногенного сырья.

Эксплуатационные качества стеклокристаллических материалов, полученных на основе золы ТЭС, обладающих комплексом повышенных физико-механических и химических свойств, эффективность технологии их получения являются основными факторами обоснования темы работы.

Актуальным является применение плазменных технологий при получении стеклокристаллических материалов, что позволит сделать существующие производства более экономичными и экологически чистыми.

Об актуальности исследований говорит тот факт, что, несмотря на некоторые успехи, широкомасштабное внедрение плазменных технологий в области производства стеклокристаллических материалов сдерживалось из-за отсутствия теоретических и технологических предпосылок по созданию специализированных высокопроизводительных аппаратов, информативных данных о свойствах получения силикатного расплава.

Работа выполнялась в рамках целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы» по теме № 2.1.06 «Теплофизические и физико-химические процессы в строительных материалах при воздействии на них высококонцентрированных тепловых потоков» № ГР 01.200804433, а также по Государственному контракту № 457/1 от 13.10.2010 г. «Разработка технологии утилизации

зол ТЭС отходов с целью получения различных видов строительных материалов», в соответствии с планами и программами НИР НИИСМ ТГАСУ.

Объект исследования – строительные стеклокристаллические облицовочные материалы, полученные на основе отходов теплоэнергетики по плазменной технологии.

Предмет исследования – выбор и анализ исходного сырья; физико-химические процессы, протекающие при получении стеклокристаллического материала с использованием зол ТЭС.

Цель работы – разработка составов сырьевых смесей и подбор технологических режимов получения строительных стеклокристаллических материалов из силикатсодержащих расплавов с использованием низкотемпературной плазмы.

Для достижения поставленной цели определены следующие **задачи**:

1. Обоснование использования плазменного нагрева в процессе плавления тугоплавкой шихты для получения силикатного расплава;
2. Определение энергетических параметров плазменной установки и составов сырьевых смесей для получения силикатного расплава.
3. Подбор оптимального состава сырьевой смеси для получения стеклокристаллического материала с использованием золы ТЭС.
4. Исследование физико-химических процессов, протекающих при получении стеклокристаллического материала из силикатного расплава.
5. Определение условий термообработки полученного силикатного расплава, при которых возможно получение плотной однородной структуры стеклокристаллического материала с наибольшей степенью кристалличности.
6. Исследование физико-механических свойств полученного стеклокристаллического материала.
7. Разработка технологической схемы получения стеклокристаллических материалов и изделий из них с использованием отходов теплоэнергетики.

Научная новизна:

1. Установлено, что в системе «зола ТЭС – известняк – кварцевый песок» в условиях низкотемпературной плазмы при вольтамперных характеристиках, находящихся в пределах: $I = 240\text{--}260$ А, $U = 120\text{--}140$ В, образуется силикатный расплав, обогащенный анортитом следующего химического состава: $\text{SiO}_2 - 61,89 \div 40,22$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 20,4 \div 30,3$; $\text{CaO} - 9,8 \div 20$; $\text{MgO} - 1,7 \div 1,89$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 4,9 \div 5,32$; $\text{NaO} - 0,51 \div 1,15$; $\text{TiO}_2 - 0,8 \div 1,12$.
2. Установлено, что для получения стеклокристаллического материала с повышенной степенью кристалличности необходимо полученный силикатный расплав подвергать двухстадийной термической выдержке с температурами 1-й ступени 700 °С в течение 1 часа, 2-й ступени 950 °С в течение 2 часов. При этом степень кристалличности возрастает до $60\text{--}65$ %.
3. Установлено, что для получения стеклокристаллического материала необходимо следующее соотношение компонентов сырьевой смеси: зола – 70 %; известняк – 20 %; кварцевый песок – 10 %, позволяющее получить силикатный расплав с высокой кристаллизационной способностью при этом образуются анортито- и волластонитоподобные соединения в виде кристаллов размером до 90 нм, придающих прочность изделиям при сжатии $R_{\text{сж}} = 530$ МПа, и изгибе $R_{\text{изг}} = 110$ МПа.

Практическая значимость работы:

1. Предложено использование плазменного нагрева в процессе плавления тугоплавкой шихты и утилизации техногенных отходов. Разработаны схемы получения расплава из силикатсодержащих компонентов.
2. Разработаны и предложены составы сырьевых смесей для получения силикатного расплава, позволяющего после проведения термической обработки получить стеклокристаллический материал, отличающийся от известных химическим составом и позволяющий получить на его основе облицовочные строительные материалы. Получен патент № 2448918 Российская Федерация. МПК2006 С04В33/00. Стеклокристаллический материал для напольной и облицовочной плитки / Луценко А.В., Скрипникова Н.К., – опубл. 27.09.2009, Бюл. № 27. – 5 с.
3. Разработана технологическая схема производства строительных стеклокристаллических материалов с использованием отходов теплоэнергетики.

Реализация результатов исследований. Результаты исследований используются в учебном процессе Томского государственного архитектурно–строительного университета по направлению 270800 «Строительство». По результатам оценки физико-механических свойств стеклокристаллических материалов в ООО "Сибирский силикатный центр", рекомендовано использовать данную технологию в промышленном производстве.

Личный вклад автора состоит в формировании цели эксперимента и постановки соответствующих задач, непосредственном участии при проведении исследований, обработке результатов и выводов по работе.

Достоверность основных положений обеспечивается необходимым объемом статистики, применением современных методов расчета и лабораторного оборудования, обеспечивающих достаточный уровень надежности измерений.

На защиту выносятся:

1. Экспериментальные данные по режимам плазменного способа получения силикатного расплава на основе зол ТЭС.
2. Результаты исследований сырьевых материалов, способа получения расплава и планирование эксперимента по влиянию режимов термообработки на плотность материала и количество содержания анортитоподобной фазы в стеклокристаллическом материале, полученном в условиях низкотемпературной плазмы.
3. Результаты исследований физико-механических характеристик строительных стеклокристаллических материалов.
4. Результаты исследований физико-химических процессов, протекающих при получении стеклокристаллических материалов из силикатного расплава на основе зол ТЭС в условиях низкотемпературной плазмы.

Апробация работы и публикации. Основные положения и результаты работ, составляющих содержание диссертации, обсуждались на семинарах, конференциях различного уровня: IX Всероссийская научно-практическая конференция «Техника и технология производства теплоизоляционных материалов из минерального сырья» (Бийск, 2009 г); III Всероссийская конференция «Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и ме-

дицине» (Новосибирск, 2009 г); Всероссийская конференция «Современные проблемы производства и использования композиционных строительных материалов», НГАСУ (Сибстрин), посвященная 100-летию юбилею проф. Г.И. Книгиной и 80-летию юбилею проф. В.М. Хрулева (Новосибирск 2009 г.); Всероссийская конференция «Актуальные проблемы строительной отрасли», 65-я научно-техническая конференция НГАСУ (Сибстрин) (Новосибирск, 2009 г); I Международная конференция «Развитие нанотехнологий: задачи международных и региональных научно-образовательных и научно-производственных центров» (Барнаул, 2012 г).

По материалам диссертации опубликовано 17 научных работ, в том числе 2 статьи в рекомендованных ВАК изданиях, получен 1 патент РФ.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов по работе, списка литературы из 172 наименований. Работа изложена на 160 страницах, включая 38 рисунков и 16 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность исследований, поставлена цель работы, определены задачи исследования, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе («Состояние и перспективы развития производства стеклокристаллических материалов в современных условиях») содержится анализ научной литературы, в котором изложены сведения о направлениях работ и достигнутых результатах в области получения строительных стеклокристаллических материалов и изделий из них с использованием силикатных и карбонатных отходов. Исследованиям по изучению и использованию техногенных отходов для получения строительных стеклокристаллических материалов и изделий посвящены работы: Полака Л.С., Шульца М.М., Горшкова В.С., Павлушкина Н.М., Саркисова П.Д., Верещагина В.И., Бурученко А.Е., Тюльнина В.А., Волокитина Г.Г. и многих других. На основании этих работ установлено влияние многих факторов на процесс формирования структуры стеклокри-

сталлического материала в зависимости от вводимых корректирующих добавок. Однако в рассмотренных работах нет результатов исследования структуры и свойств стеклокристаллических материалов полученных по плазменной технологии с использованием зол ТЭС от сжигания каменных углей определенного химического состава. На основании анализа литературных данных сформулирована цель и задачи исследований.

Во второй главе («Методы исследования, характеристика исходных материалов, методология работ») приведены характеристики сырьевых материалов, используемых в работе, и описаны методы их исследований. Обоснован выбор сырьевых компонентов.

Приведены результаты химического и минералогического анализа сырьевых материалов. Оценена их экологическая безопасность. Произведен расчет оптимальных составов сырьевых смесей.

В работе была установлена возможность получения стеклокристаллических материалов из силикатсодержащих расплавов с использованием низкотемпературной плазмы. В качестве техногенного сырья для получения силикатного расплава использовалась зола ТЭС Томской области, полученная от сжигания каменных углей Кузбасского угольного бассейна, а в качестве природных материалов – известняк Майлысорского месторождения р. Казахстан и кварцевый песок. Их усредненный химический состав представлен в таблице 1.

По химическому составу (таблица 1) зола близка к составу высокоглиноземистых силикатных систем, суммарное количество основных стеклообразующих оксидов SiO_2 , Al_2O_3 и CaO превышает 90 %, это дает основание утверждать, что она представляет собой перспективный материал для получения силикатного расплава по плазменной технологии.

Известняк и кварцевый песок использовали в качестве корректирующих добавок. Известняк придает химическую стойкость стеклокристаллическому материалу, повышает основность расплава и может служить стимулятором кристаллизации. Основным стеклообразующим оксидом является SiO_2 , скорректировать его количество в шихте позволяет добавка кварцевого песка.

Таблица 1 – Усредненный химический состав исследуемых материалов

Наименование оксида	Содержание оксидов в материале, мас. %		
	Зола ТЭС	Известняк	Кварцевый песок
SiO ₂	51,16	1,12	98,02
Al ₂ O ₃	34,57	0,43	0,22
Fe ₂ O ₃	3,62	0,28	0,51
CaO	8,33	55,62	0,25
MgO	0,91	0,03	0,2
$\Delta m_{\text{прк}}$	1,41	42,46	0,8

Опытно-аналитическим путем было подобрано процентное содержание компонентов сырьевой смеси таким образом, чтобы данный состав отвечал стехиометрическому соотношению компонентов, отвечающих составу анортитоподобных соединений. В таблице 2 представлены составы сырьевой смеси для получения стеклокристаллических материалов.

Таблица 2 – Составы сырьевой смеси на основе золы ТЭС, известняка и кварцевого песка

№ состава	Количество сырьевых материалов, мас. %		
	Зола ТЭС	Известняк	Кварцевый песок
1	100	–	–
2	60	20	20
3	60	17	23
4	70	20	10
5	75	25	–
6	78	22	–
7	90	10	–

Составы сырьевых смесей на диаграмме состояния располагаются в области кристаллизации анортита. Для определения области температур плавления, были построены кривые плавкости. Исходя из кривых плавкости следует, что температура плавления сырьевых смесей снижается благодаря сбалансированному количеству сырьевых компонентов. Данные сырьевые смеси подвергались плавлению с использованием низкотемпературной плазмы.

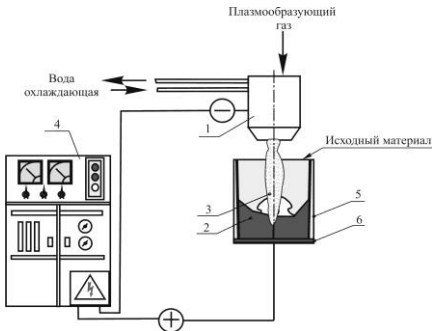


Рисунок 1 – Экспериментальная установка с использованием НТП: 1 – узел катодный; 2 – гранулированная сырьевая смесь, частичный расплав; 3 – плазменный поток; 4 – источник питания; 5 – печь, 6 – анод

Нагрев шихты осуществлялся воздушной плазмой в рабочем интервале температур 2000–3000 °С, скорость нарастания температуры шихты 10–15 °С/сек. При работе данной установки вольтамперные характеристики находились в пределах: $I = 240\text{--}260$ А, $U = 120\text{--}140$ В и удельной концентрации энергии до $1,8\text{--}2,6 \cdot 10^6$ Вт/м², что позволяло произвести полное проплавление сырьевой смеси и удалить выделяющиеся газы. Специфическим процессом получения стеклокристаллических материалов является процесс направленной кристаллизации расплава. Опытно-аналитическим путем был подобран график термической обработки (рисунок 2) полученного силикатного расплава. При определении оптимальных параметров термообработки отбирали пробы расплава массой 250 г методом свободного литья в графитовую форму. Для предотвращения термодара форма предварительно подогревалась до температуры 700 °С. Отлитые в форму образцы подвергались изотермической выдержке, в соответствии с графиком термообработки.

Оценка свойств образцов расплава золы ТЭС, после термообработки показала, что кристаллизация проходит более интенсивно при двухступенчатом режиме с изотермической выдержкой 1 час при 700 °С и 2 часа при 950 °С, что хорошо согласуется с результатами ДТА зол ТЭС. Кристаллическая фаза формируется из муллита и анортита. Рентгенограм-

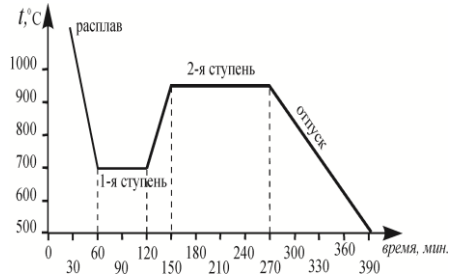


Рисунок 2 – График термообработки силикатного расплава.

В плазменную плавильную печь осуществлялась дозированная подача предварительно подготовленной сырьевой смеси.

мы термообработанных образцов отражают присутствие только лишь кристаллического муллита, анортита и аморфной фазы, кристаллизация расплава золы проходит в поверхностных слоях образцов, при этом степень кристалличности образцов не превышает 20 %.

Результаты электронно-микроскопических исследований показали, что структура продуктов плавления золы является вполне однородной, с отдельно сосредоточенными микровключениями, представляющими собой частично закристаллизованные алюмосиликатные соединения. Наличие неоднородностей ликвационного характера, подтверждают сложившееся представление о том, что в основе кристаллизации лежит предкристаллизационная микроликвация, обуславливающая получение материала с тонкозернистой структурой. Структура материала характеризуется наличием мелких кристаллических блоков, они являются центрами начала кристаллизации.

В третьей главе («Физико-химические процессы, протекающие при получении стеклокристаллического материала в зависимости от состава») с целью получения картины структурных изменений в стеклокристаллическом материале проводились комплексные исследования. Исследование основных физико-механических свойств образцов стеклокристаллического материала, полученного в условиях низкотемпературной плазмы, проводились в соответствии с нормативными документами на данный вид продукции.

На рисунке 3 представлены результаты исследований прочности на сжатие и изгиб, определения плотности и группы истираемости в зависимости от состава сырьевой смеси.

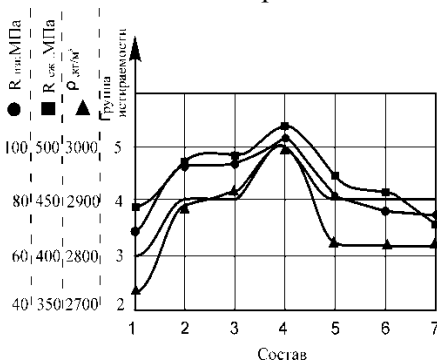


Рисунок 3 – Физико-механические свойства стеклокристаллического материала:

- — прочность на изгиб, МПа;
- ▲ — прочность на сжатие, МПа;
- — плотность, кг/м³;
- группа истираемости.

При соотношении компонентов сырьевой смеси,

соответствующих составу 4 (70 % золы, 20 % известняка, 10 % кварцевого песка), и при соблюдении режимов термообработки возможно получение стеклокристаллического материала с максимальными физико-механическими показателями: $R_{сж}=530$ МПа; $R_{изг} = 110$ МПа; $\rho = 2986$ кг/м³; группа истираемости –5.

РФА проб на основе сырьевых смесей составов 2, 3, 4 (отличающихся содержанием кварцевого песка, см. таблицу 2) после отжига при температуре 570–610 °С показали незначительное содержание кристаллов анортита.

При дальнейшей 2 – х ступенчатой термообработке (1-я ступень – 700 °С в течение 1 часа, и 2-я ступень – 950 °С в течение 2 часов) в образце сформировалась плотная кристаллическая структура представленная анортитом, волластонитом и геленитом. О чем свидетельствуют данные рентгенофазового анализа образцов 2, 3, 4 (рисунок 4).

Степень кристалличности указанных составов составляет 60–65 %. Образцы состава 5, 6, 7 (отличались отсутствием в составе кварцевого песка) полностью расплавляются в процессе воздействия на них плазменной струи. Полученный и застывший расплав, после отжига в муфельной печи при температуре 600 °С оставался аморфным. При дальнейшей двухступенчатой термообработке возникала поверхностная кристаллизация образцов.

По соотношению элементов кристаллическая фаза имеет алюмосиликатный состав, сопоставимый с соотношением элементов в структуре анортита, рентгенофазовый анализ данного состава, показывает наличие пиков с межплоскостным расстоянием $d=0,320, 0,293, 0,251, 0,215$ нм, соответствующих структурной модификации анортита.

ДТА сырьевой смеси состава 4 показал в области 850–1000 °С наибольший экзотермический эффект, обусловленный повышением скорости кристаллизации силикатных соединений. ДТА образца стеклокристаллического материала, прошедшего термообработку, показывает отсутствие каких либо термических эффектов, что свидетельствует о том, что в материале произошли фазовые превращения, процессы стабилизировались, материал является конечным продуктом кристаллизации.

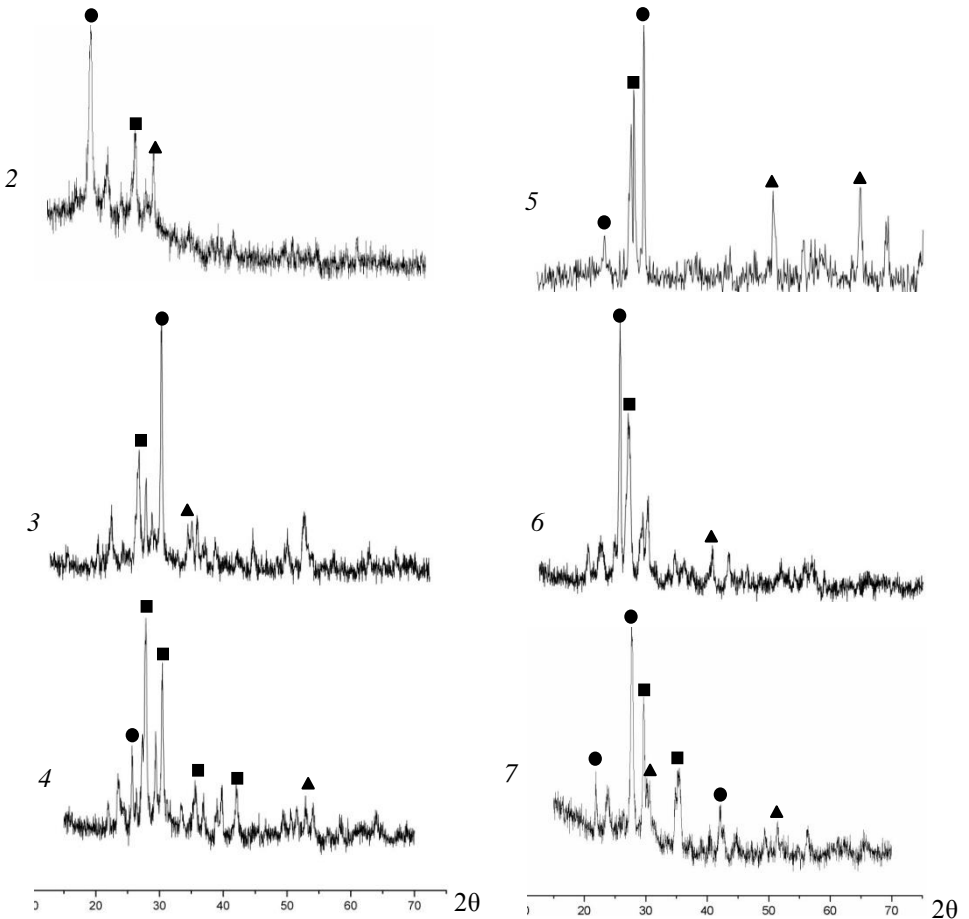


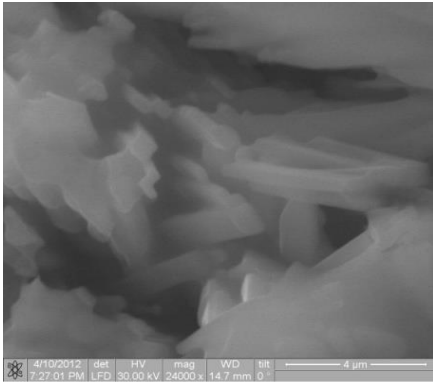
Рисунок 4. – Рентгенограммы стеклокристаллического материала на основе зол ТЭС, известняка и кварцевого песка:

2,3,4 – образцы на основе зол ТЭС, известняка и кварцевого песка; 5,6,7 – образец на основе зол ТЭС и известняка;

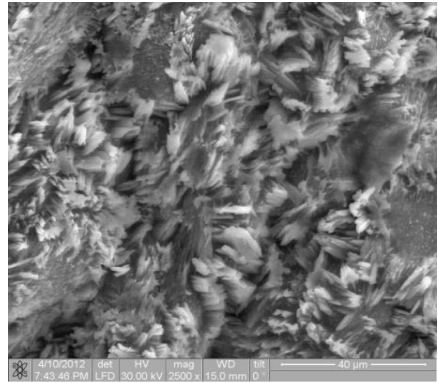
■ – анортит; ▲ – волластонит; ● – кварц

Микроскопические исследования образцов стеклокристаллического материала, после двухстадийной термообработки, (рисунок 5) показали наличие плотной однородной кристаллической структуры. Форма кристаллов вытянутая, с размерами 90 нм. Анортит кристалли-

зуется в триклинной сингонии. Это хорошо коррелирует с предыдущими анализами.



a – увеличение в 24000 раз.



б – увеличение в 2500 раз.

Рисунок 5 – Микрофотографии поверхности продукта плавления сырьевой смеси на основе золы (состав 4), подвергавшегося термической выдержке

Таким образом, анализ экспериментальных данных показывает, что электроплазменный способ плавления при получении силикатного расплава, значительно сокращает время плавления, обеспечивает высокую химическую однородность расплава и, как следствие, более широкий интервал выработки и лучшее качество стеклокристаллического материала, о чем свидетельствуют представленные в таблице 4 сравнительные свойства известных аналогов.

Таблица 4 – Сравнение свойств стеклокристаллического материала и известных аналогов

Показатели	Зольное стекло «Марблит»	Петроситаллы	Шлакоситаллы	СКМ, полученные по плазменной технологии
Средняя плотность, кг/м ³	2670–2690	2880–2900	2730–2760	2900–2990
Предел прочности при изгибе, МПа	60–70	50–100	40–60	90–110
Предел прочности при сжатии, МПа	300–400	350–450	300–400	450–530
Твердость по Моосу	Около 6	Около 6	Около 6	Около 6
Водопоглощение, %	0	0	0	0

Глава четвертая («Исследование технологических параметров получения стеклокристаллических материалов и изделий из них с использованием отходов теплоэнергетики») посвящена описанию технологии получения стеклокристаллического материала из силикатного расплава и анализу его свойств.

Технологический процесс производства стеклокристаллических материалов заключается в измельчении и тщательном перемешивании компонентов, плавлении и формовании изделий. Специфическим процессом получения стеклокристаллических материалов является процесс направленной кристаллизации расплава.

При использовании нетрадиционных источников нагрева – низкотемпературной плазмы (НТП), для которой характерна интенсификация процесса минералообразования при температуре выше 3000 °С, важным становится режим термообработки и химико-минералогический состав сырьевых компонентов.

Произведена оценка производительности и энергозатрат при получении расплава из тугоплавких силикатсодержащих материалов.

Экспериментально установлены значения удельных тепловых потоков, необходимых для получения расплава на основе сырьевой смеси, содержащей до 70 % отходов энергетических производств, и формирования качественного силикатного расплава – $1,8 \cdot 10^6$ Вт/м².

На основании проведенной работы была разработана технологическая схема производства стеклокристаллического материала на основе отходов теплоэнергетики с использованием низкотемпературной плазмы.

Разработанная технология получения стеклокристаллического материала предусматривает комплексное решение нескольких важных социально-экономических проблем: экономии материальных и природных ресурсов, снижения стоимости инновационного строительного материала, улучшения экологической обстановки в регионе.

Внедрение в производство стеклокристаллического материала таких отходов, как зола ТЭС, позволяет получать строительные стеклокристаллические материал с улучшенными физико-механическими свойствами по ресурсо- и энергосберегающей технологии. При этом

данная технология не требует серьезных переделов и снижает себестоимость изделий с попутным решением экологических проблем, связанных с большим ростом объема накопленных зол ТЭС. Технологическая схема производства стеклокристаллических материалов приведена на рисунке 6.



Рисунок 6 – Технологическая схема производства облицовочных строительных стеклокристаллических материалов, полученных с использованием низкотемпературной плазмы

Отличительной особенностью технологической схемы производства стеклокристаллического материала (рисунок 6) является определенная последовательность подготовки смеси, заключающаяся в предварительном дозировании компонентов, последующем помоле и гомогенизации. При этом обязательным технологическим этапом при плазменном способе является грануляция сырьевой смеси, что необходимо для устранения ее раздува при воздействии высококонцентрированного теплового потока. Рекомендательный для промышленного внедрения тепловой агрегат, представляет собой прямоточный узел. Который включает в себя плазмотрон прямого действия источника питания, системы газоподачи и охлаждения.

На основании проведенных экономических расчетов, использование золы в производстве стеклокристаллических материалов по плазменной технологии позволит снизить себестоимость продукции в целом на 25–30 %, с учетом цен за 2012 г.

Результаты исследований используются в учебном процессе Томского государственного архитектурно-строительного университета

по направлению 270800 «Строительство». По результатам исследований ООО "Сибирский силикатный центр" рекомендует использование данную технологию в промышленном производстве стеклокристаллических материалов.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Установлено, что исследуемые зола ТЭС Томского региона представляют собой алюмосиликатные соединения, состоящие из кварца, железисто-магнезиальных силикатов, алюмосиликатов, стекловидного вещества, кальцитов, которые могут быть использованы совместно с карбонатами и кварцевым песком для получения силикатного расплава в условиях низкотемпературной плазмы.
2. Сырьевая смесь, состоящая из: золы – 70 %; известняка – 20 %; кварцевого песка – 10 %, позволяет получить расплав, обогащенный анортито- и волластонитоподобными соединениями.
3. Плавление исследуемых сырьевых смесей при удельных тепловых потоках $q = 1,8\text{--}2,6 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2$, и температуре 2000–3000 °С, вольтамперных характеристиках находящихся в пределах: $I = 240\text{--}260 \text{ А}$, $U = 120\text{--}140 \text{ В}$, позволяет получить силикатный расплав, обогащенный анортитом, следующего химического состава: $\text{SiO}_2 - 61,89 \div 40,22$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 20,4 \div 30,3$; $\text{CO} - 9,8 \div 20$; $\text{MgO} - 1,7 \div 1,89$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 4,9 \div 5,32$; $\text{NaO} - 0,51 \div 1,15$; $\text{TiO}_2 - 0,8 \div 1,12$.
4. Термообработка полученного силикатного расплава, при которой обеспечивается получение стеклокристаллического материала с наибольшей степенью кристалличности (60–65 %) осуществляется в два этапа: 1-я ступень – 700 °С в течение 1 часа, и 2-я ступень – 950 °С в течение 2 часов.
5. Использование зол ТЭС в количестве до 70 % (патент РФ 2448918) совместно с известняком и кварцевым песком позволяет получить строительный стеклокристаллический материал с прочностью до 530 МПа за счет образования анортитоподобных соединений.
6. Основными кристаллическими фазами в стеклокристаллическом материале являются анортит, волластонит и геленит. Размеры кристаллов игольчатой формы не превышают 90 нм, это свидетельствует

о наноструктурированности полученного стеклокристаллического материала.

7. Строительный стеклокристаллический материал, полученный в условиях низкотемпературной плазмы, обладает повышенными эксплуатационными качествами, соответствует группе износостойкости 5, $R_{сж}=530$ МПа; $R_{изг}=110$ МПа.

8. Разработана технологическая схема и технологические решения получения стеклокристаллических материалов с использованием низкотемпературной плазмы из тугоплавких силикатсодержащих материалов.

9. Экономический эффект от производства стеклокристаллического материала, полученного с использованием низкотемпературной плазмы, по сравнению с материалами, полученными по традиционным технологиям, составляет 30 % за счет использования техногенных отходов и снижения времени и затрат на получение силикатного расплава. Полученный материал может найти самое широкое применение в качестве облицовочного строительного стеклокристаллического материала.

Основные положения и результаты диссертационной работы изложены в следующих публикациях:

В изданиях входящих в перечень ВАК

1. Луценко, А.В. Получение стеклокристаллических материалов из силикатсодержащих расплавов с использованием низкотемпературной плазмы / А.В. Луценко, Н.К. Скрипникова, Г.Г. Волокитин, А.С. Турашев // Вестник ТГАСУ. – 2012. – № 3 – С.126–132.

2. Луценко, А.В. Наноструктурированные стеклокристаллические материалы, синтезируемые в условиях низкотемпературной плазмы / А.В. Луценко, Н.К. Скрипникова, Г.Г. Волокитин // Вестник ТГАСУ. – 2012. – № 4. – С. 133–139.

Патент РФ

3. Пат. 2448918 Российская Федерация, МПК51 С03 С 10/00. Стеклокристаллический материал для напольной и облицовочной плитки/

Скрипникова Н.К., **Луценко А.В.**: заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «ТГАСУ». – опубл. 27.04.12, Бюл. № 17. – 5 с.

В общероссийских журналах

4. **Луценко, А.В.** Получение стеклокристаллического материала из силикатсодержащих расплавов с использованием высококонцентрированных источников нагрева / Сборник научных трудов Лесотехнического института. – 2009. – № 4. – С. 131 – 140.

В сборниках международных и всероссийских конференций

5. **Луценко, А.В.** Стеклокристаллические материалы, полученные из силикат-содержащих материалов / А.В. Луценко // Материалы Всероссийской конференции «Актуальные проблемы строительной отрасли»; 65-я научно-техническая конференция НГАСУ, Новосибирск, 2008. – С. 36 – 38.

6. **Луценко, А.В.** Получение стеклокристаллического материала на основе отходов теплоэнергетики с использованием высококонцентрированных источников нагрева / **А.В. Луценко, Н.К. Скрипникова** // Материалы 9-й Всероссийской научно–практической конференции «Техника и технология производства теплоизоляционных материалов из минерального сырья». – Бийск, 2009. – С. 80–83.

7. **Луценко, А.В.**, Получение стеклокристаллического материала на основе отходов теплоэнергетики с использованием высококонцентрированных источников нагрева / А.В. Луценко, Н.К. Скрипникова // Материалы X Всероссийской научно–практической конференции «Техника и технология производства теплоизоляционных материалов из минерального сырья» - Бийск, 2010. - С.89–92.

8. **Луценко, А.В.**, Получение стеклокристаллического материала на основе отходов теплоэнергетики с использованием высококонцентрированных источников нагрева / А.В. Луценко, Н.К.Скрипникова, Г.Г. Волокитин // Взаимодействие высококонцентрированных потоков энергии с материалами в перспективных технологиях и медицине: Материалы III Всероссийской конференции. – Новосибирск, 2009. – С. 39–40.

9. **Луценко, А.В.** Получение стеклокристаллического материала на основе отходов теплоэнергетики с использованием высококонцентрированных источников нагрева / А.В. Луценко, О.Ю. Михеева // 56-я научно-техническая конференция студентов и молодых ученых, 2010. – С. 283.
10. **Луценко, А.В.** Получение стеклокристаллического материала на основе отходов теплоэнергетики с использованием высококонцентрированных источников нагрева/ А.В. Луценко, Н.К. Скрипникова // X Всероссийская научно-практическая конференция «Техника и технология производства теплоизоляционных материалов из минерального сырья». – Бийск, 2010. – С. 89–92.
11. **Луценко, А.В.** Получение стеклокристаллического материала на основе отходов теплоэнергетики/ А.В. Луценко // Современные проблемы производства и использования композиционных строительных материалов: Всероссийская конференция, НГАСУ (Сибстрин), посвященная 100-летнему юбилею проф. Г.И. Книгиной и 80-летнему юбилею проф. В.М. Хрулева. – Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин). – 2008. – С. 32.
12. **Луценко, А.В.** Плазмохимический синтез стеклокристаллических материалов /А.В. Луценко, Н.К. Скрипникова, Д.Е. Жарченко // Актуальные вопросы: реальность и перспективы: Международная заочная научно-практическая конференция. – Тамбов.–2011. – С. 88–90.
13. **Луценко, А.В.** Получение стеклокристаллического материала на основе отходов теплоэнергетики с использованием высококонцентрированных источников нагрева /А.В.Луценко, Н.К. Скрипникова // Материалы III научно-практической конференции. – Бийск. – 2012. – С. 70–72.
14. **Луценко, А.В.** Исследование наноструктурированного стеклокристаллического материала, полученного по плазменной технологии /А.В. Луценко, О.Г. Волокитин, В.В. Шеховцов // Развитие нанотехнологий: задачи международных и региональных научно-образовательных и научно-производственных центров: материалы первой международной конференции. – Барнаул. – 2012. – С. 20–22.
15. **Луценко, А.В.** Плазмохимический синтез стеклокристаллических материалов /А.В. Луценко, Д.Е. Жарченко // Материалы 58-й научно-технической конференции студентов и молодых ученых. – Томск, 2010. – С. 200–201.

16. **Луценко, А.В.** Состояние вопроса использования вторичных ресурсов в производстве стеклокристаллических материалов /А.В. Луценко, Д.Е. Жарченко, Е.Н. Борисова //Актуальные проблемы науки и образования: прошлое, настоящее, будущее. – Тамбов. – 2012. – С. 80–81.
17. **Луценко, А.В.** Исследование наноструктурных фрагментов силикатов в матрице стеклокристаллического материала, полученного в условиях низкотемпературной плазмы / А.В. Луценко, О.Г. Волокитин, В.В. Шеховцов // Наноматериалы и технологии: Материалы IV Всероссийской научной конференции с международным участием. – Улан-Удэ. – 2012. – С. 222–223.

Подписано в печать 10.02.2013. Формат 60×84.
Бумага офсет. Гарнитура Таймс. Уч.-изд.л. 1,15.
Тираж 100 экз. Заказ № 400

Изд-во ТГАСУ, 634003, г.Томск, пл. Соляная,2.
Отпечатано с оригинал-макета автора в ООП ТГАСУ.
634003,г. Томск, ул. Партизанская, 15.