

Далее происходит откачка вакуумной камеры до остаточного давления  $2 \cdot 10^{-3}$  Па и очистка поверхности подложек (7) ионами аргона с помощью ионного источника (6) в течение 10 мин. Параметры разряда ионного источника составляют:  $U_a = 110 \dots 150$  В,  $I_a = 2 \dots 4$  А. Аргон в ионный источник подается через натекагель (10) до давления в вакуумной камере  $2-4 \cdot 10^{-2}$  Па. Напыление АПП производится при работающем ионном источнике. Поскольку графитовая мишень находится в сердечнике ионного источника, нейтральная компонента лазерного эрозионного факела ионизируется и ускоряется до энергий порядка 60-80 эВ. Ионный источник имеет геометрию пистолета ионов  $140-160^\circ$ , что приводит к значительному увеличению размеров эрозионного факела и позволяет получать равномерные покрытия на подложках до  $50 \text{ см}^2$ . Плотность мощности лазерного излучения на поверхности мишени выбирается в пределах  $10^8 \dots 10^9 \text{ Вт/см}^2$ , а напыление проводят на вращающиеся подложки, расположенные на расстоянии 15-20 см от мишени. Скорость нанесения при данных технологических режимах, обеспечивающих при соблюдении установленных параметров высокое качество получаемых АПП, составила 120-180 нм/мин.

Разработанная технология может быть использована для получения защитных покрытий, изготовления видеомониторов на основе полевой эмиссии, а так же для просветления оптических деталей различного функционального назначения.

УДК 621.762.4

Корженевич М.А.

## **ПОЛУЧЕНИЕ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ С ВЫСОКОЙ ИЗНОСОУСТОЙЧИВОСТЬЮ НА ОСНОВЕ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ**

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

*Научный руководитель: канд. техн. наук, доц. Терещенко И.М.*

На предприятиях нефтехимического комплекса широко используются транспортирующие установки, работающие в сложных условиях коррозионного и абразивного воздействия, что вызывает быстрый износ отдельных деталей и выход установок из строя.

В настоящее время основным материалом для изготовления ответственных элементов оборудования, например, сферических элементов запорных устройств, являются дефицитные легированные стали. Однако в последнее время резко возросла их стоимость, что в совокупности с двумя характерными особенностями металлов: относительно невысокой устойчивостью к

механической и химической коррозии, делает актуальным использование других видов материалов, например стеклокерамических, имеющие высокую прочность на сжатие, прочность, твердость, устойчивость к воздействию расплавов солей, шлаков, металлов, агрессивных жидкостей и газов, действию температуры, что позволяет применять их в химической и металлургической отраслях литейном производстве и др.

Таким образом, основная цель решаемой в данной работе, формулируется следующим образом: разработка технологии получения стеклокерамических изделий сложной формы, устойчивых к абразивному износу и коррозии.

Важными требованиями к разрабатываемым процессам является их экономическая и экологическая эффективность.

В качестве основы СКМ был выбран базальт, прежде всего по экономическим факторам, к которым относятся доступность и дешевизна данного вида сырья, а также в следствии высоких технико-эксплуатационных характеристик получаемых на их основе изделий: твердости, износостойкости, химической устойчивости.

В данной работе использовались базальты Ровненского месторождения (Украина), отличающиеся стабильностью химико-минералогического состава.

Анализ химического состава базальта показывает, что он является в полнее благоприятным для получения стекол и петроситаллов, поскольку отличается сравнительно низким содержанием  $\text{SiO}_2$  – менее 50 мас.% и значительным содержанием модификаторов ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{RO} + \text{R}_2\text{O}$ ) – оксидов, снижающих температуру варки стекла.

Из возможных вариантов технологии получения изделий из СКМ был выбран порошковый способ. Этот способ синтеза ситаллов представляется как более продолжительный, трудо- и энергоемкий в сравнении с «классическим стекольным», преимуществами которого являются относительная простота, поточность производительность, возможность обеспечения высокого уровня автоматизации технологических процессов. Однако в классической технологии имеются и недостатки: жесткие требования к варочным и формовочным свойствам стекла, его кристаллизационной способности, необходимостью точного соблюдения химических составов шихты и технологических параметров. Кроме того получаемые порошковым способом изделия обладают определенными достоинствами перед традиционной стеклокерамикой: повышенный уровень прочности, износо- и термической устойчивости, широких ассортиментом, технологичностью (широкий интервал спеченного состояния, равномерность усадки при обжиге, устойчивость к деформации в обжиге).

Особенностью порошкового способа является тот факт, что спеканию подвергаются порошки стекла с размером зерен около 8-10 мкм с добавкой катализатора кристаллизации, который вводится либо на стадии варки, либо на стадии помола стекла.

В настоящей работе с целью повышения эффективности термопластическая технология получения изделий на основе базальтов была модифицирована. В частности, принято решение существенно сократить долю стекла в исходной шихте, используя его в качестве высокотемпературного связующего. Оставшаяся часть шихты была представлена тонкоизмельченным базальтом. Другими словами частично осуществлен переход от стекольной технологии получения изделий к керамической, что позволяет существенно снизить энергоемкость производства.

Неотъемлемой частью термопластической технологии является приготовление порошковой стекольной шихты (удельная поверхность  $5000 \text{ м}^2/\text{кг}$ ), которая для получения готового изделия подвергается спеканию с одновременной кристаллизацией стекла. Особое внимание при получении поликристалла следует уделять определению температурных интервалов: 1) спекания связующего; 2) кристаллизации; 3) спекания материала. Ответы на эти вопросы были получены при изучении исходного стекла методом дифференциально-термического анализа.

Установлено, что в области температур  $160\text{--}550 \text{ }^\circ\text{C}$  на ней наблюдается несколько экзоэффектов, связанных с выгоранием связующего. Известно, что шифрафин является сложной смесью углеводородов с различными молекулярными массами, причем в интервале температур  $160\text{--}300 \text{ }^\circ\text{C}$  выгорают легкие фракции, количество которых весьма велико, в интервале  $320\text{--}470 \text{ }^\circ\text{C}$  уходятся средние фракции, содержание которых мало, а наиболее интенсивный экзоэффект при  $500 \text{ }^\circ\text{C}$  связан с выгоранием большого количества тяжелых фракций. Поскольку интенсивное газовыделение при удалении термопластического связующего может привести к растрескиванию и потери формы изделия были приняты следующие меры предосторожности:

- низкая скорость подъема температуры (менее  $2 \text{ град/мин}$ ) в интервале температуры  $50\text{--}550 \text{ }^\circ\text{C}$ ;
- выдержка при  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение  $0,5 \text{ ч}$ ;
- выдержка при  $470 \text{ }^\circ\text{C}$  в течение  $0,5 \text{ ч}$ .

В дальнейшем ход обеих дериватограм идентичен и лишь при  $850 \text{ }^\circ\text{C}$  наблюдается экзоэффект, связанный с кристаллизацией первой кристаллической фазы – авгита. Важна что процесс кристаллизации образцов не сопровождается существенными объемными изменениями, что позволяет осуществлять быстрый подъем температуры (до  $300 \text{ град/ч}$ ).

Для выбора конечной температуры обжига потребовалось изучение изменения физико-химических свойств в зависимости от материала в интервале  $750\text{--}1100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Данные изучения кажущейся плотности, водопоглощения и пористости, показывают что, их значения мало изменяются, вплоть до температуры  $1050 \text{ }^\circ\text{C}$ . В интервале температур  $1050\text{--}1100 \text{ }^\circ\text{C}$  происходит резкое снижение водопоглощения, пористости и

увеличение кажущейся плотности в ходе интенсивно протекающего процесса спекания, который практически завершается к температуре 1100 °С.

Таким образом, эта температура и была принята конечной температурой обжига, выдержка изделий при ней составляла 1 ч. Основными кристаллическими фазами в синтезированном материале являются следующие: анортит, диопсид, авгит и гематит. Основные свойства петроситалов, полученные по термопластической технологии в соответствии с разработанным режимом термообработки следующие: кислотостойкость в 1н HCl – 98%, водопоглощение – 0,12%, потери при истирании – 0,03г/см<sup>2</sup>.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Павлушкин, Н.М. Основы технологии ситаллов / Н.М. Павлушкин. - М.: Стройиздат, 1988. – 256 с.

2. Саркисов, П.Д. Последние достижения в области стеклокристаллических материалов/ П.Д. Саркисов // Наука и технология силикатных материалов настоящее и будущее: материалы Межд. научн-техн. конф. – М., 2003. – Т.1. – С. 54–71.

3. Ходаковская, Р. Состояние и перспективы развития работ в области ситаллов / Р. Ходаковская // Катализируемая кристаллизация стекла: ГИС. – М., 1986. – С. 2-15.

4. Вольдан, Я. Исследование процесса плавления и кристаллизации горных пород типа базальта / Я. Вольдан // Сб. Проблемы каменного литья. – Киев: АН Украины, 1963. – Вып.1. – С. 65.

УДК 539.3

Кравчук А.С., Жук А.В.

## ОБОБЩЕНИЕ МОДЕЛИ ОСНОВАНИЯ ВИНКЛЕРА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПЛОСКИХ КОНТАКТНЫХ ЗАДАЧ

*Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь.*

*Научный руководитель: д-р физ.-мат. наук, доц. Кравчук А.С.*

*В статье выполнено методическое обобщение модели деформируемого основания Винклера на случай композиционного, нелинейно-деформируемого и других моделей основания, моделирующих сложное механическое поведение покрытий при решении плоских контактных задач.*

**Введение.** Трудности определения контактных напряжений в рамках механики деформируемого твердого тела обусловлены тем, что перемещения в определенной точке поверхности зависят от распределения давлений по