

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Игнатовой Анны Михайловны «Физико-химические закономерности получения и применение литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава из природного и техногенного сырья», представленную к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов

Актуальность темы

В настоящее время традиционная промышленная технология получения литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава из сырьевых материалов техногенного и природного происхождения не позволяют управлять процессом формирования его структуры, таким образом, чтобы обеспечивать заданный уровень функциональных характеристик. Исследования вопроса обеспечения заданного уровня свойств литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава через параметры структуры, достигаемые варьированием химического состава и режимов термической обработки дают возможность в разы увеличить показатели функциональных характеристик материала и тем самым расширить его сферу применения и повысить работоспособность. Актуальным является разработка физико-химических закономерностей получения и применение литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава из природного и техногенного сырья с регулируемыми параметрами структуры и функциональных свойств. Реализация технологических разработок на основе полученных закономерностей позволит повысить качество литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава, расширить их номенклатуру и изделий из них, а также обеспечит экономическую эффективность их получения.

В связи с этим особую актуальность приобретают вопросы расширения сырьевой базы для получения литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава за счет использования распространенного природного сырья и техногенных отходов, в том числе некондиционных, для металлургии и силикатной промышленности. Системное решение научных и практических задач, связанных с получением литых стеклокристаллических материалов различного назначения, установлением режимов их плавления и термической обработки, обеспечивающих структурные характеристики и показатели функциональных свойств, является определяющим в решении рассматриваемой проблемы.

Диссертационная работа Игнатовой А.М. отвечает критерию актуальности по изложенным выше вопросам и проблемам.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций

Обоснованность положений, выносимых на защиту, выводов, пунктов научной новизны и практической значимости обеспечена – применением комплекса современных взаимодополняющих методов исследования, грамотным

формулированием цели и задач исследования, получением обширного фактического материала и его разносторонним анализом, применением статистической обработки полученных данных.

Научная новизна и практическая значимость

Научная новизна и практическая значимость работы диссертационной работы Игнатовой А.М. не вызывают сомнений. Представленный автором фактический материал и результаты экспериментальных исследований дополняют и развивают существующие представления о физико-химических закономерностях получения литых стеклокристаллических материалов и применение этих материалов в различных отраслях.

Новыми научными результатами являются: химические условия, определяющие шпинелид-пироксеновый состав и сферолитную структуру литых стеклокристаллических материалов; физико-химические параметры расплава обуславливающие этапы формирования структурных составляющих литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава; сферолитно-сетчатая модель структуры литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава; физические параметры расплава, определяющие размер структурных составляющих при охлаждении, затвердевании и кристаллизации расплава литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава; закономерности, определяющие связь морфометрических структурных параметров между собой и с показателями функциональных свойств литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава; выявленные особенности влияния ионного баланса расплава на его вязкость; выявленные особенности деформации и разрушения литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава при статических и ударно-волновых нагрузках.

В работе над диссертацией Игнатова А.М. для решения поставленных задач разработала и адаптировала методы исследования механических характеристик изучаемых материалов и технические средства лабораторного и полупромышленного получения расплава материалов.

Практическая значимость диссертации Игнатовой А.М. определяется тем, что предложен регламент оценки пригодности природного и техногенного сырья и рекомендации по составлению сырьевых композиций для получения новой группы литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава со сферолитной структурой; предложены и реализованы на практике рекомендации по оптимизации режимных параметров технологии получения новой группы литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава и изделий из них; предложены и реализованы на практике рекомендации по получению и применению материалов и устройств повышенной износостойкости, термостойкости, радиоактивной стойкости, экранированию от электромагнитных излучений, предохранения и обеспечения защиты жизнедеятельности населения и технических объектов от экстремальных террористических воздействий; модифицированы электродуговые печи для получения расплава из неметаллического тугоплавкого силикатного сырья.

Отдельно хотелось бы отметить всестороннюю подготовленность диссертанта не только в рамках заявленной специальности, но и в областях механики, неразрушающего контроля материалов, химической технологии, минералогии и наукометрическом анализе изображений.

Кратка характеристика основного содержания диссертации

Во **введении** обоснована актуальность темы исследований, сформулированы их цель и основные задачи, отражена научная новизна и практическая значимость результатов, представлены положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу: текущего состояния, существующих особенностей, проблем и недостатков современной теории и практической реализации процессов получения литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава, формулировке цели и задач, поставленных в диссертационной работе. Анализ работ по данной тематике позволил сделать вывод об отсутствии результатов системных исследований физико-химических закономерностей получения литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава, что подтверждает актуальность исследований в данном направлении.

Во **второй главе** представлены: краткая характеристика сырьевых материалов, использованных в работе, состав сырьевых композиций для получения литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава, рассматриваемых в работе; схемы и характеристики разработанного и изготовленного автором плавильного оборудования; стандартные методики, использованные для выявления и определения свойств полученных материалов; специальным и авторским методикам, использованным для определения механических свойств литых стеклокристаллических материалов в условиях ударно-волнового нагружения. В заключении главы изложена методология научного исследования и рабочая гипотеза, заложенная в основу работы.

В **третьей главе** сформулированы и обоснованы физико-химические условия выбора и пригодности сырья для получения литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава с использованием силикатного, петрографического, термического, рентгенофазового видов анализа; параметры плавкости были определены методом растекающейся капли. Выявлено, что для получения литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава со сферолитной структурой необходимо достижение ионного баланса расплава, выраженного как отношение грамм-ионов S^{4+} , S^{6+} и P^{5+} к грамм-ионам Al^{3+} , Fe^{3+} , V^{5+} , Cr^{3+} (N_{SP}/N_{XMe}). На основе этого принципа предложены рекомендации по составлению сырьевых композиций для получения литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава со сферолитной структурой. В завершающем параграфе главы сформулирован метод экспресс-определения категории пригодности сырья.

В **четвертой главе** рассмотрены изменения вязкости расплавов из составленных сырьевых композиций, ликвационная дифференциация расплава, изменения содержания оксидов в жидкой фазе в процессе переохлаждения расплава,

физико-химические процессы, обеспечивающие формирование сферолитной структуры, реакции фазообразования в различных зонах плавильного пространства электродуговых установок.

Выявлено, что основными реакциями в расплавах шпинелид-пироксенового состава являются реакции обмена магния и железа в парах «клинопироксен–ортопироксен» и «оливин–ортопироксен». Обнаружен и объяснен эффект ликвационной дифференциации в расплаве.

Установлено, что определяющим фактором фазообразования шпинелид-пироксенового состава является соотношения количества кислых оксидов с количеством основных оксидов и летучестью кислорода в расплаве. Впервые установлена взаимосвязь в расплаве количества кислых оксидов с количеством основных оксидов, летучестью кислорода, температурно-химическими параметрами расплава и формированием основных элементов структуры: пироксеновый сферолит, шпинелидное ядро и стеклофаза – и их химическим составом, количеством, размером и распределением относительно друг друга.

В пятой главе рассмотрены морфометрические параметры структурных составляющих литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава, физические свойства, механические свойства при статических и ударно-волновых нагрузках и взаимосвязь структуры и функциональных свойств материалов шпинелид-пироксенового состава.

Морфометрические параметры структурных составляющих литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава сформулированы в форме сферолито-сетчатой модели.

В совокупности структура литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава характеризуется индексом сферолита, который определяется отношением толщины пироксеновой прослойки к приведенному диаметру шпинелидного ядра $((D_{сф} - D_{ш})/2D_{ш})$.

В особенности следует отметить, что предложена интерпретация процессов деформации и разрушения литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава при статических нагрузках, которая указывает на то, что в процессе нагружения одновременно начинается движение дислокаций и пластическая деформация аморфной прослойки. Анализ результатов экспериментов по ударно-волновому воздействию позволил установить, что общей тенденцией для всех видов литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава является фрагментация, пропорциональная скорости воздействия. По результатам ударно-волновых испытаний получены зависимости распределения температур на поверхности ударного контакта, зависимость объема диссипирующей энергию от скорости звука в материале и зависимости, характеризующие изменение скорости деформации от величины деформации образца.

В шестой главе сформулированы рекомендации по технологическим режимам подготовки шихты, литейных форм, плавления расплавов и термической обработки отливок, которые обеспечивают достижение требуемых параметров структуры для достижения необходимого уровня функциональных свойств материалов и изделий. Для механической обработки литых изделий предложен метод гидроабразивной резки. Также в данной главе рассматриваются исследования автора, посвященные

экспериментальным испытаниям материалов, ориентированным на поиск новых видов продукции, а именно средств бронезащиты, бытовых и художественных изделий.

В заключении по работе кратко описаны результаты исследований и представлены перспективные направления применения литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава со сферолитной структурой в различных сферах специального, промышленного и гражданского применения.

В конце работы представлены **выводы, литературные источники и приложения.**

Оценка изложения материалов диссертации и автореферата

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, основных выводов, списка литературы, включающего 346 источников, и приложений. Работа изложена на 370 страницах машинописного текста, содержит 58 таблиц и 145 рисунков. Автореферат диссертации объемом 44 страницы содержит 24 рисунка, 13 таблиц. Основные положения и результаты, достигнутые в диссертационной работе в полном объеме отражены в тексте автореферата.

Оформление диссертации и автореферата соответствует требованиям Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете, утвержденного приказом ректора ТПУ 93/од от 06.12.2018 г.

Материалы диссертации опубликованы в журналах и научных изданиях, индексируемых в международных наукометрических базах данных Scopus и Web of Science (15 шт.), в научных изданиях, рецензируемых перечнем ВАК (50 шт.) и РИНЦ (60 шт.), получен 21 патент РФ, издано 6 монографий.

Структура диссертации является логически выстроенной. Названия глав, разделов и подразделов сформулированы в соответствии с их содержанием. Иллюстративный и табличный материал подкреплен пояснениями в тексте. Стиль изложения автор соответствует научным канонам, является понятным и не содержит лишних отступлений.

Замечания по диссертационной работе

В отношении оппонируемой работы есть следующие замечания:

1. Из информации изложенной в описании плавильной установки полупромышленного типа ясно, что в ее конструкции предусмотрено водное охлаждение, которое обеспечивает образования гарнисажа. Однако, не ясно, какой толщины образуется гарнисажная корка и контролируется ли ее рост.
2. Автор только вскользь упоминает о том, что расплав литых стеклокристаллических материалов, в отличие от сырья, обладает электропроводностью. Хотелось бы пояснений о том, как производится

розжиг дуги в таких условиях и учитывается ли сопротивление расплава при назначении режимов плавки.

3. Отмечается, что при плавлении сырьевых композиций в печи промышленного типа на подине печи концентрируется восстановленный железистый расплав, может ли автор пояснить как это влияет на процесс плавки и характер изменения физических и химических параметров расплава.

Перечисленные замечания не снижают ценность работы, выполненной диссертантом. Считаю, что диссертация Игнатовой А.М. является законченной научно-квалификационной работой, заслуживающей высокой оценки профессионального и научного сообщества.

Заключение о соответствии диссертации требованиям положения о порядке присуждения ученых степеней

Диссертационная работа Игнатовой Анны Михайловны «Физико-химические закономерности получения и применение литых стеклокристаллических материалов шпинелид-пироксенового состава из природного и техногенного сырья» соответствует п.п. 8...12 Порядка присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском Томском политехническом университете, утвержденного приказом ректора ТПУ 93/од от 06.12.2018 г. (dis.tpu.ru); ее содержание соответствует паспорту специальности 05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов. Игнатова Анна Михайловна заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук, профессор кафедры
прикладной механики и материаловедения,
проректор по учебной работе Томского государственного
архитектурно-строительного университета

_____ > _____ Волокитин Олег Геннадьевич
21.08.2019

ФГБОУ ВО «Томский государственный архитектурно-строительный университет»

Адрес: 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2, ТГАСУ, корпус № 2, 2 этаж, приемная
проректора по УР
раб. тел. т./ф. +7 (3822) 65-33-74, e-mail: study@tsuab.ru

Подпись Волокитина Олега Геннадьевича удостоверяю

Проректор по научной работе

