

На правах рукописи

Игнатова Анна Михайловна

**ДИЗАЙН ХУДОЖЕСТВЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ
НА ОСНОВЕ КАМЕННОГО ЛИТЬЯ – СИМИНАЛОВ**

Специальность 17.00.06 «Техническая эстетика и дизайн»

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Санкт-Петербург 2011

Работа выполнена на кафедре «Технология промышленной и художественной обработки материалов» в ГОУ ВПО «Ижевский государственный технический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Черных Михаил Михайлович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Жукова Любовь Тимофеевна
кандидат технических наук, доцент
Барсуков Валерий Николаевич

Ведущая организация: Естественнонаучный институт Пермского
государственного научно-исследовательского
университета

Защита состоится «21» декабря 2011 года в 11.00 на заседании диссертационного совета Д 212.236.04 при ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна» по адресу: 191186, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 18, инновационный центр.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Текст автореферата размещён на сайте: www.sutd.ru

Автореферат разослан «21» ноября 2011 года

Ученый секретарь диссертационного совета

Ванькович С.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Натуральный поделочный и строительный камень (гранит, мрамор и др.) благодаря богатству цветовой гаммы, текстуры и фактуры широко используется для оформления предметно-пространственной среды бытовых, общественных и промышленных объектов. Уникальный и неповторимый цвет и узор природного камня позволяют дизайнерам, архитекторам и мастерам гармонизировать любой ландшафт, интерьер или экстерьер. Спрос на натуральный камень остается высоким и стабильным. Однако, применение природного камня в дизайне художественных и архитектурно-строительных изделий связано с определенными проблемами, а именно, недостаточностью разведанных и освоенных месторождений, высокой стоимостью и дефицитностью природного камня, значительной стоимостью оборудования для его обработки, большим количеством образующихся отходов и высокой трудоемкостью, особенно при изготовлении изделий сложной формы.

Существующие материалы-заменители природного камня (керамогранит, агломерат, бетонный камень и др.) менее дефицитны, обладают более низкой стоимостью, легче поддаются формообразованию и легко тиражируются. Однако, эстетические и функциональные свойства материалов-заменителей уступают аналогичным характеристикам природного камня. Материалы-заменители менее долговечны и могут быть экологически небезопасны.

Материалом наиболее близким по эстетическим и функциональным свойствам к натуральному камню является каменное литье, поэтому его целесообразно рассматривать в качестве альтернативы натурального природного камня. Каменное литье относится к группе синтетических минеральных сплавов (симиалов), представляет собой оксидный неметаллический материал, образующийся плавлением горных пород или техногенных образований основного и ультраосновного характера.

Симиалы обладают высокой абразивной и коррозионной стойкостью. Изделия из симиалов получают литьем с последующей кристаллизационно-отжигательной обработкой. Традиционно изделия из симиалов применяют в машиностроении, металлургии и других отраслях промышленности. Эстетические свойства симиалов и возможности их использования в качестве альтернативы натуральному камню для оформления предметно-пространственной среды не изучены.

Представляют научный интерес пути управления эстетическими свойствами симиалов – цветом, текстурой и фактурой, установление взаимосвязей между эстетическими свойствами симиалов и разновидностями компонентов и их соотношений в шихте. Возможность использования техногенных отходов в качестве компонентов шихты для синтеза симиалов позволяет организовать их производство на предприятиях, образующих данные отходы, что в свою очередь способствует решению проблемы утилизации, а также улучшению экологической обстановки и появлению дополнительных рабочих мест в производственном секторе экономики.

В связи с изложенным, разработка научных и технологических основ получения каменного литья – симиалов с улучшенными эстетическими свойствами, а также получения художественных изделий из них является актуальной задачей.

Актуальность работы подтверждается грантовой поддержкой Фонда содействия малым предприятиям по программе «У.М.Н.И.К», гранта конкурса «Ползуновские гранты», соглашением о сотрудничестве с агентством «Росмолодежь».

Цель диссертационной работы: разработать научные и технологические основы использования каменного литья – симиалов в дизайне художественных изделий.

Для реализации данной цели поставлены и решены следующие задачи:

- проведен анализ опыта применения каменного литья в дизайне художественных изделий, выявлены перспективы в этом направлении;

- обоснован выбор материалов, методов и средств исследований петрургического сырья, каменного литья – симиналов и камнелитых изделий;
- проведена оценка пригодности и доступности сырьевого потенциала Пермского края для получения каменного литья – симиналов;
- проанализированы химический и структурный составы симиналов и определено влияние этих показателей на комплекс органолептических, технологических и функциональных свойств каменного литья - симиналов.

Научная новизна:

- 1) Предложена классификация симиналов и художественно-промышленных изделий из них.
- 2) Разработана классификация признаков фактуры камнелитых изделий.
- 3) Установлено, что воспроизводимость элементов рельефа камнелитых изделий зависит не только от литейных свойств расплава, но и от материалов литейных форм; минимальный размер воспроизводимого рельефа при литье в песчано-глинистые формы составляет 3 мм, в керамические – 2 мм, в металлические – 1,5 мм.
- 4) Установлено влияние химического состава компонентов шихты на цветность каменного литья. Показано, что коричневый, бежевый, серо-зеленый, голубой, темно-синий и черносиний цвета и оттенки симиналов достигаются при содержании в петрургическом сырье оксидов железа не более 3%, оксидов хромофоров (титана, цинка, марганца, никеля) не более 6%, фторидов щелочно-земельных металлов (кальция, натрия, калия) от 10 до 50% массы шихты.
- 5) Сформулированы принципы получения каменного литья – симиналов с контрастной прожилковой текстурой; установлено, что условиями ее достижения являются: температура расплава свыше 1500 °С и концентрации соединений железа, кальция и магния в диапазоне от 10 до 40%.
- 6) Установлено, что структура и свойства камнелитых изделий соответствуют аналогичным показателям изделий из природного камня, что доказывает целесообразность их использования в качестве альтернативы природного камня.

Практическая полезность:

- 1) Разработанные технологические рекомендации позволяют управлять эстетическими свойствами (цветом, фактурой, текстурой) камнелитых изделий из симиналов.
- 2) Разработан типовой проект участка и технологические процессы изготовления малотоннажных партий художественно-промышленных изделий из симиналов литьем в песчано-глинистые формы.
- 3) На основе анализа пригодности и доступности минеральных ресурсов и техногенных образований предложен проект инновационной программы развития камнелитейного производства Пермского края.

Достоверность и обоснованность результатов. Достоверность результатов исследования подтверждается использованием современных экспериментальных методик, приборов и технических средств (рентгеноспектральный микронзондовый анализ, силикатный анализ, термический анализ, петрографическая микроскопия, физико-механические испытания, измерение нанотвердости и снятие профилограмм), и статистической обработкой экспериментальных данных. Полученные результаты согласуются с предыдущим исследованиям в области теории и практики производства изделий из каменного литья.

Апробация. Основные положения диссертационной работы докладывались, обсуждались и получили одобрение на международных, всероссийских, региональных, межотраслевых и областных научно-технических конференциях, форумах, семинарах и конвентах: Пермь (2006-2009 г.); Иркутск (2008 г.); Омск (2008 - 2010 г.); Томск (2008 -2009 г.); Новосибирск (2009 г.); Ижевск (2009-2011 г.); Ульяновск (2009 г.); Миасс (2009 г.); Ростов-на-

Дону (2009 г.); Барнаул (2009 г.); Тула (2009 г.); Селигер (2009-2010 г.); Владимир, 2009; Москва (2009-2010 г.); Санкт-Петербург (2009 г.); Архангельск (2011).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 20 печатных работ, в том числе 10 в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, основных выводов, библиографического списка из 153 наименований и приложения на 2 страницах, изложена на 159 страницах машинописного текста, содержит 70 рисунков, 33 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведены доводы, обосновывающие актуальность диссертационной работы, определены цели и задачи, представлены научная новизна и практическая полезность, апробация, количество и виды публикаций, структура и объем работы.

В первой главе **«Перспективы применения и основные направления исследования симиналов в дизайне художественных изделий»** рассмотрены разновидности натурального камня и его заменителей, востребованных для оформления предметно-пространственной среды, приведены характеристики дизайна этих материалов, рассмотрена номенклатура художественных изделий из них, проанализированы достоинства и недостатки натуральных и искусственных материалов. Представлен обзор существующего опыта применения каменного литья в промышленности. По материалам Вагина В.В., Липовского И.Е., Дорофеева В.А., Хана Б.Х., Чечулина В.А., Ковалева Ю.Г. и др. проанализированы сырье, основные способы изготовления технических абразиво- и коррозионностойких камнелитых изделий и их свойства. Установлено, что уровень потребительских свойств (долговечность, твердость, стойкость к агрессивному воздействию) каменного литья – симиналов соответствует аналогичным характеристикам натурального камня и превосходит показатели материалов-заменителей. Определено, что сдерживающим фактором развития использования каменного литья – симиналов в качестве альтернативы натурального камня является отсутствие научных и технологических основ по достижению у них определенных эстетических составляющих (фактуры, цвета, текстуры). Кроме того, не способствует популяризации каменного литья и отсутствием рекомендаций по использованию региональных природных и техногенных разновидностей сырья. Отсутствие вышеобозначенных научных и технологических основ позволило определить пути для дальнейшей исследовательской деятельности в области разработки технологии изготовления художественных камнелитых изделий, а так же сформировать классификацию художественно-промышленных изделий из симиналов (рисунок 1).

В заключении главы определены цель и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе **«Материалы, методы и средства исследований петруггического сырья, симиналов и камнелитых изделий»** представлены сведения о сырье для получения камнелитых изделий (горнблендит, базальт, хромитовая руда, доменный шлак, шликерные отходы, фторсодержащий шлам); методах и оборудовании для синтеза расплавов (опытная, лабораторная и опытно-промышленная плавильные печи, нагревательные печи камерного и туннельного типа для термической обработки); методах оценки эстетических свойств изделий из симиналов: фактуры поверхности, воспроизводимости рельефа, декоративности и способности к полированию; методах оценки функциональных свойств (долговечности); методах оценки физических (плотности и пористости), технологических (жидкотекучести) и эксплуатационных свойств (водопоглощения, механических свойств, температуропроводности); методах и оборудовании для изучения состава (силикатный анализ), структуры и строения симиналов (петрографический анализ с использованием микроскопа Nikon Eclipse E 600 POL, сканирующая растровая электронная микроскопия с использованием микроскопа JSM-6390, рентгеноструктурный анализа с использованием установки ДРОН-6, ИК-

спектроскопии с использованием спектрометра AA-6300, термического анализа с использованием прибора NETZSCH STA 409 PC/PG Luxx, идентификация с помощью изучения нанотвердости с использованием прибора Nanotest600).



Рисунок 1. Классификация художественно-промышленных изделий из симиналов

В третьей главе «**Оценка пригодности и доступности сырьевого потенциала Пермского края для получения синтетических минеральных сплавов**» представлены результаты обобщенного обзора нерудных минеральных ресурсов РФ, доказывающие, что наиболее перспективными для получения каменного литья являются габброидные и базальтоидные породы Карелии, Крайнего севера, Красноярского, Алтайского и Пермского краёв. Особенность месторождений габброидных и базальтоидных пород, расположенных на территории Пермского края, заключается в высокой однородности состава пород и удобной форме залегания (их можно разрабатывать открытым способом, который является наиболее экономичным).

Выполнены исследования минерального сырья габброидной и базальтоидной групп (Щегровитская свита, Дворецкий комплекс, Сарановский комплекс, Журавликский комплекс, Усьвинский комплекс, Ломовское месторождение) и техногенного сырья (Кизеловские угольные отвалы пустой породы, зольные отходы Широковской и Добрянской ГРЭС, Чусовской доменный шлак, Лысьвенские шликерные отходы) Пермского края.

Определена дислокация основных источников сырья для производства симиналов. Большинство рассматриваемых объектов находится в непосредственной близости от населенных пунктов, железнодорожных станций и объектов инфраструктуры (Березниковская, Кизеловская, Закамская, Пермская, Широковская ГРЭС и ТЭЦ), что является дополнительным положительным отличием Пермской сырьевой базы для организации каменного литья.

Из отечественной и мировой практики получения каменного литья известно, что высокое качество изделий обеспечивается при использовании сырья, обладающего следующими характеристиками: величина коэффициента кислотности в пределах 1,6-1,9, величина пироксенового модуля в пределах 3,0 - 3,2, температура плавления не выше 1300°C, величина вязкости не выше 300 Па·с, величина усадки не выше 14%, отсутствие структурных превращений в период охлаждения, наличие тугоплавких модификаторов в составе. Для установления уровня этих характеристик, предшественниками разработаны методики, которые хорошо зарекомендовали себя на практике.

Для установления характеристик пермского сырья, а соответственно и его пригодности к использованию в изготовление каменного литья – симиналов, использовались методики Хана А.Б. (пироксеновый модуль), Ниггли Г. И Чернова В.П. Дополнительно были применены силикатный, рентгеноструктурный и термический анализ.

В результате проведенных исследований, установлено, что минеральное и техногенное сырье Пермского края из определенных ранее месторождений имеет ультраосновной характер (SiO_2 – 42-49, Al_2O_3 -13-25, MgO - 8-12, Fe_2O_3 – 8-16,%), отличаются низким содержанием S – 0,01- 0,12,% и P – 0,01-0,09, средний показатель коэффициента кислотности составляет 1,68, величина пироксенового модуля - в пределах от 2,4 до 3,2, суммарная усадка - 12 % (усадка в жидком состоянии + усадка при затвердевании + усадка в твердом состоянии), вязкостью в пределах от 200 до 220 Па·с. В минеральных разновидностях сырья обнаружены частицы тугоплавкого модификатора Cr_2O_3 , а в техногенном - TiO_2 . Термический анализ образцов сырья, проведен в температурном диапазоне испытаний 20 - 1300°C при нагреве и 1300 - 600°C при охлаждении (скоростью нагрева и охлаждения - 20°C/мин), позволил установить, что его температура плавления находится в пределах 1180-1260°C. Реакции, происходящие в большинстве образцов сырья при охлаждении, в интервале 1300 -780°C (то есть до затвердевания) не сопровождаются фазовыми изменениями, приводящими к разрушению. На рисунке 2 представлен вид типовой диаграммы термических испытаний характерной для пермского сырья.

Результаты исследований пермского сырья доказывают их пригодность, доступность и целесообразность использования для производства камнелитых художественных изделий.

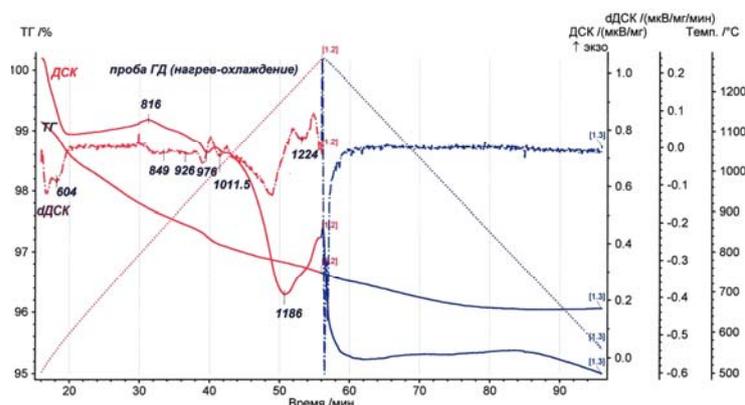


Рисунок 2. Результаты термического анализа габброидных пород Пермского края (общая диаграмма нагрева и охлаждения)

В четвертой главе «Дизайн поверхности и цвета камнелитых изделий» выполнены исследования в области дизайна поверхности и цветности камнелитых изделий.

Представлена классификация видов поверхности камнелитых изделий и отдельная классификация способов достижения различного состояния фактуры.

Камнелитые изделия простой формы изготавливали преимущественно методом заливки расплава в открытые формы без литниковой системы. При таком методе на «открытой» поверхности отливки, затвердевающей на воздухе, фактура формируется ступенчато расположенными неровностями - «террасами» и имеет волнообразный характер. Установлено, что чем больше высота большинства неровностей относительно поверхности отливки, тем выразительнее волнистый характер фактуры (рисунок 3).

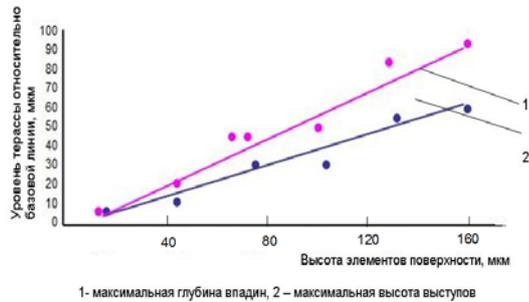


Рисунок 3. Зависимость размеров волнообразных неровностей на поверхности отливок в зависимости от средней высоты неровностей

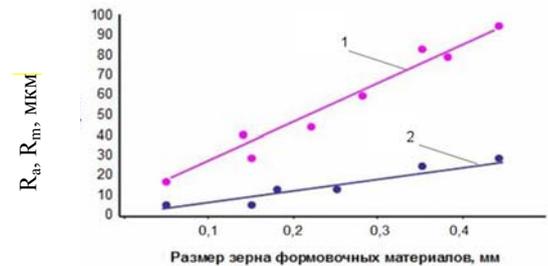


Рисунок 4. Зависимость параметров шероховатости R_m (1) и R_a (2) от дисперсности формовочных материалов

Изделия более сложной конфигурации изготавливали в закрытые формы, имеющие одну и более плоскостей разъема, многократного или однократного использования.

Наиболее распространены формы из песчано-глинистой смеси однократного использования. Формирование фактуры поверхности при контакте с такой формой в наибольшей степени зависит от фракционного состава формовочных материалов, использованных для изготовления формы (рисунок 4). В таблице 1 представлены параметры шероховатости поверхности камнелитых отливок, полученных в формы, изготовленные из формовочных смесей, содержащих компоненты различной дисперсности.

Минимальные значения параметров степени шероховатости поверхности камнелитых отливок, получаемых методом литья в песчано-глинистые формы, составляют: $R_a=2,5$ мкм, $R_m= 17,2$ мкм (при использовании формовочных материалов дисперсностью 0,14-0,18мм), а максимальные параметры составляют: $R_a=20,8$ мкм, $R_m= 94,2$ мкм (при использовании формовочных материалов дисперсностью 0,28-0,4 мм). Полученные образцы поверхностей с различной шероховатостью приняты за эталонные, их изображения использованы в атласе эталонных поверхностей (как рекомендации для скульпторов, проектировщиков и технологов).

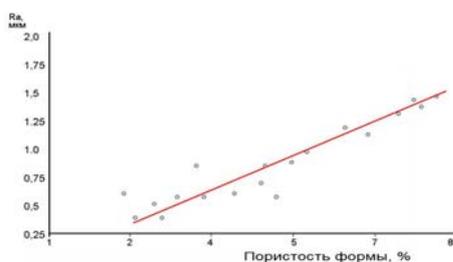
Таблица 1. Шероховатость поверхности камнелитых отливок при литье в песчано-глинистые формы

№ образца смеси	Зерновой диапазон песка, мм (марка песка)	Вид используемой глины	Параметры шероховатости R_a и R_m , мкм
1	до 0,14 (1K01A)	коллоидная	2,92 ; 17,2
2	0,14-0,18 (1K016A)	мелкодисперсная	2,5; 21,5
3	0,19-0,23 (1K02A)	мелкодисперсная	12,9; 40,1
4	0,24-0,28 (1K025A)	мелкодисперсная	23,2; 85
5	св. 0,28 (1K03A)	грубодисперсная	20,8; 94,2

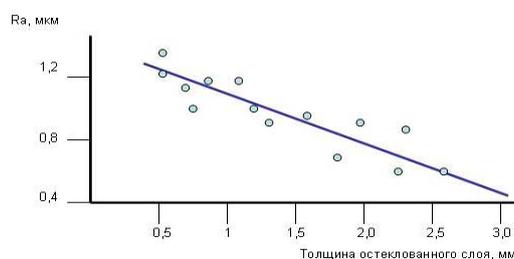
Для получения отливок из симиналов со сложной конфигурацией использовали керамические и металлические формы.

Фактура поверхности камнелитых отливок, полученных в керамических формах, зависит от пористости поверхностного слоя формы (рисунок 5, а), значения параметров шероховатости полученных образцов находятся в диапазоне от $R_a=0,25$ мкм, $R_m=1,8$ мкм до $R_a=2,0$ мкм, $R_m=9,5$ мкм.

Установлено, что при литье симиналов в металлические формы (кокиля) достигается наиболее высокое качество поверхности. При заливке расплава симиналов в металлические формы поверхностный слой отливок склонен к быстрому затвердеванию, что приводит к образованию в этом слое мелкокристаллической стекловатой структуры. Выявлена зависимость между толщиной остеклованного слоя и шероховатостью (рисунок 5, б). При толщине остеклованного слоя 0,5 мм формируется наиболее шероховатая фактура ($R_a=1,2$ мкм). С увеличением толщины остеклованного слоя шероховатость снижается, однако, если толщина слоя превышает 1,5 мм велика вероятность образования поверхностных трещин. Установлено, что управлять толщиной остеклованного слоя можно, изменяя температуру нагрева стенок формы перед заливкой (рисунок 6).



а)



б)

Рисунок 5. Зависимость параметра шероховатости R_a от пористости керамической формы (а) и толщины остеклованного слоя (б)

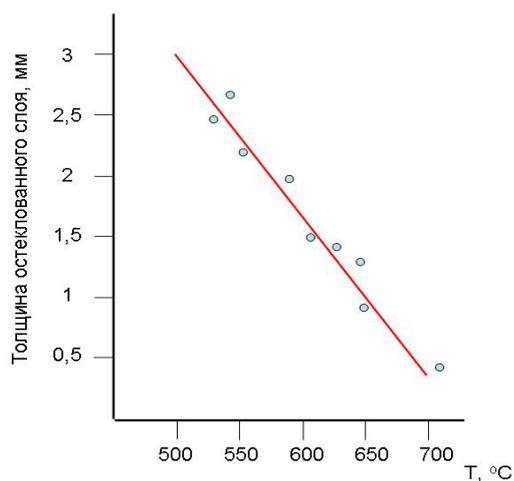


Рисунок 6. Зависимость толщины остеклованного слоя от температуры кокиля

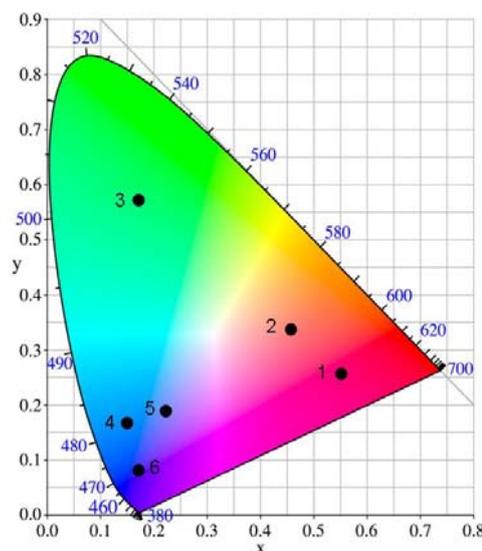


Рисунок 7. Положение координат оттенков полученных образцов на диаграмме RGB

Для симиналов на основе базальтоидных и габброидных пород характерным цветом является черный и темно-зеленый. В рамках исследования изменение цветности камнелитых изделий достигается не за счет пигментарного окрашивания, а за счет введения в шихту со-

единений, влияющих на процесс структурообразования. В результате образовывались минеральные фазы кристаллы которых, обладали отличительными характеристиками оптического преломления. Их образование возможно при концентрации в шихте соединений железа в пределах 2-3% и присутствие оксидов-хромофоров в диапазоне 5-6%. Благодаря данному подходу в манипулировании цветом симиналов получали оттенки синего, коричневого и болотного цветов. В качестве окрашивающих компонентов использовали отходы эмалевого производства. В таблице 2 представлены рекомендованные шихтовые композиции для достижения различных цветов у симиналов. Достигнутые цвета симиналов отмечены на диаграмме RGB (рисунок 7).

Таблица 2. Шихтовые композиции и цвет материала, получаемого на их основе

№ Шихтовой композиции	Соотношение компонентов шихты, мас. %			Цвет
	Доменный шлак	Отходы шликера	Фторсодержащий шлам	
1	60	40	-	Коричневый
2	30	70	-	Бежевый
3	70	-	30	Серо-зеленый
4	50	-	50	Голубой
5	30	-	70	Темно-синий
6	10	-	90	Черно-синий

Дополнительно проведены исследования по оценке воспроизводимости рельефа при литье симиналов в песчано-глинистые формы. Величина размеров элементов рельефа гарантированно воспроизводимых отливками симиналов по моделям, установлены на образцах с канавками и выпуклостями различного размера и проверены на практике при изготовлении портретных барельефов (рисунок 8). Оценка воспроизводимости рельефа отливок относительно моделей проведена цифровым методом, подразумевающим сравнение изображений модели и отливки (рисунки 9 и 10). Установлено, что при литье в песчано-глинистые формы минимальный воспроизводимый линейный размер элементов модели составляет 3 мм, при литье в керамические формы – 2 мм, а в металлические – 1,5 мм.



а



б

Рисунок 8. Камнелитые портретные барельефы « А.С. Пушкин» (а) и «Н.Г. Славянов» (б)



Рисунок 9. Результаты оценки воспроизводимости рельефов: а - модель ; б – отливка

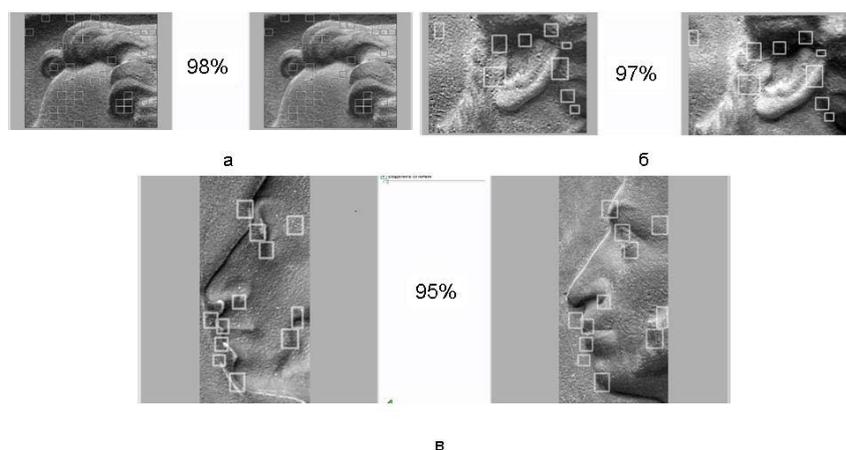


Рисунок 10. Оценка воспроизводимости элементов рельефа, имеющих различные размеры: а – 7 мм; б – 5-7 мм; в – 3-5 мм

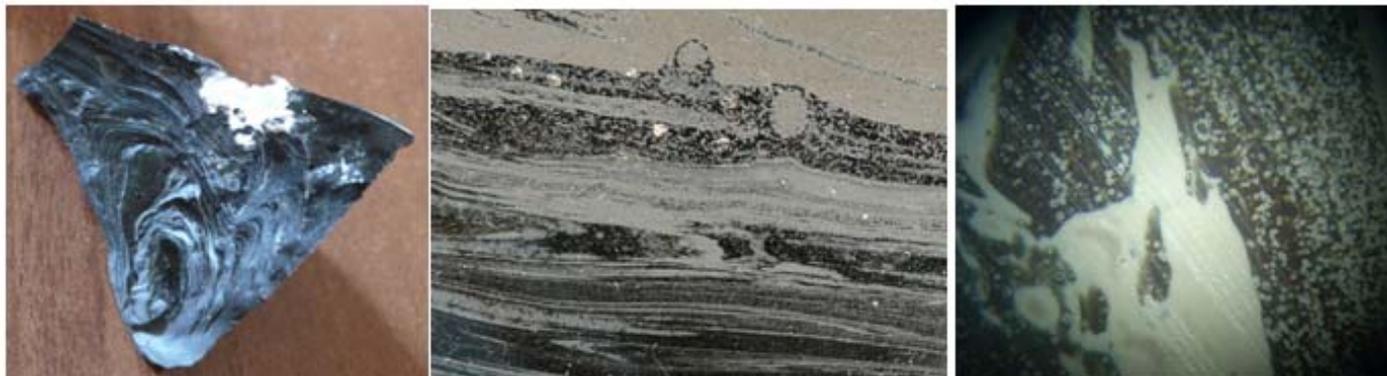
В пятой главе «**Эстетические и функциональные свойства симиналов**» представлены результаты исследований потребительских (эстетических и функциональных) свойств симиналов, полученных в рамках настоящей работы.

Характеристика декоративности симиналов по стандартной методике, предусмотренной ГОСТ 30629-99 представлены в таблице 3.

Таблица 3. Декоративность каменного литья (симиналов)

Основной показатель декоративности	Положительный признак декоративности	Категория признака	Характеристика признака	Оценка, балл
Цвет	Цветность	I	Ахроматический и хроматический	2
	Насыщенность	-	Средненасыщенные	2
	Светлота	I, II, III	Черный и оттенки серого	2
	Цветовое предпочтение	III	Рядовой	2
	Однородность	I	Однородный тон	4
	Сочетание цветов	I, II	Полихромные и монохромные	4
Текстура	Рисунок	I, II	Слоистый и без рисунка	4,5
	Структура	II	Среднезернистая, стекловатая	2
	Просвечиваемость	III	Не просвечивается	1
Фактура	Полируемость	I	Св. 160 ед.	5

Благодаря тому, что расплавы симиналов склонны к разделению на две несмешивающиеся жидкости при определенных температурах, существует возможность достижения прожилковой текстуры этих материалов, которая напоминает текстуру мрамора и гранита. Контрастную текстуру (рисунок 11) достигали фиксированием расслоения расплава (дифференциации) при температуре расплава 1500°C и его последующей заливкой в форму без предварительного выстаивания расплава.



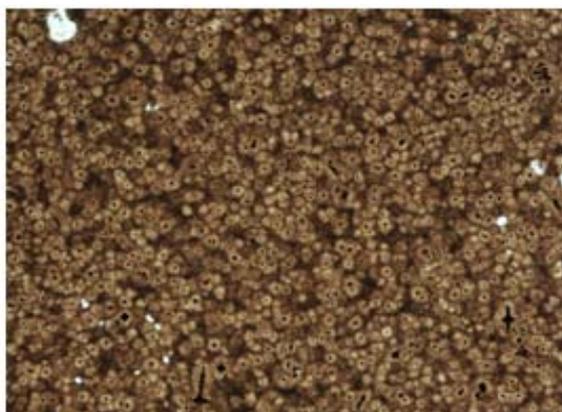
а

б

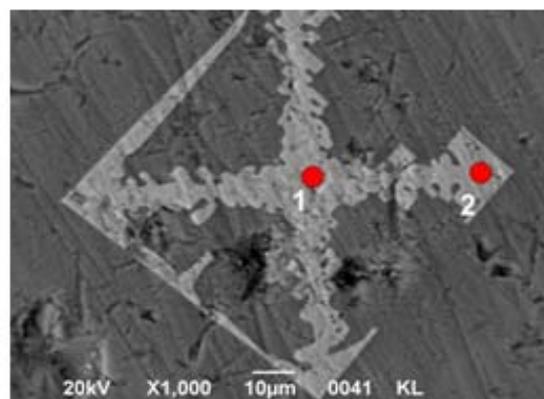
в

Рисунок 11. Образцы симиналов, обладающих контрастной текстурой:
а – натуральный размер, б – ув. x15, в – ув. x 20

Оптической микроскопией установлено, что каменное литье на основе Пермского габбро-диабазы состоит из стекловато-аморфной, пироксеновой (20-90 мкм) и шпинелеобразной (10-50 мкм) структурных составляющих (рисунок 12, а). Сканирующей растровой электронной микроскопией (рисунок 12, б) показано, что структурные составляющие не соответствуют природным минералам в полной мере, а соответствуют им лишь частично, что позволяет, обоснованно считать каменное литье синтетическим материалом. ИК-спектроскопией установлено, что рациональное процентное содержание кристаллических структурных составляющих в симиналах составляет 75-78%, а аморфной не больше 20 %.



а



б

Рисунок 12. Структура симинала, полученного на основе Пермского габбро-диабазы:
а – оптическая микроскопия (X 50, николи скрещены) ; б - электронная сканирующая микроскопия (X 1000)

Структурные составляющие симиналов исследованы методом наноиндентирования, который позволяет определить их принадлежность к той или иной группе минералов и оценить механические свойства. Результаты представлены на рисунке 13.

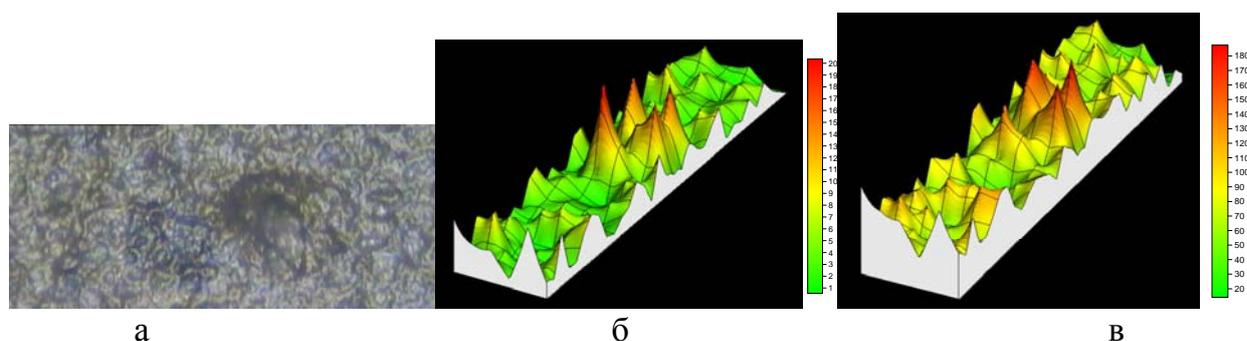


Рисунок 13. Результаты измерения нанотвердости:

а - участок для проведения замеров (X1000);

б – распределение значений твердости (Н, ГПа); в – распределение модуля Юнга (Е, ГПа)

Для определения характера абразивного износа проведены динамические измерения твердости (склерометрические испытания). Установлены значения твердости и модуля Юнга отдельных структурных составляющих симинала: хромшпинелид – 10 ГПа, 100 ГПа; пироксен – 3 ГПа, 90 ГПа; аморфная матрица – 1-2 ГПа, 70 ГПа. При изнашивании, отдельные структурные составляющие исполняют различные функции – твердые сопротивляются абразивному воздействию, более мягкие амортизируют удары и препятствуют развитию трещин.

Квалиметрическим методами установлено, что срок долговечности изделий из каменного литья составляет 150-200 лет, что позволяет классифицировать их как долговечные и относительно долговечные.

Проведенный комплекс исследований симиналов и камнелитых изделий показал целесообразность использования каменного литья в качестве заменителя не только природного камня, но и ряда других материалов (таблица 4).

Таблица 4. Сравнительные физико-механические характеристики каменного литья - симиналов и распространенных конструкционных материалов

Характеристика	Каменное литье	Стекло	Чугун	Сталь	Алюминий	Дерево	Бетон	Природный камень
Плотность (г/см ³)	2,3-3,0	2,2-2,6	7,0-8,0	7,7-7,9	2,7-2,9	0,3-1,4	0,5-2,5	2,3-2,8
Истираемость, г/см ²	0,03-0,2	0,07-0,5	0,5-2,5	0,8-3,0	0,4-0,6	0,5-3	0,7-1,1	0,5-2
Коэффициент термического расширения, град ⁻¹	(5 – 10) · 10 ⁻⁶	0,4 · 10 ⁻⁶	9,5 · 10 ⁻⁶	(10 – 13) · 10 ⁻⁶	(8 – 14) · 10 ⁻⁶	(10 – 15) · 10 ⁻⁶	(6-8) · 10 ⁻⁶	(6-11) · 10 ⁻⁶
Коэффициент теплопроводности, Вт/м·К	1,5-2	1-1,15	62,8	45,4	202—236	0,15	0,2-0,4	2-8
Предел прочности при сжатии, МПа	200-250	500-800	600-700	380	400-420	50-70	180-220	100-250
Ударная вязкость, кН/м ²	1,5-3	1-1,5	20-30	50-120	100-140	30-50	2-4	2-7

Проведены исследования основных физических, механических и эксплуатационных свойств цветных симиналов: плотность - 2,7 г/см³, пористость - 5%, водонасыщение - 0,2 %, температурный коэффициент линейного расширения - 5 · 10⁻⁶ град⁻¹, коэффициент температуропроводности - 1,2 · 10⁻³ м³/ч, предел прочности на сжатие 180-220 МПа; морозостойкость 200 циклов и кислотостойкость в диапазоне 80-98%. Полученные данные доказывают, что цветные симиналы могут использоваться для изготовления художественных изделий наравне с неокрашенными.

В конце главы представлены примеры художественных изделий из симиналов (изделия из каменного литья - симиналов комбинированные с натуральным камнем; плиты; объекты до-

рожного, архитектурного и интерьерного дизайна из симиналов; составные композиции для каминной группы; примеры использования камнелитых изделий в дизайне интерьеров и архитектуре; малая пластика; украшения и паянные элементы составных композиций). Некоторые из готовых изделий полученных в рамках работы представлены на рисунке 14.



Рисунок 14. Художественные камнелитые изделия из симиналов

В приложении «Технологические способы, средства и приемы воплощения результатов исследований дизайна художественных и технических камнелитых изделий из симиналов» представлены схемы оборудования для получения расплавов симиналов, сконструированного автором и типовая проект участка для изготовления малотоннажных партий художественно-промышленных изделий из симиналов литьем в песчано-глинистые формы.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработанные классификация художественно-промышленных изделий из симиналов и классификация фактуры позволяют систематизировать проектирование изделий и технологических процессов их изготовления.
2. Доказана возможность и установлены пути управления эстетическими, функциональными и технологическими свойствами симиналов и изделий из них:

– цветность симиналов определяется содержанием в петругическом сырье оксидов железа и хромофоров, фторидов щелочно-земельных металлов. Коричневый, бежевый, серо-зеленый, голубой, темно-синий и черно-синий цвета и оттенки достигаются при содержании оксидов железа не более 3%, оксидов хромофоров не более 6% и фторидов щелочно-земельных металлов от 10 до 50%;

– воспроизводимость элементов рельефа и шероховатость фактуры зависит от материала литейных форм; минимальный воспроизводимый размер L при литье в песчано-глинистые формы составляет 3 мм, а параметр R_a изменяется от 2,5 до 21 мкм, при литье в керамические формы $L=2$ мм, R_a – от 0,25 до 2,0 мкм, при литье в кокиль $L=1,5$ мкм, R_a – от 0,4 до 1,2 мкм;

– текстура расслоения, близкая к текстуре натурального прожилкового камня, образуется при температуре расплава свыше 1500 °С и концентрации ионов железа, кальция и магния от 10 до 40%.

3. Проведенный комплекс исследований петруггического сырья, симиналов и изделий показал соответствие потребительских свойств камнелитых изделий из симиналов аналогичным характеристикам изделий из природного камня и целесообразность использования каменного литья-симиналов в качестве заменителя природного камня.
4. Результаты выполненных исследований, спроектированные технологические процессы и типовой участок для производства малотоннажных партий художественно-промышленных изделий в совокупности с оценкой сырьевого потенциала Пермского края послужили основой для разработки инновационной программы развития камнелитейного производства Пермского края.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В РАБОТАХ:

Статьи в журналах, рекомендованных ВАК РФ

1. Игнатова А.М., Черных М.М., Кутергин А.А., Каминский М.М. Использование каменного литья для изготовления портретных барельефов и горельефов// Дизайн. Материалы. Технологии. – 2010. - №1. – С. 69-76.
2. Игнатова А.М., Черных М.М., Попов В.Л., Каминский М.М. Эстетика и технология изготовления камнелитых плит// Дизайн. Материалы. Технологии. – 2010. - №2. – С. 37-44.
3. Игнатова А.М., Черных М.М., Игнатов М.Н. Дизайн сувенирных изделий из каменного литья и природных материалов// Дизайн. Материалы. Технологии. – 2011. - №2. – С. 40-44.
4. Игнатова А. М., Игнатов М. Н., Черных М. М. Принципы выбора фактуры камнелитых изделий в зависимости от их функционального назначения и способы ее достижения// Дизайн. Материалы. Технологии. – 2011. - №3. – С. 34-40.
5. Игнатова А.М. Воспроизводимость элементов рельефа модели в дизайне камнелитых изделий// Дизайн. Теория и практика. – 2011. – №7. - С. 73-82.
6. Игнатова А.М. «Этнический ампи́р» – новый этап эволюции стиля, архитектуры, материалов и технологии [Электронный ресурс]/ А.М. Игнатова// Архитектон: известия вузов. – Екатеринбург, 2011. – №2(34). – Режим доступа: http://archvuz.ru/numbers/2011_2/019.
7. Игнатова А.М. Перспективы использования синтетических минеральных сплавов в современной архитектуре, ландшафтном дизайне и благоустройстве [Электронный ресурс]/ А.М. Игнатова// Архитектон: известия вузов. – Екатеринбург, 2011. – №3 (35). – Режим доступа: http://archvuz.ru/numbers/2011_3/04.
8. Игнатова А.М., Черных М.М., Игнатов М.Н. Каменное литье как заменитель природных материалов художественных и архитектурно-декоративных изделий// Стекло и керамика. – 2011. – №6. – С. 31-36.
9. Ignatova A. M., Chernykh M. M., Ignatov M. N. Изготовление камнелитых художественных и архитектурно-декоративных изделий// Glass and ceramic/ – 2011. –Volume 68, Numbers 5-6. – P. 198-202.

10. Игнатова А.М., Черных М.М., Игнатов М.Н. Материалы на основе синтетических минеральных сплавов для цветных дорожных покрытий// Архитектура и строительство России. – 2011.– №7. – С. 11-17.

Статьи, опубликованные в сборниках научных трудов конференций

11. Игнатов М.Н., Шундигов Е.Н., Игнатова А.М., Шундигов Н. А., Николаев М.М. Конструкция лабораторной малогабаритной электродуговой установки для плавки фторфлогопита «ДКПП-05»//Тезисы докладов юбилейной НТК «Современные организационные, технологические и конструкторские методы управления качеством». – Пермь: ПГТУ, 2006. – с. 135-137.
12. Игнатова А.М., Юдин М.В. Аналитическая оценка пригодности нерудных материалов Пермского края для камнелитейного производства// Тр. VIII Всерос. школы-семинара с международным участием «Новые материалы. Создание, структура, свойства-2008». – Томск: ТПУ, 2008. – с. 228 -231.
13. Игнатова А.М., Черных М.М. Чернов В.П. Разработка композиций шихт для получения цветного каменного литья//Тр. 5-ой междунар. конф. по проблемам горной промышленность, строительства и энергетики. – Тула, 2009. – С. 13-18.
14. Игнатова А.М. Типовой проект производства художественных и технических изделий каменного литья// Тр. конф. «Строительная наука – 2010». –Владимир, 2009. – С. 82-86.
15. Игнатова А.М., Черных М.М. Рекомендации по созданию камнелитых отливок с заданной степенью шероховатости// Сб. статей «Художественное материаловедение. Природный камень. Дизайн. Технологии» /МГГУ. - М., 2010. – С. 343-353.
16. Игнатова А.М. Разработка эталонов шероховатостей поверхностей каменного литья и условий их обеспечения//Вестник Пермского государственного технического университета «Машиностроение. Материаловедение». – 2010. - №1. - т.12. - 2010. – С. 50-63.
17. Игнатова А.М., Черных М.М. Закономерности формирования и восприятия рельефа художественных, бытовых и ювелирных отливок из симиналов//Вестник Пермского государственного технического университета «Машиностроение. Материаловедение». - 2010. - №4. - т.12. - 2010. – С. 76-87.
18. Ignatova A.M., Chikulaeva E.V., Chernih M.M., Ignatov M.N. Синтез цветных ликвационных покрытий на основе доменных шлаков и промышленных отходов эмалевого производства// Материалы третьей междунар. конф. «От наноструктуры, наноматериалов и нанотехнологий к наноиндустрии»/ИжГТУ. – Ижевск, 2011. – С. 38-40.
19. Игнатова А.М., Черных М.М., Игнатов М.Н. Дизайн художественных изделий на основе каменного литья – симиналов// Материалы XIV-ой Всероссийской НПК по специальности «Технология художественной обработки материалов»/ АГТУ. - Архангельск, 2011. – С. 56-65.

Заявки на изобретения

20. Пат. заявка № 2011134569, приоритетная дата от 17.08.2011. Авторы: Игнатова А.М., Чикулаева Е.В., Попов В.Л., Игнатов М.Н. Цветное шлакокаменное литье.