

666
3-25

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ С.М.КИРОВА

На правах рукописи

ЗАЛЫГИНА ОЛЬГА СЕРГЕЕВНА

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ
ИЗНОСОСТОЙКИХ И ВЫСОКОПРОЧНЫХ
СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

05.17.11.-Технология силикатных и тугоплавких
неметаллических материалов

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Минск 1992

Работа выполнена в Белорусском ордена Трудового
Красного Знамени технологическом институте им.С.М.Кирова.

Научный руководитель заслуженный деятель науки и техники БССР,
доктор технических наук, профессор
БОБКОВА Нинель Мироновна

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
КУЗЬМЕНКОВ М.И.,

кандидат технических наук, доцент
ШАМКАЛОВИЧ В.И.


Ведущая организация институт порошковой металлургии,
отдел керамических материалов.

Защита состоится "29" октября 1992 года
в 14 часов на заседании специализированного совета
К 056.01.04 при Белорусском технологическом институте
им.С.М.Кирова.

Адрес: 220630, г.Минск, ул.Свердлова, 13а, корпус 4, зал
заседаний.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
Белорусского технологического института.

Автореферат разослан "23" октября 1992г.

Учёный секретарь
специализированного совета
кандидат технических наук  С.А.Гайлевич

ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время широко применяются машины и аппараты самых разнообразных конструкций, работающие в различных средах—на воздухе, вакууме, воде и др.—а также при больших давлениях в опорах, больших скоростях скольжения и качения, высоких температурах. Использование общепринятых frictionных материалов в новых условиях оказывается малоэффективным. Поэтому всё большее значение приобретает создание новых износостойких материалов, которые помимо высокой износостойкости обладают такими свойствами, как высокая механическая прочность, низкая плотность, низкий коэффициент теплового расширения, высокие термостойкость и химстойкость, возможность формования деталей сложной конфигурации и точных размеров, относительно невысокие температуры спекания. Большой интерес в качестве таких материалов представляют стеклокерамические композиционные материалы на основе Al_2O_3 и ситаллизирующихся стёкол.

Однако данные по их созданию неполны и часто противоречивы: отсутствуют данные об оптимальном соотношении Al_2O_3 — стекло, обеспечивающем как высокие физико-механические свойства композиционного материала, так и достаточное снижение температуры спекания; недостаточно полно освещены вопросы подбора стекла как связки, механизма спекания композиционных стеклокерамических материалов, влияния на их свойства дисперсности исходных порошков, различных добавок. В связи с этим создание новых износостойких и высокопрочных стеклокерамических материалов, разработка оптимальных составов и режимов спекания является актуальной задачей.

Цель работы. Разработка состава и технологии получения композиционного стеклокерамического материала на основе Al_2O_3 и ситаллизирующегося стекла, обладающего комплексом высоких физико-механических свойств, прежде всего высокими прочностью и износостойкостью, при одновременном снижении температуры спекания.

Научная новизна.

1. Установлено снижение температуры кристаллизации ситаллизирующихся стёкол в присутствии зёрен Al_2O_3 . Такая

частичная кристаллизация при низких температурах термообработки препятствует деформации в процессе спекания и делает возможной высокую скорость спекания.

2. Доказано, что в композиции кристалл-стекло механизм истирания протекает через пластическую деформацию, несмотря на то, что стеклокерамический материал является хрупким.

3. Определено оптимальное количество ультрадисперсного порошка Al_2O_3 в общем количестве вводимого глинозёма, обеспечивающее наиболее плотную упаковку зёрен.

4. Установлено, что при спекании композиционного материала кристалл-стекло имеют место два типа диффузии: диффузия Al_2O_3 в остаточную стеклофазу и диффузия жидкой стеклофазы между частицами Al_2O_3 .

Практическая ценность. По результатам опытно-промышленной апробации на Могилёвском ПО шёлковых тканей разработанный стеклокерамический материал СК-8-2 рекомендован для производства нитепроводящей гарнитуры ткацкого оборудования. Использование разработанного материала позволяет обеспечить комплекс необходимых эксплуатационных свойств. Экономический эффект от использования партии нитепроводников на МПОШТ в 1991 году составил 45,652 тыс. руб. Кроме того разработанный стеклокерамический материал, благодаря своим высоким физико-механическим свойствам, может быть рекомендован для изготовления направляющих упоров лентопротяжного механизма электро-вычислительных машин, деталей двигателей в автомобилестроении, прокладок насосов, форсунок гидrocиклонов и т.п.

Апробация работы. Материалы диссертации доложены на 2 конференциях, опубликованы в 3 печатных работах. На разработанные стеклокерамические материалы получены 2 положительных решения на выдачу патентов.

Объём работы. Материалы диссертации изложены на 193 страницах машинного текста, включая 10 таблиц, 49 рисунков. Список использованной литературы включает 218 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

I. Обзор литературы

В настоящее время в химической промышленности, в автомобилестроении и других отраслях традиционно используются раз-

личные металлические материалы. Однако они имеют недостаточную износостойкость и быстро изнашиваются, особенно в условиях повышенных нагрузок и трения. Высокой износостойкостью обладают твёрдые сплавы, но они имеют высокую стоимость и дефицитны. Очень перспективным материалом является керамика, использование которой в последнее время расширяется. Высокой износостойкостью обладают керамические материалы на основе SiC , Si_3N_4 , TiC , ZrO_2 , ALUMINALON. Однако стоимость этих материалов также высока. Поэтому сравнительно низкая стоимость керамики на основе Al_2O_3 в сочетании с высокой износостойкостью и другими физико-механическими свойствами обеспечили наиболее широкое её применение. Главным недостатком алюмооксидной керамики является её высокая температура спекания - выше $1700^{\circ}C$. Для снижения температуры спекания обычно используют различные активаторы спекания - MgO , TiO_2 , MnO и др. В последнее время начало распространяться использование стеклообразных добавок, которые обычно понижают температуру спекания, а также одновременно вызывают сокращение роста кристаллов и уменьшение внутрикристаллической пористости. В представленном литературном обзоре рассмотрены вопросы, имеющие непосредственное отношение к разработке новых стеклокерамических материалов. При этом было выявлено, что данные в области создания и свойств стеклокерамических материалов неполны и часто противоречивы: отсутствуют данные об оптимальном соотношении Al_2O_3 -стекло, недостаточно полно освещены вопросы подбора стекла, добавляемого к Al_2O_3 , механизма спекания стеклокерамических материалов, влияния на их свойства дисперсности исходных порошков, различных добавок. Практически отсутствуют работы по изучению механизма их истирания. Анализ литературных данных позволил обосновать цель проведения работы. В задачи исследования входило: разработка состава композиционного стеклокерамического материала на основе Al_2O_3 и ситаллизирующегося стекла, спекающегося при относительно низких температурах и имеющего комплекс высоких физико-механических свойств, прежде всего высокую износостойкость; изучение влияния степени дисперсности исходного порошка Al_2O_3 на спекание материала и его свойства; изучение влияния различных малых добавок на спекание и свойства материала; установление влияния способа получения композиционного стеклокерамичес-

кого материала на его структуру и свойства; изучение механизма истирания полученного стеклокерамического материала и влияния различных факторов на его износ; разработка технологии получения стеклокерамического материала; разработка рекомендаций по использованию разработанного материала.

2. Экспериментальная часть

2.1. Методика исследования. Для производства стеклокерамических материалов использовался тонкомолотый Al_2O_3 /размер зёрен ~ 2 мкм, г. Бокситогорск/, к которому добавляли синтезированные стёкла. Синтез стёкол производился путём сплавления шихт, приготовленных из реактивов квалификации "чда" и обогащённого кварцевого пеока, в корундизовых тиглях в газовой пламенной печи. Стекло варилось при температуре 1500–1600 °С с выдержкой 2–3 часа. Температура выработки 1380–1450 °С. Сваренное стекло частично выливалось на стальную плиту, а остальная стекломасса выливалась в воду для получения стеклогранулята. Высушенный при 120 °С стеклогранулят подвергался помолу в шаровой мельнице до удельной поверхности 600–650 м²/кг. Затем полученный порошок смешивали с порошком Al_2O_3 в определённых пропорциях. Образцы готовили по различным технологиям, которые подробно рассматриваются в разделе 2.8. Спекание образцов проводили в высокотемпературной электрической печи с нагревателями из хромита лантана в воздушной среде при температуре 1400–1600 °С.

Кристаллизационная способность стёкол изучалась методом градиентной кристаллизации в интервале от 600 до 1200 °С с выдержкой в течение 4 часов. Температура начала размягчения определялась методом погружения острия стержня под нагрузкой 100 г, которое оценивалось индикатором часового типа с ценой деления 0,002 мм. Водопоглощение, открытая пористость, кажущаяся плотность стеклокерамического материала определялись по ГОСТу 2409–80 методом насыщения и гидростатического взвешивания. Линейная усадка определялась по ГОСТу 5402–81. Предел прочности на изгиб измерялся на испытательной машине Р-05. Предел прочности на сжатие измерялся на прессе Р-5 с самопишущим устройством. Точность измерения силы составила $\pm 5\%$. Износостойкость определялась на машине трения МТ-1 по глубине лунки, образующейся при взаимодействии вращающегося диска из

сплава R 18 с закреплённым неподвижно образцом при прижимающем усилии 50Н и скорости вращения шпинделя 9600 об/мин в течение 5 и 15 минут. Точность измерения длины лунки составила $\pm 1 \cdot 10^{-8}$ м. Кроме того износостойкость измерялась на специально спроектированных установках, описанных в разделе 2.5. Профиль поверхности изучался с помощью профилограмм, которые снимались на профилографе-профилометре "Калибр-232" с вертикальным увеличением в 50000 раз и горизонтальным увеличением в 5000 раз. Температурный коэффициент линейного расширения измерялся в интервале температур 20-300°C на кварцевом dilatометре ДКВ-4 в соответствии с ГОСТ 10978-83. Химическая устойчивость определялась порошковым методом по ГОСТу 10134-83. Термостойкость определялась по ГОСТу 473.5-8 при перепаде температур 1000-20°C по количеству циклов до растрескивания образца. Рентгенофазовый анализ проводился на дифрактометре ДРОН-2 с ионизационной регистрацией рассеяния лучей /излучение $CuK\alpha$ /. Электронно-микроскопическое исследование проводилось на электронном микроскопе УЭМБ-100К методом платиноугольных реплик, следы износа после испытаний изучались в растровом электронном микроскопе РЭМ-100У с напылением хромом. Дефектность структуры исследовалась методом капиллярной дефектоскопии с использованием люминисцентной жидкости ЛН-6А, светящейся в ультрафиолетовом свете.

2.2. Исследование композиций на основе Al_2O_3 и стёкол различных систем: $SrO - Al_2O_3 - TiO_2 - SiO_2$, $CaO - BaO - Al_2O_3 - TiO_2 - SiO_2 - B_2O_3$, $CaO - BaO - Al_2O_3 - TiO_2 - SiO_2 - Fe_2O_3$, $Na_2O - CaO - MgO - Al_2O_3 - SiO_2 - Cr_2O_3$. Проведённый аналитический обзор позволил установить, что для синтеза композиционных стеклокерамических материалов необходимо использовать ситаллизирующиеся стёкла. В данном исследовании использовались стёкла систем: $SrO - Al_2O_3 - TiO_2 - SiO_2$ -стекло 1, $CaO - BaO - Al_2O_3 - TiO_2 - SiO_2 - B_2O_3$ -стекло 2, $CaO - BaO - Al_2O_3 - TiO_2 - SiO_2 - Fe_2O_3$ -стекло 3, $Na_2O - CaO - MgO - Al_2O_3 - SiO_2 - Cr_2O_3$ -стекло 4, при кристаллизации которых при термообработке образуются износостойкие и жаростойкие кристаллические фазы: стронциевый анортит $SrAl_2Si_2O_8$, β -цельзиан $BaAl_2Si_2O_8$, рутил TiO_2 и диопсид $CaMgSi_2O_6$. При этом кристаллизация всех вышеназванных стёкол начинается ниже 900°C, а в композиции с Al_2O_3 ситаллизация стёкол начинается при ещё более низких температурах -

700°C для стекла 2, т.к. зёрна Al_2O_3 играют роль инициаторов кристаллизации. Такая частичная стимулированная поверхностными контактами кристаллизация при низких температурах термообработки препятствует деформации в процессе спекания и делает возможной высокую скорость спекания.

Исследование свойств-износостойкости, плотности, прочности при сжатии-стеклокерамических материалов с различным содержанием стекла показало, что максимальные свойства характерны для материалов, содержащих 20% стёкол 2,3 или 4 и 40% стекла I. При этом композиции со стеклом I проявляют очень низкие физико-механические свойства, а композиции со стеклом 3 склонны к образованию крупнопористого материала. Следовательно, использование этих стёкол в композиции с Al_2O_3 нецелесообразно. Поэтому в дальнейшем рассматривались только композиции, содержащие стекло 2 или стекло 4.

2.3. Выбор оптимальных состава и режима спекания композиционных стеклокерамических материалов. Для определения оптимальных состава и режима спекания стеклокерамических материалов использовалось математическое планирование эксперимента, которое позволяет получить максимум информации при минимуме экспериментальных исследований. В качестве факторов варьирования были выбраны: содержание стекла в композиционном материале (X), температура спекания (T), выдержка при температуре спекания (t). Данные факторы изменялись в следующих интервалах: содержание стекла в композиционном материале — от 10% до 30%, температура спекания — от 1400°C до 1600°C, выдержка — от 30 минут до 90 минут. Т.к. целью работы являлось получение износостойких и высокопрочных материалов, то в качестве параметров оптимизации были выбраны износостойкость и прочность при сжатии.

Исследования проводились в соответствии с полным факторным экспериментом типа 2^3 . Однако проверка полученных при этом уравнений регрессии по критерию Фишера показала, что они неадекватно описывают эксперимент. Следовательно, можно предположить, что в исследуемой области находится экстремум, т.к. в области экстремума поверхность отклика имеет значительную кривизну. Вследствие этого линейный план был достроен до композиционного ротатабельного плана второго порядка Бокса-Хантера путём добавления "звёздных точек" и постановки до-

полнительных опытов в центре плана. В результате расчётов и после исключения незначимых коэффициентов были получены следующие уравнения регрессии:

1. Для композиции, содержащей стекло 2:

$$\begin{aligned} \hat{y}_1 &= 3,009 + 0,344x_1 + 1,424x_2 + 1,504x_3 + 2,732x_1^2 + 0,265x_2^2 + 1,418x_3^2 \\ \hat{y}_2 &= 810 - 80x_1 - 30x_2 - 50x_3 + 30x_1x_2 - 210x_1^2 - 110x_2^2 - 60x_3^2 \end{aligned}$$

2. Для композиции, содержащей стекло 4:

$$\begin{aligned} \hat{y}_1 &= 0,811 + 0,139x_1 + 0,403x_2 + 0,398x_3 + 0,743x_1^2 + 0,417x_2^2 + 0,096x_3^2 \\ \hat{y}_2 &= 440 - 40x_1 - 50x_2 - 60x_3 - 80x_1^2 - 30x_2^2 \end{aligned}$$

где \hat{y}_1 — износостойкость, \hat{y}_2 — предел прочности при сжатии, x_1 — x_1 , x_2 — T , x_3 — τ .

Проверка адекватности по критерию Фишера показала, что данные уравнения адекватно описывают эксперимент.

Затем путём решения системы уравнений в частных производных:

$$\begin{cases} \partial y / \partial x_1 = 0 \\ \partial y / \partial x_2 = 0 \\ \partial y / \partial x_3 = 0 \end{cases}$$

были найдены координаты оптимума: для композиции со стеклом 2, которая имеет более высокие физико-механические свойства и потому считается оптимальной, для получения материала с максимальной износостойкостью $x_1=19,7\%$, $T=1486^\circ\text{C}$, $\tau=69$ мин, а для получения материала с максимальной прочностью $x_1=17,9\%$, $T=1504^\circ\text{C}$, $\tau=51$ мин (рис. 1, 2).

Вследствие этого в качестве оптимального был выбран материал, содержащий 19% стекла 2 системы $\text{BaO}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2-\text{SiO}_2-\text{B}_2\text{O}_3$, спечённый при температуре 1500°C с выдержкой 60 минут — материал СК-8-2. Более высокие температуры или длительная выдержка при температуре спекания приводят к образованию более крупных кристаллов корунда, что ведёт к снижению физико-механических свойств стеклокерамического материала. При низких температурах и времени спекания имеет место неполное спекание материала — не достигается нулевое водопоглощение — что также обуславливает невысокие значения прочности и износостойкости исследуемого материала.

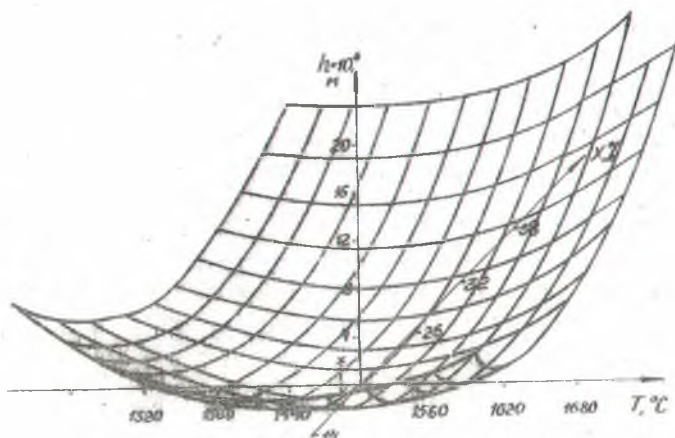


Рис.1. График зависимости износа (глубины лунки h) композиционного стеклокерамического материала от содержания стекла X и температуры спекания (T) при фиксированном оптимальном времени спекания $t = 69$ мин. x - точка, соответствующая максимальной износостойкости.

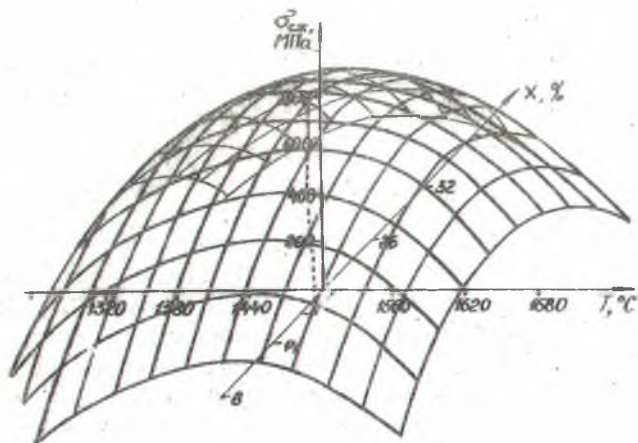


Рис.2. График зависимости прочности на сжатие (σ_{cm}) композиционного стеклокерамического материала от содержания стекла X и температуры спекания (T) при фиксированном оптимальном времени спекания $t = 51$ мин. x - точка, соответствующая максимальной прочности.

2.4. Исследование дефектности структуры стеклокерамических материалов методом капиллярной дефектоскопии. Исследование структуры стеклокерамических материалов методом капиллярной дефектоскопии показало, что оптимальный материал, содержащий 19% стекла 2, спечённый при температуре 1500°C и выдержке 60 минут, имеет бездефектную структуру. Методом капиллярной дефектоскопии не выявлено никаких дефектов—пор, трещин—в ультрафиолетовом свете после пропитки люминесцентной жидкостью Лд-6А наблюдается полностью тёмный бездефектный образец. При меньших значениях данных параметров наблюдается большая пористость (полностью светящийся образец), а при больших—образование трещин (светящиеся полосы на образце).

2.5. Исследование механизма истирания материала оптимального состава. Для исследования влияния различных факторов на износ стеклокерамических материалов были разработаны приборы, позволяющие установить зависимость износа от времени истирания, прижимающего усилия, скорости вращения истирающего диска, присутствия воды, определить коэффициент трения. Установлено, что в присутствии воды износ стеклокерамических материалов замедляется, что, по-видимому, связано с тем, что под действием высокого давления, температуры и сдвиговых напряжений в точках контакта Al_2O_3 взаимодействует с водой, образуя гидроксид алюминия, который, имея слоистую структуру, действует как смазка и уменьшает трение и износ.

Износ стеклокерамического материала растёт пропорционально нагрузке в степени большей единицы, а зависимость между износом q и нагрузкой P имеет вид:

$$q = kP^x$$

где k — постоянный множитель, $x > 1$.

Величина износа также увеличивается при увеличении скорости скольжения, причём в основном за счёт повышения температуры в зоне контакта вследствие трения.

Установлено, что стеклокерамические материалы имеют небольшие коэффициенты трения—от 0,33 до 0,62.

Из профилограмм (рис. 5) и микрофотографий следов износа на поверхности образцов видно, что происходит пластическое отеснение материала в области дорожки трения, что свидетельствует о наличии пластической деформации при трении разработанных стеклокерамических материалов, несмотря на то, что они яв-

ляются хрупкими материалами.

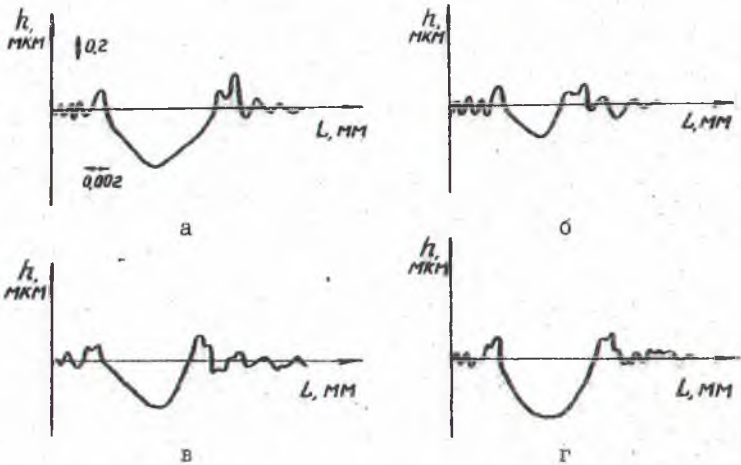


Рис.3.Профилотграммы следа износа на поверхности стеклокерамических образцов:а-содержащего 10% стекла 2,б-содержащего 20% стекла 2(оптимальный состав),в-содержащего 30% стекла 2,г-содержащего 40% стекла 2.

Сравнительный анализ износостойкости разработанного стеклокерамического материала СК-8-2 показывает, что данный материал характеризуется более высокой износостойкостью, чем ситалл или тем более сталь, и приближается к керамике ВК-94-1, имея при этом более низкую температуру спекания—на 200-250°С (рис.4).

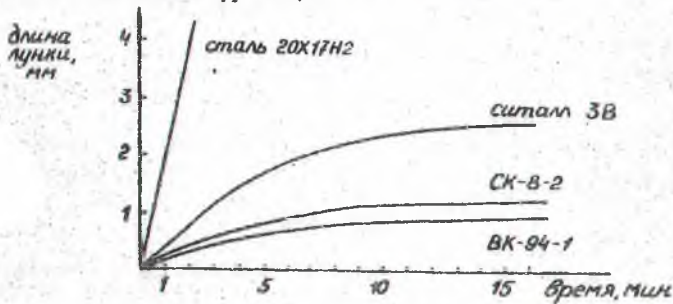


Рис.4.Сравнительная характеристика износостойкости стали, ситалла, керамики и композиционного стеклокерамического материала СК-8-2.

2.6. Исследование влияния степени дисперсности исходного Al_2O_3 на физико-механические свойства стеклокерамического материала. Исследовано влияние замены порошка Al_2O_3 с размером зёрен ~ 2 мкм на ультрадисперсный порошок Al_2O_3 с размером зёрен 0,2-0,4 мкм на спекание и физико-механические свойства стеклокерамического материала. При этом установлено, что максимальные свойства достигаются при 30%-ном содержании ультрадисперсного порошка в общем количестве порошка глинозёма при одновременном снижении температуры спекания до $1400^\circ C$. По-видимому, это связано с тем, что при таком содержании ультрадисперсного порошка, во-первых, достигается максимальная плотность упаковки зёрен порошков и, во-вторых, достигается оптимальное сочетание воздействия двух видов диффузии: диффузии Al_2O_3 в остаточную стеклофазу и диффузии жидкой стеклофазы между частицами Al_2O_3 при повышенных температурах. Однако данные выводы справедливы только при получении образцов полусухим прессованием. При получении же образцов термопластическим прессованием добавление ультрадисперсного порошка приводит к значительному повышению количества пластификатора, необходимого для приготовления шликера, что обуславливает снижение всех физико-механических свойств стеклокерамического материала.

2.7. Влияние различных добавок на свойства композиционного стеклокерамического материала. Исследовано влияние на спекание и свойства стеклокерамического материала таких добавок, как MgO , MnO_2 , TiO_2 , ZrO_2 , Cr_2O_3 , SiC . Положительное влияние на свойства стеклокерамического материала оказывает только Cr_2O_3 , что связано, по-видимому, с образованием твёрдых растворов $Al_2O_3 - Cr_2O_3$. Температура спекания при этом не изменяется.

2.8. Исследование влияния технологии получения стеклокерамического материала на его свойства. Рассмотрены различные технологии получения стеклокерамического материала: полусухое прессование, прессование с наложением ультразвуковых колебаний, прессование с использованием энергии взрыва, термопластическое прессование. Наиболее высокие физико-механические свойства характерны для образцов, полученных прессованием с использованием энергии взрыва и прессованием с наложением ультразвуковых колебаний. Это связано, по-видимому, с получением

наиболее плотной упаковки частиц порошкообразных материалов при данных методах формования. Однако в случае получения малогабаритных образцов сложной конфигурации и точных размеров незаменимым оказывается термопластическое прессование.

3. Опытно-промышленные испытания композиционного стеклокерамического материала и рекомендуемые области его применения

Для промышленных испытаний разработанного композиционно-стеклокерамического материала в Проблемной научно-исследовательской лаборатории стекла и силикатов Белорусского технологического института была изготовлена термопластическим прессованием и передана на испытания на Могилёвское производственное объединение шёлковых тканей партия изделий-нитепроводников (гребёнка-1080) из разработанного материала в количестве 5000 штук. Нитепроводники были использованы в сновальных станках СВ-180 и показали хорошие эксплуатационные свойства, при изучении состояния поверхности деталей после цикла работ, составившего 6 месяцев, не обнаружено признаков износа, ворсистости нитей не наблюдалось, качество нитей хорошее. Экономический эффект от использования партии нитепроводников в 1991 году составил 45,652 тыс. руб. Кроме того, разработанный материал, благодаря своим высоким физико-механическим свойствам, может быть рекомендован для изготовления направляющих упоров лентопротяжного механизма ЭВМ, деталей двигателей в автомобилестроении, прокладок насосов, форсунок гидроциклонов и т.п.

4. Основные результаты и выводы

1. В результате выполненного исследования доказана высокая эффективность создания композиционных материалов на основе кристаллического оксида алюминия и ситаллизирующихся стёкол. Наиболее высокими физико-механическими свойствами обладают композиты, полученные с использованием цельзиановых ситаллов на основе системы $CaO - BaO - Al_2O_3 - TiO_2 - SiO_2 - B_2O_3$. При прочностных свойствах, близких к глинозёмистой керамике ВК-94-1, разработанные композиты синтезируются при температурах 1450-1500°C, что на 200-250°C ниже, чем для глинозёмистой керамики.

2. Установлено, что ситаллизация стекла системы $CaO -$

$BaO - Al_2O_3 - TiO_2 - SiO_2 - B_2O_3$ /стекло ЗВ/ в композите в присутствии зёрен Al_2O_3 начинается при более низких температурах ($700^{\circ}C$ против $850^{\circ}C$ для чистого ситалла). Такая сти- мулированная поверхностными контактами кристаллизация при низких температурах термообработки препятствует деформации в процессе спекания и делает возможной высокую скорость спекания.

3. С помощью математического планирования эксперимента при использовании композиционного ротатабельного плана вто- рого порядка определены оптимальные состав и режим спекания композиционного стеклокерамического материала. Максимальные свойства достигаются в составе, содержащем 19% стекла ЗВ - композит СК-8-2.

4. Исследование процесса истирания стеклокерамического материала подтвердило высокую износостойкость разработан- ного материала. Установлено, что при истирании стеклокерами- ческих материалов имеет место пластическая деформация, не- смотря на то, что они являются хрупкими материалами.

5. Изучено влияние замены порошка Al_2O_3 с размером зё- рен ~ 2 мкм на ультрадисперсный порошок глинозёма со сред- ним размером зёрен $0,2-0,4$ мкм на физико-механические свой- ства стеклокерамического материала СК-8-2. Выявлено, что мак- симальные свойства при одновременном снижении температуры спекания до $1400^{\circ}C$ достигаются при 30%-ном содержании ульт- радисперсного порошка Al_2O_3 в общем количестве глинозёма. Это обусловлено достижением максимальной плотности упаковки и оптимального сочетания двух видов диффузии: диффузии Al_2O_3 в жидкую стеклофазу и диффузии стеклофазы между частицами Al_2O_3 .

6. Получение изделий из материала СК-8-2 по различным технологиям позволило установить, что наиболее высокие фи- зико-механические свойства характерны для образцов, получен- ных прессованием с использованием энергии взрыва и прессо- ванием с наложением ультразвуковых колебаний, что связано с наиболее плотной упаковкой частиц порошкообразных материа- лов при этих методах формования. Однако, при производстве ма- логабаритных изделий сложной конфигурации и точных размеров неизменным оказывается метод термопластического прессова- ния.

7. Установлено, что при получении деталей методом тер-

мопластического прессования добавление ультрадисперсного порошка нецелесообразно, т.к. это ведёт к значительному повышению количества необходимой для приготовления шликера связки, что приводит к повышению усадки и значительному снижению всех физико-механических свойств материала.

8. Исследование влияния различных добавок на свойства стеклокерамического материала показало, что положительное влияние оказывает только введение Cr_2O_3 .

9. Опытные-промышленные испытания, проведённые на Могилёвском ПО шёлковых тканей, подтвердили, что разработанный материал СК-8-2 имеет высокие физико-механические и эксплуатационные свойства и может быть рекомендован для дальнейшего внедрения в качестве деталей ткацкого оборудования. Экономический эффект на одном из предприятий в ценах 1991 года составил 45,652 тыс. руб. Кроме того, разработанный материал может быть рекомендован для изготовления направляющих упоров лентопротяжного механизма ЭВМ, деталей двигателей в автомобилестроении, прокладок насосов и других изделий, работающих в условиях повышенных трения и нагрузок.

Новизна разработанных стеклокерамических материалов подтверждена положительными решениями на выдачу патентов по заявкам №4938424/33 от 22.05.91, и №4896272/33 от 26.12.90.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Залыгина О.С., Бобкова Н.М., Силич Л.М. Использование математического планирования для определения оптимальных состава и режима спекания стеклокерамических материалов // Тез. докл. II Съезда керамического общества СССР. - М., 1991. - с. 87.

2. Залыгина О.С., Бобкова Н.М., Силич Л.М. Прочные износостойкие композиционные стеклокерамические материалы: разработка составов и режимов спекания // Тез. докл. Всесоюзного семинара по проблемам прочности стекла и стеклокристаллических материалов. - Константиновка, 1991. - с. 85.

3. Залыгина О.С., Бобкова Н.М., Силич Л.М. Получение износостойких стеклокерамических материалов // Известия АН БССР. Серия химических наук. - Мн., 1991. - с. III-III4.

4. Бобкова Н.М., Силич Л.М., Залыгина О.С. Стеклокерамический материал / Положительное решение на выдачу авторского свидетельства по заявке №4896272/33 от 26.12.90.

Бобкова Н.М., Силич Л.М., Залыгина О.С. Износостойкий
стеклокристаллический материал/Положительное решение на вы-
дачу патента по заявке №4938424/33 от 22.05.91.

Залы -

Залыгина Ольга Сергеевна

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ И ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ И
ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТЕКЛОКЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Подписано в печать 14.09.92. Формат 60x84^I/16.

Печать офсетная. Усл. печ. л. 1, 17. Усл. кр.-офт. л. 1, 17. Уч.-изд. л. 1, 0.

Тираж 100 экз. Заказ 334

Белорусский ордена Трудового Красного Знамени технологический институт им. С. М. Кирова. 220630. Минск, Свердлова, 13а.

Отпечатано на ротапринте Белорусского ордена Трудового
Красного Знамени технологического института им. С. М. Кирова.
220630. Минск, Свердлова, 13 .