

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТИТАНСОДЕРЖАЩИХ ГЛАЗУРНЫХ ПОКРЫТИЙ ПЛИТОК ДЛЯ ПОЛОВ

А. П. ШИМАНСКАЯ, д-р техн. наук И. А. ЛЕВИЦКИЙ (e-mail: keramika@belstu.by)

Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет» (Республика Беларусь, г. Минск)

Установлена эффективность применения диоксида титана в качестве глушителя для получения стеклокристаллических износостойких полуфриттованных глазурных покрытий плиток для полов, обладающих требуемыми физико-химическими и эксплуатационными характеристиками. Проведено комплексное изучение процессов формирования глазурного покрытия оптимального состава с помощью методов инфракрасной спектроскопии, рентгенофазового анализа и электронной микроскопии

Ключевые слова: глазурь, микротвердость, блеск, структура, степень износостойкости, температурный коэффициент линейного расширения

Для получения глазурованных керамических плиток для полов с высокими физико-химическими свойствами и декоративно-эстетическими характеристиками скоростным однократным обжигом широко применяются глушеные цирконийсодержащие стеклокристаллические покрытия [1]. Однако в последние годы наблюдается дефицит на рынке циркона, обусловленный активным строительством новых атомных электростанций в ряде стран (КНР, Индия, Южная Корея и США) и быстрым увеличением производства керамической плитки в Китае и по всему миру [2].

В связи с этим в данном исследовании синтезированы глазурные покрытия плиток для полов с использованием диоксида титана в качестве глушителя, который является не только катализатором, способствующим увеличению количества центров кристаллизации, но и принимает активное участие в фазовых превращениях, выделяясь из стекла в виде кристаллических соединений – рутила, сфена, титанатов кальция и магния. Кроме того, TiO_2 способен изменять состав и концентрацию основных кристаллических фаз, воздействуя на температурный интервал образования и структуру продуктов кристаллизации [3].

Стеклокристаллические глазурные покрытия обеспечивают высокую износоустойчивость и требуемую бархатисто-маговую фактуру, препятствующую скольжению, за счет ситаллоподобной структуры, полученной путем направленной объемной тонкодисперсной кристаллизации в процессе обжига плиток для полов [4]. Процесс получения стеклокристаллических покрытий заданного фазового состава является сложным в условиях скоро-

стного обжига, поэтому часть кристаллического материала, введенного в глазурную суспензию, остается в практически неизменном виде (глинозем, рутил и др.) в сформированном покрытии [5].

В данной работе исследована сырьевая композиция для получения износостойких полуфриттованных глазурных покрытий, включающая (массовое содержание, %): 20,0 – 25,0 фритты ОР [6]; 15,0 – 25,0 полевого шпата вишневогорского марки ПШС-0,02-21 (ГОСТ 13451-77); 10,0 – 20,0 диоксида титана (ч.д.а.); 15,0 – 20,0 доломита класса 4, марки А, группы 1 (ГОСТ 14050-93) при постоянном содержании технического глинозема ГК-1 (ГОСТ 30559-98); кварцевого песка ОВС-020-В (ГОСТ 22551-77), каолина КН-83 (ГОСТ 19285-73), огнеупорной глины «Веско-Гранитик» (ТУ У 14.2-00282049-003-2007) и микроволластонита фракционного МИВОЛ марки 30-96К (ТУ 5777-006-4070584-2004), суммарное количество которых 25,0%. Предполагается, что данный состав обеспечит развитие метастабильной ликвиции и низкотемпературное выделение кристаллических фаз с большой скоростью зарождения, в результате чего сформируется мелкокристаллическая структура глазурного покрытия [7].

Синтез фритты ОР осуществлялся в системе $R_2O-RO-Al_2O_3-B_2O_3-SiO_2$ (где $R_2O - Na_2O, K_2O$; $RO - CaO, MgO$) [6]. В качестве сырьевых компонентов, применяемых для варки фритты, использовали кварцевый песок ОВС-020-В (ГОСТ 22551-77), борную кислоту марки Б (ГОСТ 18704-78), доломит марки А группы 1 класса 4 (ГОСТ 14050-93),

* Здесь и далее массовое содержание, %.

соду кальцинированную марки В (ГОСТ 5100–85), калиевую селитру марки Б (ГОСТ 19790–74), каолин КН-83 (ГОСТ 19285–73). Компоненты фритты высушивали до влажности не более 0,5 % и измельчали до величины зерен до 1 мм. Варку фритты осуществляли при температуре 1430 ± 10 °С в фарфоровых тиглях в лабораторной газовой пламенной печи со скоростью подъема температуры 250 °С/ч до полного провара с последующей выработкой в воду в целях ее грануляции.

Глазурный шликер готовили совместным мокрым помолом компонентов глазурной шихты в шаровой мельнице (Speedy, Италия) до остатка на сите № 0056 в количестве 0,1 – 0,3 % при соотношении материал : мелющие тела : вода, составляющим 1:1,5:0,5. Полученную суспензию влажностью 30 – 40 % наносили на предварительно высушенные до влажности не более 0,5 % и покрытые ангобом керамические плитки для полов с помощью фильер.

Следует отметить, что в данном исследовании использовались производственные составы масс плиток для полов, включающие: огнеупорную глину, кварцевый песок, полевой шпат и отсев из материалов дробления горных пород и ангобного покрытия, содержащего: фритту, глинозем, кварцевый песок, огнеупорную глину и циркон. Заглазурованные опытными составами плитки для полов подвергали обжигу в газопламенной печи типа FMS 250/60,9 (Италия) при температуре 1198 ± 2 °С в течение 45 ± 2 мин в условиях ОАО «Березастрой-материалы» (г. Береза, Республика Беларусь).

Исследование полученных после обжига образцов включало определение цвета покрытий по международной системе RAL (с помощью стандартных эталонов цвета) и по 1000-цветному атласу ВНИИ им. Д. И. Менделеева (г. Санкт-Петербург), блеска и белизны – на фотоэлектронном блескомере ФБ-2 с использованием в качестве эталонов увиолевого стекла и баритовой пластинки соответственно. Температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) синтезированных глазурей измеряли на электронном dilatометре DIL 402 PC (Netzsch, Германия) в интервале температур 20 – 400 °С, микротвердость – на приборе Wolpert Wilson Instruments (Германия). Рентгенофазовый анализ проводили на установке D8 ADVANCE (Bruker, Германия), ИК-спектроскопическое исследование – на ИК-Фурье-спектрометре NEXUS E.S.P. (Thermo Scientific, США). Микроструктуру глазурных покрытий исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LV с системой химического анализа EDX JED-2201 JEOL (Япония).

Физико-химические свойства синтезированных покрытий, измеренные в соответствии с ГОСТ 27180–2001, следующие:

температура начала размягчения глазури, °С	1110 – 1130
фактура поверхности	матовая, от бархатистой до шероховатой
белизна, %	71 – 87
блеск, %	9 – 17
термостойкость, °С	200 ± 5
степень износостойкости	3
микротвердость, МПа	7500 – 9500
твердость по шкале Мооса	6,5 – 7,0
ТКЛР в интервале 20 – 400 °С, К ⁻¹	$(68,0...74,0) \cdot 10^{-7}$

Визуальная оценка покрытий показала, что синтезированные полуфриттованные покрытия обладают преимущественно светло-лимонной цветовой гаммой (по международной системе RAL, код цвета 110 90 30). По мнению авторов, цвет глазури обуславливается наличием фазы рутила, которая способна принять в свою кристаллическую решетку ионы красящих элементов, что вызывает желтоватую окраску глазурного покрытия [3].

Несмотря на то что полученные глазурные покрытия имеют желтоватый оттенок, их показатели белизны находятся на достаточно высоком уровне и указывают на полноту протекания процессов гашения с образованием фаз с высоким коэффициентом светопреломления. Высокие значения микротвердости (7500 – 9500 МПа) свидетельствуют о наличии плотной и прочной структуры покрытий.

В результате исследований установлено, что все глазурные покрытия оказались химически стойкими к раствору № 3 (ГОСТ 27180–2001), поверхность абсолютно всех покрытий не имела каких-либо признаков повреждения, сохраняя блеск и целостность.

Значения ТКЛР покрытий лежат в интервале $(68,0...74,5) \cdot 10^{-7} \text{ К}^{-1}$ при ТКЛР керамической основы, составляющем $(75...78) \cdot 10^{-7} \text{ К}^{-1}$. Указанная разница показателей ТКЛР свидетельствует о том, что глазури находятся в состоянии сжатия, что обеспечивает высокие значения термостойкости, составляющие 200 °С.

На основании проведенных исследований физико-химических свойств в качестве оптимального выбран состав глазурного покрытия, содержащий следующие компоненты, %: фритта 22,5 ОР [6]; 20,0 полевой шпат; 17,5 доломит; 15,0 диоксид титана. Суммарное количество глинозема, кварцевого песка, каолина, огнеупорной глины и микроволластонита составляет 25,0 %.

Физико-химические свойства глазурного покрытия оптимального состава

Блеск, %	13 ± 1
Белизна, %	78 ± 2
ТКЛР, К ⁻¹	(69,3 ± 0,5) · 10 ⁻⁷
Микротвердость, МПа	8500 ± 100
Твердость по шкале Мооса	7,0
Термическая стойкость, °С	200 ± 5
Химическая стойкость	стойкая к раствору № 3 (ГОСТ 27180-2001)
Степень износостойкости	3

Достоверные сведения о строении и свойствах сложных силикатных систем можно получить лишь на основе их комплексного изучения. В данной работе исследование процесса формирования глазурного покрытия оптимального состава, термообработанного в лабораторной электропечи (Nabertherm, Германия) при 900 – 1300 °С (с интервалом 50 °С и выдержкой в течение 10 мин), проводили с помощью методов рентгенофазового анализа (РФА), инфракрасной спектроскопии (ИК-спектроскопии) и электронной микроскопии.

С помощью метода РФА получены сведения о качественном составе глазурного покрытия, а также изучена последовательность процесса формирования кристаллических фаз, установлено их относительное количественное содержание на разных стадиях термообработки. Интенсивность дифракционных максимумов кристаллических фаз по мере увеличения температуры термообработки приведена на рис. 1.

Из рис. 1 видно, что интенсивность дифракционных максимумов кварца SiO₂ снижается вплоть до полного их исчезновения при температуре 1150 °С, что свидетельствует о его полном растворении в расплаве.

Интенсивность дифракционных максимумов рутила TiO₂ также постепенно снижается, что, очевидно, связано с его частичной перекристаллизацией и образованием титанатов магния и кальция типа 2MgO·TiO₂ и CaO·2TiO₂, что происходит при температуре 1150 °С. Дальнейшее повышение температуры обжига до 1300 °С приводит к полному растворению титанатов магния и кальция в расплаве.

Соединение 2MgO·TiO₂ обладает кристаллической решеткой типа шпинелей, высокая прочность шпинелевой структуры делает это соединение малорастворимым в силикатном расплаве и устойчивым против восстановительной газовой среды, в результате чего увеличивается глушащая способ-

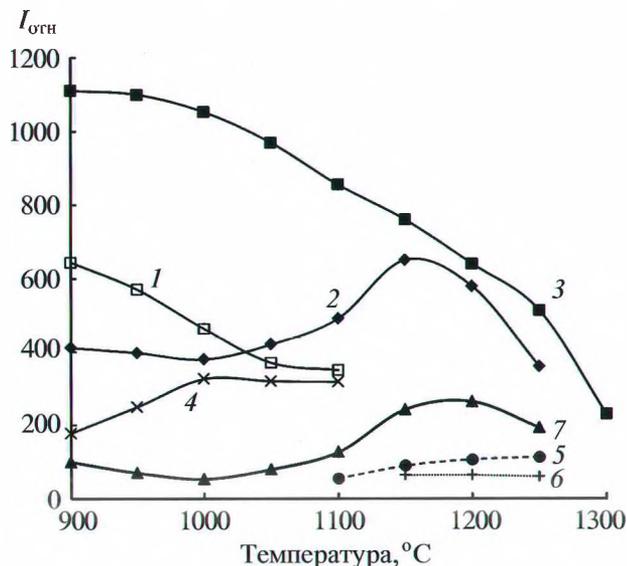


Рис. 1. Изменение интенсивности дифракционных максимумов кристаллических фаз по мере увеличения температуры термообработки сырьевой композиции для получения глазури
 1 – кварц ($d = 0,3350$ нм); 2 – анортит ($d = 0,3195$); 3 – рутил ($d = 0,3247$); 4 – диопсидоподобная фаза ($d = 0,2984$); 5 – титан кальция ($d = 0,2745$); 6 – титан магния ($d = 0,4871$); 7 – корунд ($d = 0,3481$)

ность диоксида титана и предотвращается появление синевато-серой окраски, связанной с переходом TiO₂ в оксиды с более низкой степенью окисления [8].

В интервале температур 900 – 1000 °С регистрируется незначительный рост количества фазы Ca(Mg, Al)(Si, Al)₂O₆ диопсидоподобной структуры и вхождение ионов Al³⁺ в указанное соединение, при этом наблюдается некоторое снижение интенсивности дифракционных максимумов корунда α-Al₂O₃. Вероятно, происходит частичное растворение корунда в расплаве с образованием диопсидоподобной фазы Ca(Mg, Al)(Si, Al)₂O₆. При более высоких температурах протекает обратный процесс: Ca(Mg, Al)(Si, Al)₂O₆ полностью растворяется в расплаве, и при 1150 °С она не идентифицируется, а количество корунда возрастает.

Кроме того, наблюдается увеличение количества кристаллов анортита CaO·Al₂O₃·2SiO₂ по мере повышения температуры от 900 до 1150 °С.

При температуре 1300 °С в покрытии содержатся только кристаллы рутила. Как показали дальнейшие исследования методом сканирующей электронной микроскопии, его оплавленные зерна имеют неизометричную форму (рис. 2, з).

Таким образом, максимальное количество кристаллических фаз, обеспечивающих требуемые физико-химические свойства, декоративно-эстетические характеристики и высокую степень износостой-

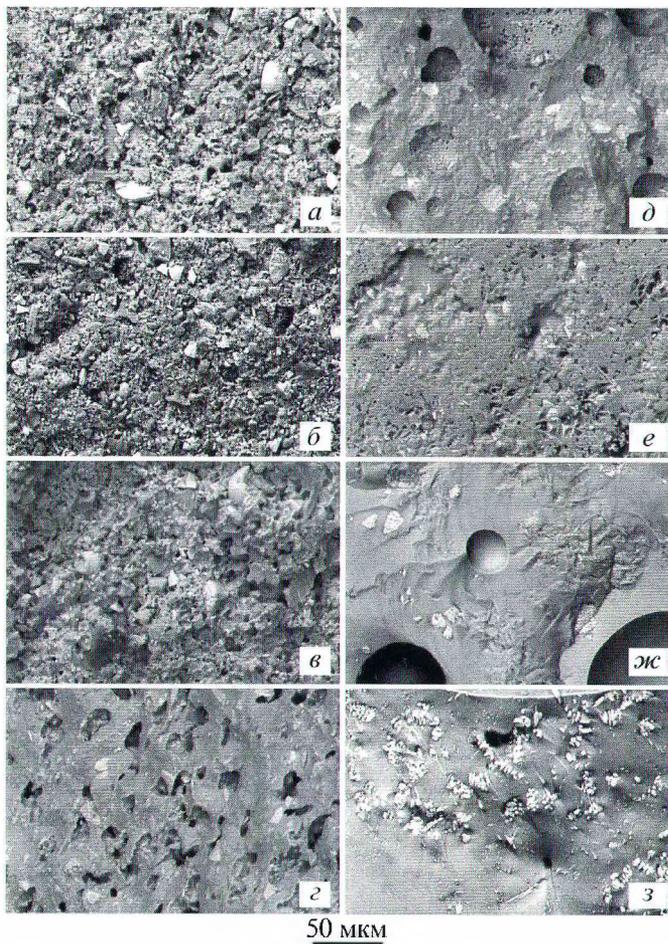


Рис. 2. Электронные снимки глазурного покрытия оптимального состава, термообработанного при температуре, °С

a – 900; *б* – 1000; *в* – 1050; *г* – 1100; *д* – 1150; *е* – 1200; *ж* – 1250; *з* – 1300; ×500

кости глазурного покрытия, регистрируется в температурном интервале 1150 – 1200 °С, что подтверждает оптимальность выбранного температурного интервала формирования стеклокристаллического покрытия с равномерным пространственным распределением кристаллов.

Данные, полученные при исследовании структуры глазурей методом электронной микроскопии, коррелируют с результатами рентгенофазового анализа (см. рис. 2, *a* – *ж*). При 1000 °С происходит появление первых капель жидкой фазы, цементирующей частицы исходных шихтовых составляющих. С ростом температуры ее количество увеличивается, частицы сырьевых материалов оплавляются.

Микрондовый анализ показал (рис. 3), что поверхность глазурей состоит из хаотично ориентированных призматических и таблитчатых кристаллов, принадлежащих, очевидно, анортиту [9].

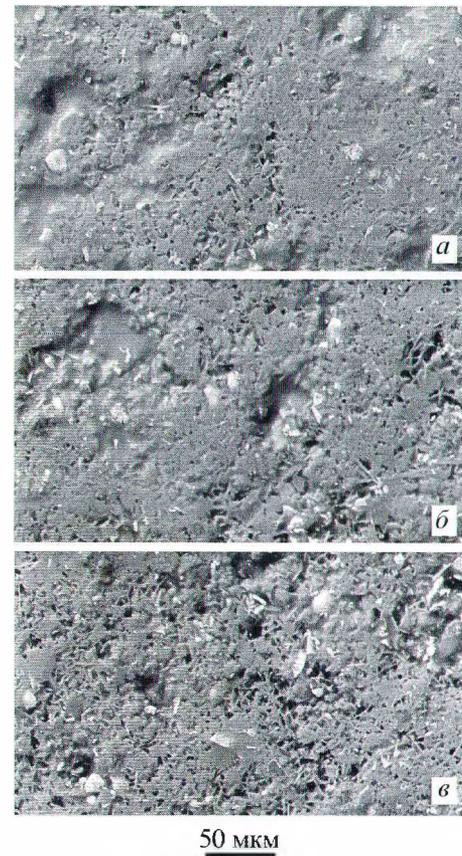


Рис. 3. Электронно-микроскопические снимки поверхности глазурных покрытий, различающихся массовым содержанием TiO_2 , %
a – 10; *б* – 15; *в* – 20; ×500

Рутил встречается в виде отдельных скоплений игольчатых и шестоватых кристаллов, чаще всего растущих радиально от общего основания. Форма кристаллов TiO_2 обусловлена тем, что октаэдры $[\text{TiO}_6]$ вытянуты вдоль главной оси в виде прямолинейных колонок [10]. Кристаллическая фаза сцементирована стекловидной и равномерно распределена по поверхности покрытия, что обеспечивает высокую степень износостойкости. На покрытиях оптимальных составов отсутствуют кратеры, наколы и другие дефекты поверхности.

Установлено, что повышение содержания рутила в составе сырьевой композиции приводит к закономерному увеличению степени закристаллизованности поверхности глазурного покрытия, при этом количество стекловидной фазы уменьшается, что приводит к изменению фактуры поверхности от бархатистой до шероховатой.

В формировании физико-химических свойств глазурованных изделий важное значение имеет контактный слой, который образуется ввиду значительной разности химических составов глазури, ангоба и керамической основы. С повышением

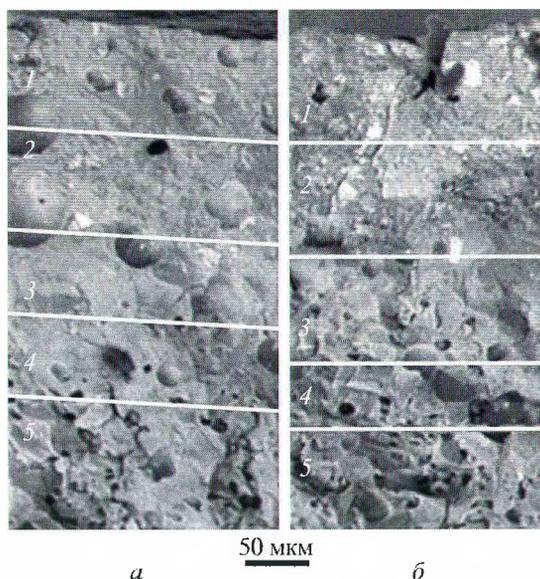


Рис. 4. Формирование контактного слоя в системе глазурь – ангоб – керамика, отличающихся массовым содержанием TiO_2 , %

а – 10; *б* – 20; 1 – глазурь; 2 – контактный слой между глазурью и ангобом; 3 – ангоб; 4 – контактный слой между ангобом и керамической основой; 5 – керамическая основа; в образцах нет четкой границы раздела слоев (проведены условно)

температуры обжига увеличивается число подвижных ионов, становится возможным движение ионов кислорода кристаллической решетки, понижается вязкость глазурного расплава и повышается его реакционная способность, что приводит к интенсивному взаимодействию глазури с ангобом и керамической основой и образованию контактного слоя. Формирование контактного слоя протекает вследствие плавления легкоплавких составляющих полуфриттованной глазури и диффузии растворенных компонентов в толщу ангоба [11].

Как видно из рис. 4, отсутствует четкая граница между слоями глазури, ангоба и керамической основы. Контактный слой шириной около 50 мкм характеризуется повышенным содержанием кристаллов рутила и анортита. Хорошо развитый контактный слой между глазурью и ангобом заполняет поверхностные трещины керамической основы, способствует прочному закреплению покрытия, смягчает механическое напряжение, возникающее между глазурью, ангобом и керамической основой, в результате чего повышается механическая прочность изделий.

В нашем случае характер формирования глазурного покрытия несколько отличается от описанного в работе [12]. На первой стадии в интервале температур 800 – 900 °С существенного изменения

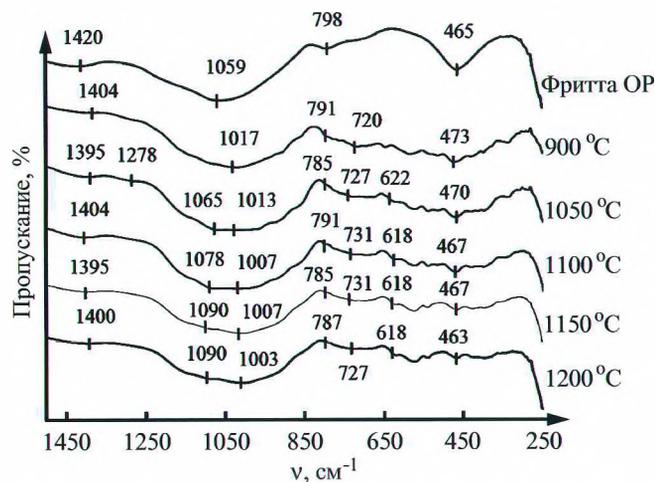


Рис. 5. ИК-спектры глазурного покрытия оптимального состава при разных температурах термообработки и фритты ОР

формы частиц не происходит, отмечается только их уплотнение. Для второй стадии (900 – 1050 °С) характерно уменьшение пористости внутри слоя глазури, однако покрытие остается негерметичным, пронизанным многочисленными каналами. На следующей стадии (1050 – 1100 °С) происходит герметизация слоя, и он становится более плотным. Четвертая стадия (1100 – 1150 °С) характеризуется проникновением глазурного расплава в ангоб и возникновением контактного слоя между глазурью и ангобом. Для последней стадии (1150 – 1200 °С) характерно формирование гладкого глазурного покрытия и незначительное увеличение толщины контактного слоя между глазурью и ангобом.

Для наблюдения за динамикой процесса кристаллизации, полиморфными превращениями силикатов и реакциями между ними использовали метод инфракрасной спектроскопии. ИК-спектры глазурного покрытия оптимального состава при разных температурах термообработки, а также фритты ОР, используемой в сырьевой композиции, приведены на рис. 5.

Наличие полосы поглощения в области 1010 – 1100 cm^{-1} указывает на присутствие кремнекислородных группировок с различной степенью полимеризации кремнекислородных тетраэдров: максимум поглощения при 1003 – 1017 cm^{-1} соответствует формированию группировок Si–O–Si в слоистой структуре (группы дисиликатного типа), при 1059–1090 cm^{-1} – Si–O–Si в каркасной структуре [13]. Следует отметить, что каркасные силикаты идентифицируются в глазуре при температурах выше 1000 °С, что свидетельствует об упрочнении структурной сетки стекла.

Полосы поглощения в области 700 – 900 cm^{-1} с максимумом при 785 – 798 cm^{-1} могут быть связаны

с валентными колебаниями тетраэдров $[AlO_4]$. Следовательно, атомы алюминия входят в анионный каркас стекла и наряду с атомами кремния участвуют в образовании сетки стекла из тетраэдров $[SiO_4]$ и $[AlO_4]$, этому процессу значительно способствуют крупные катионы Na^+ и Ca^{2+} [14].

Полоса поглощения в низкочастотной области при $400 - 500 \text{ см}^{-1}$ с максимумами при $463 - 473 \text{ см}^{-1}$ и в области $680 - 720 \text{ см}^{-1}$ относится к асимметричным деформационным колебаниям связей $Si-O-Si$ в тетраэдрах $[SiO_4]$ [13].

В ИК-спектрах рутила TiO_2 наблюдается широкая полоса поглощения в области $500 - 700 \text{ см}^{-1}$ [15]. Сопоставляя данные, достигнутые с помощью методов ИК-спектроскопии и рентгенофазового анализа для образца глазури оптимального состава, полученного при различных температурах термообработки, можно предположить, что полосы поглощения в области $500 - 700 \text{ см}^{-1}$ на ИК-спектрах связаны с наличием групп $[TiO_6]$. Причем наблюдается частичное исчезновение этих максимумов при повышении температуры обжига образца, что обусловлено, очевидно, частичным растворением и перекристаллизацией рутила, содержащегося в исходной сырьевой шихте.

Широкая полоса поглощения в высокочастотной области спектра при $1250 - 1550 \text{ см}^{-1}$ с максимумами при $1395 - 1404$ и $1287 - 1278 \text{ см}^{-1}$ характерна для изолированных групп $[BO_3]$ [16]. Идентификация четырехкоординированного бора в стеклах, в которых присутствуют и взаимонакладываются близкие по частоте колебания атомов в связях $Si-O-Si$, затруднительна [13]. Наличие полосы поглощения в области $650 - 500 \text{ см}^{-1}$ с максимумом при $618 - 622 \text{ см}^{-1}$ в глазурном покрытии может свидетельствовать о присутствии в структуре шестикоординированного алюминия. Данный факт подтверждается рентгенофазовым анализом, с помощью которого установлено, что в глазурном покрытии оптимального состава идентифицируется корунд. Полосы поглощения в области $700 - 800 \text{ см}^{-1}$ с максимумом при $720 - 731 \text{ см}^{-1}$ могут быть связаны с колебаниями изолированных групп $[TiO_4]$ [13].

Полосы поглощения с максимумами $421 - 430$, $392 - 398$ и $334 - 338 \text{ см}^{-1}$ могут быть отнесены к дополнительным колебаниям связей различной природы.

Следовательно, исследование глазурных покрытий с помощью ИК-спектроскопии позволило установить особенности структуры глазурного покрытия оптимального состава. Экспериментально установлено наличие в структуре сформировавшейся глазури изолированных групп $[BO_3]$, силикатов

слоистой и каркасной структуры из группировок $[SiO_4]$, групп $[TiO_6]$, $[TiO_4]$, $[AlO_6]$ и алюмоокислородных тетраэдров $[AlO_4]$. Таким образом, изучение ИК-спектров опытных составов позволило сделать вывод, что структура глазури характеризуется единым, непрерывным алюмокремнийкислородным каркасом, в который могут встраиваться группы $[TiO_4]$. Как известно, тетраэдрические группы $[AlO_4]$ могут замещать кремнекислородные тетраэдры $[SiO_4]$ из-за близости размеров, что приводит к образованию алюмосиликатов. В частности, в данной глазури рентгенофазовым анализом выявлено наличие кристаллов анортита.

Комплексное исследование позволило выделить основные этапы формирования полуфриттованного глушеного покрытия: $900 - 1050 \text{ }^\circ\text{C}$ – образование жидкой фазы, цементирующей частицы исходных шихтовых составляющих; $1050 - 1150 \text{ }^\circ\text{C}$ – увеличение ее количества и оплавление частиц сырьевых материалов; $1200 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ – оптимальная температура формирования структуры стеклокристаллического покрытия.

Таким образом, разработанные стеклокристаллические глазури хорошо заглушены, имеют матовую фактуру поверхности и высокую степень износостойкости, что позволяет их использовать в условиях повышенного износа в местах с интенсивным движением людского потока. Установлено, что высокая износостойкость покрытий и требуемая бархатисто-матовая фактура обеспечиваются за счет рационального сочетания стекловидной и кристаллических фаз, причем последняя представлена кристаллами анортита, рутила, корунда, титанатов кальция и магния, каждый из которых вносит свой вклад в формирование структуры покрытия.

Проведенные испытания в заводских условиях ОАО «Березастройматериалы» (г. Береза, Республика Беларусь) показали реальную возможность использования разработанных покрытий в промышленном производстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Левицкий И. А., Баранцева С. Е., Лугин В. Г., Позняк А. И.* Оптимизация состава фриттованного компонента сырьевой композиции износостойких покрытий // *Стекло и керамика*. 2010. № 9. С. 29 – 32.
2. *Levitskii I. A., Barantseva S. E., Lugin V. G., Poznyak A. I.* Optimization of the composition of the fritted component of the raw material mix of durable coatings // *Glass and Ceram.* 2010. V. 67. N 9 – 10. P. 291 – 294.
3. *Ходаковская Р. Я.* Химия титаносодержащих стекол и ситаллов. М.: Химия, 1978. 288 с.

4. *Torres F. J., Esther R. S., Alarcon J.* Effect of some additives on the development of spinel-based glass-ceramic glazes for floor-tiles // *Journal of Non-crystalline solids*. 2005. V. 351. N 30 – 32. P. 2453 – 2461.
5. *Лисачук Г. В., Рыщенко М. И., Белостоцкая Л. А. и др.* Стеклокристаллические покрытия по керамике / под ред. Г. В. Лисачука. Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. 480 с.
6. *Пат. 15539 Респ. Беларусь. № а20101442.* Фриттованная составляющая глушеной глазури; / И. А. Левицкий, С. Е. Баранцева, А. И. Позняк., Н. В. Шульгович; заявл. 07.10.2010; опубл. 28.02.2012// Афіцыйны бюл. 2012. № 1. С. 95 – 96.
7. *Филипович В. Н.* Структурные превращения в стеклах при повышенных температурах. М.–Л.: Наука, 1965. С. 30 – 43.
8. *Ахметов Н. С.* Общая неорганическая химия. М.: Высш. шкю – Академия, 2001. 743 с.
9. *Перепелицын В. А.* Основы технической минералогии и петрографии. М.: Недра, 1987. 256 с.
10. *Бетехтин А. Г.* Курс минералогии. М.: КДУ, 2007. 721 с.
11. *Левицкий И. А., Дятлова Е. М., Колонтаева Т. В., Шелихина В. М.* Особенности формирования контактной зоны в системе глазурь – керамика // *Стекло и керамика*. 2000. № 1. С. 17 – 21.
12. *Levitskii I. A., Dyatlova E. M., Kolontaeva T. V., Shelikhina V. M.* Features of formation of the contact zone in the glaze – Ceramics system // *Glass and Ceram.* 2000. V. 57. N 1 – 2. P. 18 – 22.
13. *Певзнер Б. З., Азбель А. Ю.* Модель формирования покрытия из порошка стекла при нагревании // *Физика и химия стекла*. 1993. Т. 19. № 1. С. 169 – 189.
14. *Туник Т. М., Кошляк Л. Л., Грум-Гржимайло О. С.* Глухие бесциркониевые глазури // *Стекло и керамика*. 1981. № 12. С. 17 – 18.
15. *Tunik T. M., Koshlyak L. L., Grum-Grzhimailo O. S.* Opaque zircon-free glazes // *Glass and Ceram.* 1981. V. 38. N 12. P. 637 – 638.
16. *Mukherjee D. Pr., Das S. K.* The influence of TiO₂ content on the properties of glass ceramics: Crystallization, microstructure and hardness // *Ceramics International*. 2014. V. 40. N 3. P. 4127 – 4134.
17. *Бобкова Н. М., Хотько С. А.* Строение цинково-боратных легкоплавких стекол по данным ИК-спектроскопии // *Журнал прикладной спектроскопии*. 2005. Т. 72. № 6. С. 778 – 781.



Алешин Н.П., Бобров В.Т., Ланге Ю.В., Щербинский В.Г.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ

Серия "ДИАГНОСТИКА БЕЗОПАСНОСТИ"

Под общей редакцией академика РАН В.В. Ключева

М.: Издательский дом «Спектр», 2013. – 224 с.: ил.

ISBN 978-5-4442-0032-2

Цена (с НДС 10%) – 690 руб.

Рекомендовано Научным советом по автоматизированным системам диагностики и испытаний РАН в качестве учебного пособия для подготовки специалистов по неразрушающему контролю и технической диагностике.

Изложены основы ультразвуковых (УЗ) методов неразрушающего контроля (НК). Значительное внимание уделено эхо- и теневого методам обнаружения дефектов, измерения толщины и физико-механических свойств деталей, узлов и сварных соединений, методам обработки информации и регистрации результатов контроля. Рассмотрены типовые схемы построения УЗ-преобразователей, приборов и систем автоматизированного контроля, их конструктивные особенности и технические характеристики, технология контроля массовой продукции. Приведены национальные и международные стандарты по УЗ НК, описаны стандартные образцы. Сформулированы требования по безопасности УЗ-контроля.

Книга может быть использована в качестве пособия для подготовки студентов и специалистов, обучающихся по направлениям технической диагностики, контроля качества и безопасности изделий и конструкций.

Учебное пособие рекомендуется для подготовки к аттестации специалистов 1, 2 и 3 уровней НК по международной и европейской системам аттестации, а также в качестве базового материала для дистанционного обучения специалистов по НК.

ООО «Издательский дом «Спектр», 119048, Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1

Заявки принимаются по почте, по телефону или по e-mail: info@idspektr.ru, izdakaz@rambler.ru

Контактные телефоны: (495) 514-26-34, 514-76-50. Подробная информация на сайте www.idspektr.ru