

*На правах рукописи*



Емельянов Александр Юрьевич

**РАЗРАБОТКА СИЛИКАТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ  
ХУДОЖЕСТВЕННЫХ ЭМАЛЕЙ**

Специальность 17.00.06 – Техническая эстетика и дизайн.

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2013

Работа выполнена на кафедре материаловедения и технологии материалов Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет»

Научный руководитель: Петрова Светлана Георгиевна  
кандидат технических наук, доцент кафедры  
материаловедения и технологии материалов  
ФГБОУ ВПО СПбГМТУ

Официальные оппоненты: Жукова Любовь Тимофеевна  
доктор технических наук, профессор  
ФГБОУ ВПО СПГУТД,  
заведующая кафедрой технологии  
художественной обработки материалов и  
ювелирных изделий

Канюков Никита Владимирович  
кандидат технических наук,  
ООО «Арт-Штайн», директор

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Санкт-Петербургская государственная  
художественно-промышленная академия  
имени А. Л. Штиглица», г. С-Петербург

Защита состоится 13 марта 2013г. в 12-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.236.04 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна» по адресу: 191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 18, Инновационный центр.

Текст автореферата размещен на сайте <http://www.sutd.ru>

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна по адресу: 191186, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 18.

Автореферат разослан 12 февраля 2013 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета

Лезунова Наталья Борисовна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность работы

Применение цветных художественных эмалей в качестве стеклообразного вещества, наплавляемого на металлическую поверхность, является одной из древнейших технологий в декоративно-прикладном искусстве.

Техника перегородчатой эмали возникла в средиземноморском бассейне в Греко-римский период и получила наивысшее развитие в Византийской империи. Искусство перегородчатой эмали также широко развивалось в западной Европе (провинция Лимож), где искусство эмали было известно еще с 5-го века до н. э. в виде кельтских выемчатых эмалей.

На дизайн средневековых перегородчатых эмалей большое влияние оказала техника инкрустации золотых ювелирных изделий полудрагоценными камнями, кусочками смальты и цветными пастами.

Позднее эту сложную и кропотливую технику вытеснила перегородчатая эмаль клуазоне (*cloisonné*), где также на металлическую пластину напаивались перегородки, но пространство между ними заполнялось цветными эмалями.

В настоящее время в распоряжении художников-эмальеров находится широкий спектр цветных художественных эмалей отечественного и импортного производства для создания произведений искусства: в сфере ювелирного дела, в рамках эмалевой живописи и декоративно-прикладного искусства.

Однако выпускаемые промышленностью горячие художественные эмали имеют ряд недостатков: существенные ограничения по возможностям получения декоративных эффектов, ряду физико-химических свойств, а также ограниченная номенклатура выпускаемых промышленностью эмалей. Поэтому применение новых композиций художественных эмалей и разработка технологий по их использованию является актуальной. Применение новых материалов эмалей на основе силикатных композиций смальты и бисера в качестве цветной горячей эмали позволит улучшить дизайн художественных изделий, снизить материальные затраты при производстве изделий в технике горячей эмали и придать новые потребительские свойства материалам, ранее не применяемым для этих целей.

### Степень теоретической разработанности темы исследования

В процессе разработки силикатных композиций экспериментальных эмалей был проведен анализ следующей литературы:

– по истории художественной эмали: Э. Бреполь, А. А. Гилодо, Т. А. Макарова, М. А. Неглинская, Е. Н. Некрасова, А. А. Титов, У. Хайдн;

– по технологии эмалирования, производству, свойствам и составам эмалей: Э. Бреполь, В. В. Варгина, А. Петцольд, Г. Пёшманн, Л. З. Засухина, В. П. Клюев, И. Коцик, А. Г. Лацетти, М. Л. Нестеренко, В. А. Локшин, Г. Л. Мэттьюс, А. А. Пупарев, *H. Maryon*;

– по химии стекла и эмали: А. А. Аппен, М. В. Артамонова, Н. М. Павлушкин, Н. А. Топоров, М. М. Шульц.

Результаты анализа отечественных и зарубежных литературных источников по технологии художественного и промышленного эмалирования показали, что вопрос применения новых материалов в качестве горячих эмалей практически не исследован.

Область исследования соответствует научной специальности 17.00.06 «Техническая эстетика и дизайн» (п.15. Способы декорирования и реставрации художественных изделий).

#### Цель и задачи исследования

Целью диссертационной работы является разработка новых материалов для художественного эмалирования с использованием силикатных композиций на основе смальты и цветного бисера.

В соответствии с указанной целью были поставлены и решены следующие задачи:

- исследование физико-химических и декоративных свойств силикатных экспериментальных эмалей по сравнению с выпускаемыми промышленностью цветными художественными эмалями;
- разработка технологических параметров создания художественных изделий в технике перегородчатой эмали с использованием силикатных экспериментальных эмалей;
- определение соотношений компонентов предлагаемых экспериментальных эмалей для получения заданных декоративных эффектов;
- разработка технологических рекомендаций по применению силикатных экспериментальных эмалей в производстве художественных изделий.

#### Объект и предмет исследования

Объектом исследования являются экспериментальные силикатные композиции на основе смальты и бисера, а также образцы экспериментальных силикатных покрытий на меди.

Предметом исследования являются физико-химические свойства, операции, действия, процессы, обеспечивающие применение силикатных экспериментальных эмалей для изготовления художественных изделий в технике перегородчатой эмали.

#### Научная новизна работы

1. Разработаны силикатные композиции на основе художественных стекол (цветных смальт и бисера), пригодные для использования в качестве цветной художественной эмали по меди и изготовления художественных изделий высокого качества.

2. Доказано, что разработанные силикатные композиции имеют высокие технологические и художественные свойства для создания художественных изделий в технике перегородчатой эмали, что позволяет расширить диапазон возможностей художника-эмальера и придать новые потребительские свойства уже известным материалам.

3. Установлены технологические параметры применения экспериментальных эмалей для создания художественных произведений в технике перегородчатой эмали по меди, которые допускают включение отдельных компонентов в виде

кусков смальты, цветного стекла в поверхность цветового эмалевого слоя для создания сложных цветовых переходов, а также возможность использования их совместно с композициями классических горячих эмалей, что позволяет существенно расширить цветовую палитру художественных изделий.

4. Определены количественные соотношения компонентов силикатных композиций и выбраны температурные интервалы обжига разработанных композиций на разных стадиях изготовления перегородчатой эмали, в зависимости от размеров изделия.

#### Практическая значимость работы

1. Полученные эмалевые покрытия обладают повышенной химической устойчивостью, что позволяет применять химическую очистку медной поверхности от окалины (травление) при многократном обжиге изделия. Защищаемые эмалевые покрытия обладают повышенной плотностью по сравнению с известными эмалями за счет меньшей газонасыщенности, что улучшает технологические свойства эмалей.

2. Разработана методика получения эмалевых покрытий на основе силикатных экспериментальных эмалей, позволяющая расширить художественные приемы создания произведений искусства и объектов декоративно-прикладного искусства в технике перегородчатой эмали.

3. Разработанные композиции могут успешно применяться как в индивидуальном художественном творчестве, так и в серийном производстве. Их практическое применение минимизирует материальные затраты в процессе изготовления художественных изделий.

4. На основе предложенных силикатных композиций можно создавать индивидуальную цветовую палитру. По сравнению с художественными эмалями, выпускаемыми промышленностью, разработанные эмалевые композиции обладают повышенной экологичностью и являются более безопасными в работе.

5. Разработаны рекомендации по технологии использования силикатных композиций. Полученные результаты используются в учебном процессе для специальности ТХОМ. Разработанные технологии приняты к внедрению в производстве художественных и ювелирных изделий на предприятии «ООО «Велес».

#### Методология и методы исследования

В качестве методологической базы применялся системный подход, предполагающий комплексное рассмотрение предмета исследования. Для получения аналитических данных использовался метод сравнительного анализа. В работе использовались основные положения теории спектрофотометрии, примененные для получения количественных характеристик цвета экспериментальных эмалей. Обработка результатов проводилась методом математического анализа с использованием стандартных программ.

Экспериментальные исследования выполнялись с использованием муфельной печи СНОЛ-1,6.2,0.0,8/9-М1. Температуру измеряли с использованием электронного микропроцессорного измерителя-регулятора температуры ТРМ 1-Н.У.Р производства фирмы ОВЕН и термоэлектрического преобразователя типа ДТПКхх5 ТХА с классом допуска 2. Массу определяли с помощью лабораторных

весов серии ВСЛ-2К/0,01 с ценой деления шкалы (дискретностью) 0,01 г и классом точности II (высокий). Исследования макроструктуры срезов эмалевого покрытия производилось с помощью оптического микроскопа «*Neophot-32*». Определение элементного состава образцов проводится методом электронно-зондового микроанализа. Чувствительность метода составляет ~ 0.1 вес. %. Цветовые характеристики исследуемых экспериментальных эмалей оценивали с помощью методов спектрофотометрии с использованием спектрофотометра фирмы *GretagMaclebeth Spectroeye*. Характеристики микротвердости Исследование твердости экспериментальных эмалей производилось на автоматическом микротвердомере *DM-8* фирмы *AFFRI*. Погрешность измерения  $\pm 5,0$  %. Исследования значений температурного коэффициента линейного расширения производилось с помощью автоматического дифференциального кварцевого дилатометра модели ДКВ-5.

#### Положения, выносимые на защиту

1. Предлагаемые в работе экспериментальные силикатные цветные эмали обладают достаточными технологическими свойствами и могут успешно применяться в технике перегородчатой эмали.

2. Использование силикатных композиций в художественном эмалировании существенно расширяет возможности художника-эмальера.

3. Применение экспериментальных силикатных эмалей позволяет получать декоративные эффекты, невозпроизводимые с помощью традиционных горячих эмалей.

4. Использование экспериментальных силикатных эмалей делает процесс эмалирования более безопасным для человека и окружающей среды.

Достоверность результатов и обоснованность основных положений и выводов диссертационной работы обеспечивается применением современных методов исследования, тщательной обработкой и обобщением большого количества экспериментальных данных по изучаемой проблеме, публикациями и докладами, практическим участием в конференциях и выставках, апробацией в производственных условиях.

#### Апробация работы

По основным результатам диссертации опубликовано 7 работ, в том числе 5 статей – в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций.

Материалы диссертации докладывались, обсуждались и получили положительную оценку на научно-технических конференциях: Первая международная научно-практическая конференция вузов России «Развитие современного искусства: Наука и образование в области ювелирной промышленности» СПУТД, (СПб., 2007 г.); Вторая международная научно-практическая конференция вузов России «Развитие современного искусства: проблемы и перспективы дизайн-образования» СПУТД, (СПб., 2008г.); XVII международная молодежная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» ТПУ (Томск, 2011г.); региональный смотр-конкурс творческих работ студентов «Технология художественной обработки материалов». Диплом 1-й степени

в номинации «Научное исследование». Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» (СПб., 2012).

#### Личный вклад автора

Все результаты исследований, изложенные в настоящей диссертации, получены самим автором при его непосредственном участии или под его руководством. Автор участвовал в постановке задач, проведении экспериментов, обработке и анализе результатов. Автору непосредственно принадлежит обобщение полученных данных, разработка методологических подходов и формулирование основных выводов.

#### Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованных источников из 82 наименований, 6 приложений. Текст работы изложен на 167, страницах, содержит 36 рисунков, 26 таблиц.

### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во Введении обосновываются актуальность работы, цель и задачи исследования, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость диссертационной работы.

В первой главе «Современное состояние технологии эмалирования» представлен анализ современного состояния вопроса применения цветных художественных эмалей в декоративно-прикладном искусстве, рассматриваются основные проблемы, возникающие при использовании цветных художественных эмалей, такие как:

- невозможность смешения эмалей различных цветов для получения дополнительных оттенков;
- низкая химическая стойкость горячих цветных художественных эмалей;
- высокое содержание токсичных веществ в составе цветных художественных эмалей — соединений свинца, мышьяка, кадмия и др.

Рассматриваются основные приемы эмалирования, химический состав, декоративные и технологические свойства цветных горячих эмалей, фазы обжига и принципы сцепления эмалей с металлической поверхностью.

Описываются аспекты цветового дизайна, природы и количественной оценки цвета. В заключении первой главы поставлена цель и основные задачи диссертационной работы.

Вторая глава «Методика изготовления образцов и создание цветовой палитры на основе выбранных стекломатериалов» посвящена описанию методики исследования свойств экспериментальных силикатных эмалей и созданию цветовой палитры экспериментальных эмалей на основе принципов цветового дизайна и цветового проектирования.

Дается обоснование выбора меди, как материала основы для перегородчатой эмали. Описывается подбор и подготовка к использованию стекломатериалов в качестве сырья для силикатных экспериментальных эмалей.

В процессе подготовки к исследованиям были испытаны различные стекломатериалы, традиционно не применяемые в качестве художественных эмалей, та-

кие как смальта, бисер, цветное стекло и др. Наилучшим образом зарекомендовали себя два материала: непрозрачная смальта отечественного и зарубежного производства, применяемая в мозаичном деле и непрозрачный (глушенный) цветной бисер чешского производства. Чтобы компенсировать разницу в свойствах этих материалов, было решено использовать в большинстве случаев в качестве эмалевого покрытия силикатные композиции, содержащие оба из этих материалов. Это не только позволяло выровнять разницу таких свойств, как температура плавления, твердость, вязкость и т.д., но и улучшало прочность сцепления с металлом.

Разработана цветовая палитра, на основе которой можно создавать полноценные художественные произведения в технике перегородчатой эмали. Выбранные в качестве компонентов экспериментальных эмалей образцы цветного бисера и смальты не только наилучшим образом отвечают решению поставленных колористических задач, но и обладают достаточными технологическими свойствами для использования в качестве эмалевого покрытия.

Третья глава «Исследование физико-химических свойств экспериментальных эмалей и анализ возможностей их применения для изготовления перегородчатых эмалей» посвящена исследованию физико-химических свойств силикатных эмалей и сравнению свойств экспериментальных эмалей со свойствами цветных художественных эмалей, выпускаемых промышленностью. Проводится анализ возможностей их применения для создания перегородчатых эмалей.

Исследованию подвергались экспериментальные эмали на основе силикатных композиций смальты и бисера с соотношением весовых частей, указанным в таблице 1.

*Таблица 1 - Номенклатура и соотношения весовых частей компонентов экспериментальных эмалей*

Цвет эмали	Номенклатура	Расшифровка и соотношение весовых частей
Белый	№ 11	Белый бисер (1)
Серый	С13 + №27	Серая смальта : белый бисер (1:1)
Черный	№20 + №12 + №26	Черный бисер : синий бисер : темно-коричневый бисер (1:1:1)
Коричневый	№17 + №26	Светло-коричневый бисер : темно-коричневый бисер (1:1)
Желтый 1	С4 + №11	Желтая смальта : желтый бисер (2:1)
Желтый 2	С4 + №11	Желтая смальта : желтый бисер (1:1)
Желтый 3	С4 + №11	Желтая смальта : желтый бисер (1:2)
Красный 1	С8 + №23	Красная смальта : красный бисер (1:1)
Красный 2	С8 + №23	Красная смальта : красный бисер (1:2)
Зеленый 1	С2 + №9	Зеленая смальта : зеленый бисер (1:1)
Зеленый 2	С2 + №9	Зеленая смальта : зеленый бисер (1:2)
Синий 1	С12 + №12	Синяя смальта : темно-синий бисер (1:1)
Синий 2	С12 + №25	Синяя смальта : синий бисер (1:1)
Голубой	С7 + №13	Голубая смальта : голубой бисер (1:1)
Фиолетовый	С11 + №21 + №27	Фиолетовая смальта : фиолетовый бисер : белый бисер (1:1:1)
Оранжевый	№23 + №11	Красный бисер : желтый бисер (1:1)

Были исследованы следующие технологические свойства:

1. Температура плавления силикатных экспериментальных эмалей. Исследование проводилось в несколько этапов:

1.1 Нахождение температуры обжига экспериментальных композиций: - наилучший интервал температур для наплавления экспериментальных силикатных композиций в виде порошка на медную подложку составил 850-880 °С.

1.2. Определение температурных точек размягчения, образования капли и полного растекания экспериментальных эмалей – начала оплавления эмали (Т1), образования капли (Т2) и максимального растекания эмали (Т3).

Наибольшее значение для изготовления перегородчатых эмалей имеет Т2, так как он определяет минимальную температуру, при которой начинает происходить наплавление эмалевой массы на металл. Выявление этого диапазона является основной задачей данного эксперимента.

Температура образования капли Т2 для всех исследованных силикатных композиций смальта + бисера находится в интервале  $810 \pm 10$  °С.

1.3. Определение интервалов обжига на различных этапах производства перегородчатых эмалей. Исследование характера расплавления экспериментальных композиций в различных температурных диапазонах.

На основе проведенных экспериментов установлено, что на различных стадиях производства перегородчатых эмалей необходимо использовать различные температурные интервалы обжига, в зависимости от массы и размеров изделия. Наплавление эмалевого покрытия на металлическую поверхность происходит между Т2 и Т3.

При проведении дальнейших обжигов для устранения дефектов эмалей (недоливов, трещин, пузырей, усадки и пр.), а также при наплавлении поверх экспериментальных эмалей промышленных ювелирных эмалей в качестве дополнительного декоративного решения, температуру обжига необходимо уменьшать, особенно при проведении глянцевого полирования, чтобы не допустить возникновения связанных с этим дефектов.

Обжиг экспериментальных эмалей, находящихся в состоянии порошка (первый обжиг), нанесенного на металлическую поверхность происходит при температуре 840-880 °С.

Для улучшения технологических свойств экспериментальных эмалей рекомендуется использование двух- и более компонентных силикатных композиций на основе различных материалов – смальты и бисера. В этом случае повышается прочность сцепления эмали с металлической поверхностью.

Использование двух- и более компонентных композиций эмали позволяет не только улучшить технологические свойства экспериментальных эмалей, но и существенно расширить художественные возможности эмалирования, путем создания различных оттенков и цветовых эффектов, варьируя пропорциональные соотношения компонентов и величину помола. Исследуемые материалы имеют более высокую температуру плавления, чем цветные художественные эмали промышленного производства. Вследствие этого, при наплавлении на металл силикатные композиции различных цветов и оттенков не происходит полного смешения

ния и взаимопроникновения частиц различных композиций, в большинстве случаев результативный цвет эмалевого покрытия имеет дисперсный вид, в зависимости от величины помола частиц. Данный эффект невозможно получить, используя обычные цветные художественные эмали. Таким образом, использование двух- и более компонентных композиций на основе смальты и бисера одного цвета, но различных оттенков позволяет получить широкую гамму художественных эффектов.

При использовании экспериментальных эмалей, следует учитывать, что некоторые силикатные экспериментальные эмали холодных цветов (зеленый, синий, белый) теряют глушение при нагреве до температуры выше 750 °С, однако при вторичном нагреве до температуры около 700 °С происходит полное восстановление глушения.

2. Исследование химической стойкости экспериментальных эмалей производилось в соответствии с ГОСТ 29021-91.

Установлено, что разработанные композиции силикатных экспериментальных эмалей относятся к высшему классу химической стойкости и обладают более высокими показателями химической стойкости, чем традиционные цветные художественные эмали.

3. Исследование макроструктуры экспериментальных силикатных эмалей осуществлялось с помощью микроскопа «*Neophot-32*» с различными степенями увеличения в диапазоне от 564 до 11200 крат, в зависимости от характера видимого среза эмали.

Проведенные исследования показали следующее:

- экспериментальные силикатные эмали обладают меньшей степенью насыщенности газами, по сравнению с художественными эмалями, выпускаемые промышленностью;

- экспериментальные эмали обладают менее однородной структурой (зерна смальты вплавлены в более однородную структуру бисерного стекла), однако, это не снижает технологических свойств экспериментальных эмалей;

- сцепление с металлом у экспериментальных эмалей достаточно плотное, на границе металл-эмаль заметно следствие взаимной диффузии металла с эмалью и образование тонкой оксидной пленки, что обеспечивает качественное сцепление эмали с медью.

4. Исследование химического состава компонентов экспериментальных силикатных эмалей показало:

- основным стеклообразователем исследуемых композиций является оксид кремния  $SiO_2$ , содержание которого находится в пределах 62,8-68,5 % для бисера; и 63,9-77,1 % для смальты. В традиционных цветных эмалях, выпускаемых промышленностью содержание  $SiO_2$  значительно ниже, и составляет 34-55 %, что и обуславливает более высокую температуру расплавления экспериментальных эмалей, но одновременно повышает химическую стойкость последних;

- в качестве стеклообразователей, а также в качестве флюсов, снижающих температуру плавления, присутствуют  $Na_2O$  в количестве 5-13 % и  $K_2O$  в количестве 8-14 %. Эти показатели значительно ниже, чем у художественных эмалей,

выпускаемых промышленностью и примерно равны их содержанию в технических стеклах, что обуславливает повышенную химическую стойкость предлагаемых экспериментальных эмалей, т. к. высокое содержание оксидов щелочных металлов вместе со снижением температуры плавления приводит к значительному понижению химической стойкости;

– в качестве модификаторов в исследуемых составах присутствуют следующие оксиды:  $MgO$  (до 1 %),  $Al_2O_3$  (2-6 %),  $CaO$  (до 3,5 %),  $ZnO$  (4-16 %),  $BaO$  (до 7 %), содержание которых несколько меньше, чем в традиционных эмалях (за исключением оксидов цинка и бария) и приближается по своим значениям к техническим стеклам;

– глушение экспериментальных эмалей вызывается наличием в их составе фтора в количестве от 1 до 5 %, который образует соединения с оксидами кальция и натрия. Глушащее действие базируется в основном на взаимодействии с оксидом натрия при выделении кристаллов фторида натрия.

– наличие в составе эмалей оксида бария в количестве более 5 % вызывает эффект наводки, при нагреве эмалей выше 800 °С пропадает эффект глушения. При повторном нагреве в температурном диапазоне 750-800 °С глушение появляется вновь, что обусловлено растворением кристаллов фторида натрия и повторном их образовании при наводке;

– в качестве красителей и пигментов для экспериментальных эмалей используются в основном те же соединения, что и для большинства цветных эмалей.

Установлено, что химический состав экспериментальных эмалей отличается от композиций большинства художественных эмалей, выпускаемых промышленностью, главным образом более высоким содержанием оксида кремния и отсутствием в них вредных и опасных для экологии соединений свинца и мышьяка.

5. Проведено исследование абсолютной и сравнительной вязкости и растекаемости экспериментальных композиций и традиционных художественных эмалей. Нахождение показателей *абсолютной* вязкости для экспериментальных эмалей производилось с помощью метода вдавливания конического индентора в тонкие пластинки на контрольном образце белой экспериментальной эмали №27.

Результаты экспериментов представлены на рисунках 1 и 2.

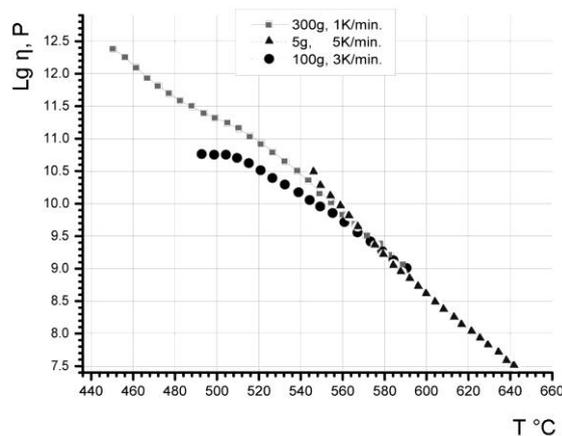


Рисунок 1 - Значения вязкости эталонного образца по трем различным соотношениям нагрузки на индентор и скорости изменения температуры

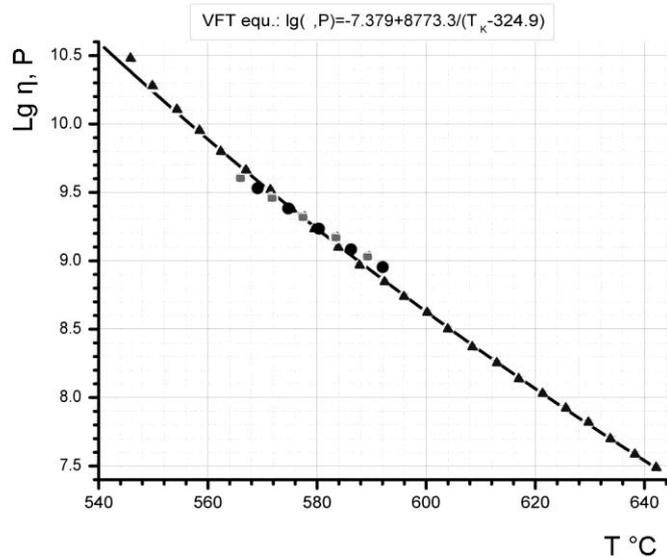


Рисунок 2 - Влияние температуры нагрева эмали на вязкость

Если принять среднее значение  $\lg \eta$  при температуре 548 °C – 10,3P ( $\eta = 10^{10.3}$  Па•с), а при температуре 641 °C – 7,5P ( $\eta = 10^{7.5}$  Па•с), то проведя экстраполяцию, были определены значения коэффициента вязкости при более высоких рабочих температурах:

780 °C –  $\lg \eta = 4,67P$  ( $\eta = 10^{4.7}$  Па•с )

820 °C –  $\lg \eta = 4,04P$  ( $\eta = 10^{4.0}$  Па•с )

850 °C –  $\lg \eta = 3,61P$  ( $\eta = 10^{3.6}$  Па•с )

880 °C –  $\lg \eta = 3,21P$  ( $\eta = 10^{3.2}$  Па•с )

Исследование характеристик *текучести и растекаемости* проводилось согласно ГОСТ 50045-92 (ИСО 4534-80). На основе проведенных экспериментов были сделаны следующие выводы:

– исследуемые силикатные экспериментальные эмали имеют большие значения динамической вязкости и поверхностного натяжения, чем ювелирные эмали, выпускаемые промышленностью, в среднем диапазоне обжига последних (780-820 °C), но достигают требуемых значений вязкости и растекаемости при более высоких температурах обжига (850-890 °C);

– среднее значение относительной динамической вязкости с поправкой на поверхностное натяжение и смачиваемость исследованных силикатных эмалей составляет – 5,9P ( $10^{5.9}$  Па•с) для температуры 820 °C и 4,5P ( $10^{4.5}$  Па•с) для температуры 880 °C;

– средние значения динамической вязкости для бисера в диапазоне рабочих температур (820-880 °C) несколько выше, чем аналогичные значения для смальты, что делает оправданным применение в качестве эмали силикатных композиций (смальта + бисер).

– значения растекаемости для экспериментальных эмалей и художественных эмалей промышленного производства сопоставимы.

6. Определение коэффициента линейного расширения силикатных экспериментальных эмалей было проведено dilatометрическим методом в соответствии с ГОСТ 10978-83 с помощью автоматического дифференциального кварцевого dilatометра модели ДКВ-5.

Термический коэффициент линейного расширения исследуемых силикатных эмалей лежит в пределах  $100-127 \cdot 10^{-7} \cdot \text{K}^{-1}$ , что позволяет использовать эти композиции в качестве художественных эмалей по меди, так как ТКЛР художественных эмалей находится в диапазоне  $100-150 \cdot 10^{-7} \cdot \text{K}^{-1}$ , при этом, ТКЛР меди составляет  $166 \cdot 10^{-7} \cdot \text{K}^{-1}$ . Таким образом, значения коэффициента линейного расширения экспериментальных силикатных эмалей ниже, чем у меди, что и требуется для обеспечения качественного сцепления эмали с металлом.

7. Исследование микротвердости экспериментальных эмалей производилось на автоматическом твердомере *DM-8* фирмы *AFFRI*, при нагрузке 50 гс.

Исследования показали, что средние значения микротвердости для художественных эмалей промышленного производства, экспериментальных силикатных эмалей и их составных компонентов (смальты, бисера) лежат в одном диапазоне ( $HV = 700-1100$ ), что соответствует данным, полученным из справочной литературы.

8. Было произведено исследование прочности сцепления эмалевого покрытия с помощью визуального анализа образцов, покрытых композициями экспериментальных силикатных эмалей, а также расчет значений прочности на растяжение и сжатие, рассчитанное по формулам аддитивности, для некоторых компонентов экспериментальных эмалей.

Расчеты показали, что, примерная прочность для состава экспериментальной силикатной эмали желтого цвета (С4 + №11 в соотношении 1:1) составляет:

- на сжатие –  $890,3 \text{ Мн/м}^2$ .
- на растяжение –  $74,8 \text{ Мн/м}^2$ .

Для эмалей прочность на сжатие колеблется в пределах  $800-1500 \text{ Мн/м}^2$ . Прочность на растяжение для стекол и эмалей в 10-20 раз меньше, чем на сжатие.

Таким образом, примерные значения прочности для экспериментальных силикатных эмалей находятся в допустимом диапазоне. Кроме того, прочностные характеристики экспериментальных эмалей усиливаются за счет хорошего сцепления с металлической подложкой.

9. Проведен выбор наиболее подходящих материалов и их примерных композиций для создания произведений декоративно-прикладного искусства в технике перегородчатой эмали, исходя из исследования их технологических и декоративных свойств.

10. Цветовые характеристики исследуемых экспериментальных эмалей оценивали с помощью методов спектрофотометрии с использованием спектрофотометра фирмы *GretagMacbeth Spectroeye*.

Были исследованы координаты цветности большинства предполагаемых к использованию экспериментальных эмалей на основе одно-двух- и трехкомпо-

нентных композиций из смальты и бисера. Измерения проводились в следующих системах на образцах размером 20 / 25 мм и 25 / 30 мм, покрытых слоем экспериментальных эмалей исследуемого цвета:

*XYZ* – значения цвета по трем координатным осям;

*LCh* – значение цвета по трем параметрам: светлота, насыщенность, и цветовой тон.

Каждое измерение проводилось трижды на различных участках образца. Условия эксперимента: стандартный источник излучения *D65*, угол обзора – 2°.

Выводы из эксперимента:

– наибольшее практическое значение в данном эксперименте имеет измерение параметров *LCh* – светлоты, насыщенности и цветового тона. Показания измерений цветового тона и светлоты соответствуют визуальной оценке образцов;

– большинство исследованных *цветных* экспериментальных эмалей имеют средние значения насыщенности цвета;

– на примере желтой и красной экспериментальных эмалей, полученных на основе силикатные композиции смальты и бисера (С4 + №11) и (С8 + №23), видно как меняются указанные параметры цвета с изменением пропорций исходных компонентов;

– проведенные исследования могут быть использованы при цветовом проектировании серийных изделий декоративно-прикладного искусства с применением экспериментальных эмалей. Так, зная цветовые характеристики отдельных композиций эмалей на основе смальты и бисера, можно достаточно достоверно прогнозировать резульативное значение цвета силикатных композиций на основе нескольких компонентов. Однако следует учитывать, что на конечный результат может оказывать влияние множество различных случайных факторов.

В четвертой главе «Влияние технологических параметров на свойства силикатных экспериментальных эмалей» описывается влияние технологических параметров на физико-химические и оптико-декоративные свойства эмалевого покрытия, а также выбор технологических параметров и количественных соотношений исходных материалов в композициях экспериментальных силикатных эмалей.

При изготовлении перегородчатых эмалей на различных стадиях производства: от подготовки поверхности и самих эмалевых композиций до получения законченного изделия, основными *технологическими параметрами*, влияющими на качество эмалевого покрытия, будут следующие:

– величина помола частиц эмали;

– материал и качество подготовки металлической пластины, предназначенной для эмалирования;

– наличие контрэмали;

– полное удаление влаги из нанесенного на металлическую поверхность эмалевого порошка;

– температура и время обжига эмалевого изделия;

– толщина слоя эмалевого покрытия и форма изделия.

Основными технологическими параметрами, оказывающими влияние на *декоративные* свойства эмалевых покрытий, являются следующие:

- температура и время обжига эмалевых композиций;
- степень очистки эмалевого порошка от различных загрязнений (частиц металла, попадающих в эмаль при размалывании в металлической ступке, примесей, содержащихся в воде для промывки смачивания эмалевого порошка и др.);
- величина эмалевых зерен, образующаяся при размалывании стекломатериалов;
- степень очистки эмалевого порошка от пылевидных фракций (этот фактор наиболее важен для прозрачных эмалей);
- при повторном обжиге после сошлифовывания верхнего слоя эмали при выравнивании поверхности покрытия - степень шероховатости поверхности перед повторным обжигом и степень очистки ее от частиц абразива, используемого для шлифовки.

В пятой главе «Примеры реализации результатов исследований» приводятся примеры практической реализации результатов исследования.

Изделия в технике перегордчатой эмали, выполненные с применением силикатных экспериментальных эмалей, представлены на рисунках 3-5.



Рисунок 3 - Кулон «Цветок лотоса»



Рисунок 4 - Кулон «Солнце»

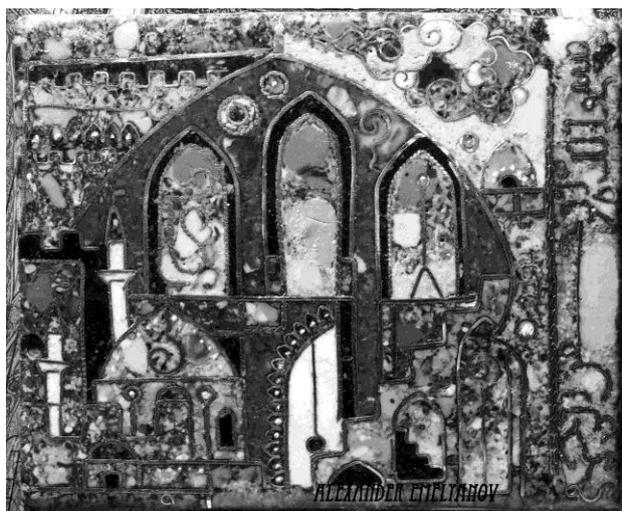


Рисунок 5 - Панно «Город Востока», размер 130 / 150 мм

### Основные выводы

1. Разработаны новые составы художественных эмалей, способные улучшить дизайн эмалированных изделий и не уступающие по совокупности своих свойств мировым аналогам.

2. Выявлены достоинства силикатных экспериментальных эмалей. Установлено, что по сравнению с выпускаемыми промышленностью художественными эмалями, силикатные экспериментальные эмали обладают следующими преимуществами:

– не содержат вредных и опасных для здоровья примесей и являются более экологичными;

– более высокой химической стойкостью, что существенно упрощает технологический процесс изготовления перегородчатых эмалей, в частности, позволяет производить очистку непокрытых эмалью медных поверхностей в растворах органических кислот;

– большей плотностью, что способствует повышению прочности эмалевого покрытия и упрощает механическую обработку эмалированных изделий;

– являются более доступными по сравнению с ювелирными эмалями импортного производства; их применение является экономически целесообразным.

3. Декоративные свойства экспериментальных силикатных эмалей способны существенно расширить возможности художественного эмалирования при создании художественных изделий в технике перегородчатой эмали.

4. Технологические свойства предлагаемых экспериментальных эмалей для использования их в технике перегородчатой эмали по меди не уступают свойствам горячих художественных эмалей, выпускаемых промышленностью.

5. Разработана технология применения силикатных экспериментальных эмалей для создания художественных произведений высокого качества в технике перегородчатой эмали.

6. Предложен перечень рекомендаций по разработке и внедрению разработанной технологии в процесс производства художественных изделий. Апробация результатов работы подтвердила эффективность практического применения силикатных композиций экспериментальных эмалей.

### Основное содержание диссертации опубликовано в работах

#### **Статьи в журналах, входящих в «перечень...» ВАК Минобрнауки РФ.**

1. Емельянов, А. Ю. Легкоплавкие цветные художественные эмали / А. Ю. Емельянов, С. Г. Петрова // Дизайн. Материалы. Технология. – 2007. – № 1 (2). – С. 46–48.

2. Емельянов, А. Ю. Применение эмалевых покрытий на основе художественного стекла и цветных смальт в ювелирных изделиях / А. Ю. Емельянов, Е. В. Емельянова // Дизайн. Материалы. Технология. 2007. – № 2 (3). – С. 113–115.

3. Емельянов, А. Ю. Дизайн изделий декоративно-прикладного искусства малых форм с применением техники перегородчатой эмали / А. Ю. Емельянов, С. Г. Петрова, Ю. М. Лиленков // Дизайн. Материалы. Технология. – 2007. – № 2(5). – С. 40–42.

4. Емельянов, А. Ю. Дизайн изделий декоративно-прикладного искусства малых форм с применением техники перегородчатой эмали / Т. Н. Федяева, А. Ю. Емельянов, С. Г. Петрова // Дизайн. Материалы. Технология. – 2011. – № 2 (17). – С. 95–97.

5. Емельянов, А. Ю. Традиции горячего эмалирования в ювелирном искусстве Востока: от Магриба до Ирана / А. Ю. Емельянов, С. Г. Петрова // Дизайн. Материалы. Технология. – 2013. – № 1(26). – С. 51–53.

Статьи, опубликованные в сборниках научных трудов:

6. Емельянов, А. Ю. Применение эмалевых покрытий на основе тугоплавких художественных стекол в ювелирной технике перегородчатой эмали / А. Ю. Емельянов, С. Г. Петрова Т. Н. Федяева // Научный вестник МГГУ. – 2010. – № 8. – С. 25–29.

7. Емельянов, А. Ю. Дизайн изделий декоративно-прикладного искусства малых форм с применением техники перегородчатой эмали / А. Ю. Емельянов, С. Г. Петрова // Сб. науч. тр. XIУ Междунар. научн.-практ. конф. «СТС». Томск: – НИТПУ, 2011, – С. 267–268.

Подписано в печать 06. 02. 2013. Формат 80x64 1/16

Печать трафаретная. Усл. Печ. л. 1,0.

Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии СПГУТД  
191028, Санкт-Петербург, ул. Моховая, д.26