

ISSN 2616-6836

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

BULLETIN

of the L.N. Gumilyov Eurasian
National University

ВЕСТНИК

Евразийского национального
университета имени Л.Н. Гумилева

ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

PHYSICS. ASTRONOMY Series

Серия **ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ**

№2(123)/2018

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Астана, 2018

Astana, 2018

Бас редакторы
ф.-м.ғ. докторы
А.Қ. Арынгазин (Қазақстан)

Бас редактордың орынбасары

А.Т. Ақылбеков, ф.-м.ғ.д., профессор
(Қазақстан)

Редакция алқасы

Алдонгаров А.А.	PhD (Қазақстан)
Балапанов М.Х.	ф.-м.ғ.д., проф. (Ресей)
Бахтизин Р.З.	ф.-м.ғ.д., проф. (Ресей)
Гиниятова Ш.Г.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Даулетбекова А.Қ.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Ержанов Қ.К.	ф.-м.ғ.к., PhD (Қазақстан)
Жұмаділов Қ.Ш.	PhD (Қазақстан)
Здоровец М.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Қадыржанов Қ.К.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Кайнарбай А.Ж.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Кутербеков Қ.А.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Лушик А.Ч.	ф.-м.ғ.д., проф. (Эстония)
Морзабаев А.К.	ф.-м.ғ.к. (Қазақстан)
Мырзақұлов Р.Қ.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Нұрахметов Т.Н.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Сауытбеков С.С.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Тлеукенов С.К.	ф.-м.ғ.д., проф. (Қазақстан)
Усеинов А.Б.	PhD (Қазақстан)

Редакцияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Сатпаев к-сі, 2, 408 б.
Тел.: (7172) 709-500 (ішкі 31-428)
E-mail: vest_phys@enu.kz

Жауапты хатшы, компьютерде беттеген:
А. Нұрболат

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің хабаршысы.
ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

Меншіктенуші: ҚР БжҒМ "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті" ШЖҚ РМК
Мерзімділігі: жылына 4 рет.

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігімен
тіркелген. 27.03.2018ж. №16999-ж тіркеу куәлігі.

Тиражы: 20 дана

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Қажымұқан к-сі, 12/1,
тел.: (7172)709-500 (ішкі 31-428)

Editor-in-Chief
Doctor of Phys.-Math. Sciences
A.K. Aryngazin (Kazakhstan)

Deputy Editor-in-Chief

A.T. Akilbekov, Doctor of Phys.-Math. Sciences,
prof. (Kazakhstan)

Editorial board

Aldongarov A.A.	PhD (Kazakhstan)
Balapanov M.Kh.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, prof. (Russia)
Bakhtizin R.Z.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, prof. (Russia)
Dauletbekova A.K.	Candidate of Phys.-Math. Sciences, PhD (Kazakhstan)
Giniyatova Sh.G.	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
Kadyrzhanov K.K.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, prof. (Kazakhstan)
Kainarbay A.Zh.	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
Kuterbekov K.A.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, prof. (Kazakhstan)
Lushchik A.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, prof. (Estonia)
Morzabayev A.K.	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
Myrzakulov R.K.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, prof. (Kazakhstan)
Nurakhmetov T.N.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, prof. (Kazakhstan)
Sautbekov S.S.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, prof. (Kazakhstan)
Tleukenov S.K.	Doctor of Phys.-Math. Sciences, prof. (Kazakhstan)
Useinov A.B.	PhD (Kazakhstan)
Yerzhanov K.K.	Candidate of Phys.-Math. Sciences, PhD(Kazakhstan)
Zdorovets M.	Candidate of Phys.-Math. Sciences (Kazakhstan)
Zhumadilov K.Sh.	PhD (Kazakhstan)

Editorial address: 2, Satpayev str., of.408, Astana, Kazakhstan, 010008
Tel.: (7172) 709-500 (ext. 31-428)
E-mail: vest_phys@enu.kz

Responsible secretary, computer layout:
A.Nurbolat

Bulletin of the L.N. Gumilyov Eurasian National University.
PHYSICS. ASTRONOMY Series

Owner: Republican State Enterprise in the capacity of economic conduct "L.N. Gumilyov Eurasian National University"

Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan

Periodicity: 4 times a year

Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan.

Registration certificate №16999-ж from 27.03.2018.

Circulation: 20 copies

Address of printing house: 12/1 Kazhimukan str., Astana, Kazakhstan 010008;

tel.: (7172) 709-500 (ext. 31-428)

Главный редактор
доктор ф.-м.н.
А.К. Арынгазин (Казахстан)

Зам. главного редактора

А.Т. Акилбеков, доктор ф.-м.н.
профессор (Казахстан)

Редакционная коллегия

Алдонгаров А.А.	PhD (Казахстан)
Балапанов М.Х.	ф.-м.н., проф. (Россия)
Бахтизин Р.З.	ф.-м.н., проф. (Россия)
Гиниятова Ш.Г.	кандидат ф.-м.н. (Казахстан)
Даулетбекова А.К.	кандидат ф.-м.н., PhD (Казахстан)
Ержанов К.К.	кандидат ф.-м.н., PhD (Казахстан)
Жумадилов К.Ш.	доктор PhD (Казахстан)
Здоровец М.	к.ф.-м.н. (Казахстан)
Кадыржанов К.К.	ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Кайнарбай А.Ж.	кандидат ф.-м.н. (Казахстан)
Кутербеков К.А.	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Лущик А.Ч.	ф.-м.н., проф. (Эстония)
Морзабаев А.К.	кандидат ф.-м.н. (Казахстан)
Мырзакулов Р.К.	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Нурахметов Т.Н.	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Сауытбеков С.С.	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Тлеукенов С.К.	доктор ф.-м.н., проф. (Казахстан)
Усеинов А.Б.	PhD (Казахстан)

Адрес редакции: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2, каб. 408
Тел.: (7172) 709-500 (вн. 31-428)
E-mail: vest_phys@enu.kz

Ответственный секретарь, компьютерная верстка:
А. Нурболат

Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева.
Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

Собственник РГП на ПХВ "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева" МОН РК

Периодичность: 4 раза в год

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан.

Регистрационное свидетельство №16999-ж от 27.03.2018г.

Тираж: 20 экземпляров

Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Кажимукана, 12/1,
тел.: (7172)709-500 (вн. 31-428)

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ
ХАБАРШЫСЫ. ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ сериясы

№2(123)/2018

МАЗМҰНЫ

ФИЗИКА

<i>Амангелді Н., Темербаев А.А., Аймаганбетов А.С., Мәуей Б., Көк Е., Ергалиұлы Ғ., Ақылбекова А.А., Жұмасейіт А.Ғ.</i> Ядролық физика эксперименттеріне жұқа қатты мақсаттарды қабылдау және қолдану	8
<i>Амангелді С.О., Корольков И.В., Здоровец М.В.</i> Мембраналық дистилляция процесіне арналған тректі мембраналарды кремний нанобөлшектерімен түрлендіру	15
<i>Жұмадилов Қ.Ш., Абышев Б.К., Оразалина И.С., Иса Ж.Қ.</i> Тіс эмалін ЭПР әдісімен зерттеу арқылы уранөндіруші кәсіпорын қызметкерлерінің ішкі альфа-сәулелену дозасын бағалау	21
<i>Ыбыраев Н.С., Усеинов А.Б., Ақылбеков А.Т., Здоровец М.В., Оралбеков Н.Б., Дукенов А.Б.</i> CRYSTAL бағдарламасын қолдана отырып ZnO-дағы зарядталған дефектілерді <i>ab-initio</i> есептеулер	27
<i>Ыбыраев Н.С., Усеинов А.Б., Ақылбеков А.Т., Здоровец М.В., Дукенов А., Оралбеков Н.Б.</i> ZnO кристалдарындағы акцепторлық қоспалардың зарядты өтілу деңгейлері. Бірінші қағидалардан есептеулер.	33
<i>Саттинова З.К., Жапбасбаев У.К., Рамазанова Г.И., Асылбеков Б.К., Омирбаева А.О.</i> Бериллий тотығы ұнтағы мен шликерлік құю әдісімен бериллий керамикасын алудың технологиялық ерекшеліктері	41
<i>Тогабаев Е.Т., Өтепбергенова Л.М., Молдабаева Г.Н.</i> Минералданған суды тұссыздандырудың технологиялық сұлбасын өңдеу және қондырғының инженерлік есебінің материалдық балансын құрастыру	50

BULLETIN OF L.N. GUMILYOV EURASIAN NATIONAL UNIVERSITY. PHYSICS.
ASTRONOMY SERIES

№2(123)/2018

CONTENTS

PHYSICS	
<i>Amangeldi N., Temerbayev A.A., Aimagambetov A.S., Mauey B., Kok Ye., Yergaliuly G., Akylbekova A.A., Zhumasseit A.G</i> Producing and application of thin solid targets for nuclear physics experiments	8
<i>Amangeldi S.O., Korolkov I.V., Zdorovets M.V.</i> Modification of Track Membranes by Silicon Nanoparticles for Membrane Distillation	15
<i>Zhumadilov K.Sh., Abyshov B.K., Orazalina I.S., Isa Zh.K.</i> Estimates of doses of internal alpha-irradiation of uranium mining enterprise personnel by using EPR spectroscopy of tooth enamel	21
<i>Ybyraev N.S., Usseinov A.B., Akilbekov A.T., Zdorovets M.V., Oralbekov N.B., Dukenov A.B.</i> Ab-initio calculation of charged defects in ZnO using the program CRYSTAL	27
<i>Ybyrayev N.S., Usseinov A.B., Akylbekov A.T., Zdorovets M.V., Dukenov A.B., Oralbekov N.B.</i> Levels of the charge transition of acceptor impurities in ZnO crystals. Calculations from the first principles.	33
<i>Sattinova Z.K., Zhapbasbaev U.K., Ramazanova G.I., Asilbekov B.K., Omirbayeva A.O.</i> Technological peculiarities of obtaining of powders BeO and beryllium ceramics by method of casting slurry	41
<i>Togabayev E.T., Utepbergenova L.M., Moldabayeva G.N.</i> Development of technological desalination schememineralized water and material balance for engineering calculation of the installation	50

ВЕСТНИК ЕВРАЗИЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМЕНИ Л.Н.ГУМИЛЕВА. Серия ФИЗИКА. АСТРОНОМИЯ

№2(123)/2018

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИКА	
<i>Амангелді Н., Темербаев А.А., Аймаганбетов А.С., Мәуей Б., Көк Е., Ергалиұлы Ғ., Ақылбекова А.А., Жұмасейіт А.Ғ.</i> Получение и применение тонких твердотельных мишеней для ядерно-физических экспериментов	8
<i>Амангелди С.О., Корольков И.В., Здоровец М.В.</i> Модификация трековых мембран наночастицами кремния для мембранной дистилляции	15
<i>Жумадилов К.Ш., Абышев Б.К., Оразалина И.С., Иса Ж.К.</i> Оценки доз внутреннего альфа-облучения персонала уранодобывающего предприятия по эмали зубов методом ЭПР спектроскопии	21
<i>Ыбыраев Н.С., Усеинов А.Б., Ақылбеков А.Т., Здоровец М.В., Оралбеков Н.Б., Дукенов А.Б.</i> Ab-initio вычисления заряженных дефектов в ZnO с использованием программы CRYSTAL	27
<i>Ыбыраев Н.С., Усеинов А.Б., Ақылбеков А.Т., Здоровец М.В., Дукенов А.Б., Оралбеков Н.Б.</i> Уровни зарядового перехода акцепторных примесей в кристаллах ZnO. Расчеты из первых принципов	33
<i>Саттинова З.К., Жапбасбаев У.К., Рамазанова Г.И., Асылбеков Б.К., Омирбаева А.О.</i> Технологические особенности получения BeO и бериллиевой керамики методом шликерного литья	41
<i>Тогабаев Е.Т., Утепбергенова Л.М., Молдабаева Г.Н.</i> Разработка технологической схемы обессоливания минерализованных вод и составление материального баланса для инженерного расчета установки	50

МРНТИ 53.07.11

З.К. Саттинова¹, У.К. Жапбасбаев², Г.И. Рамазанова², Б.К. Асылбеков²,
А.О. Омирбаева¹

¹ Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казakhstan

² Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казakhstan

(E-mail: ¹ sattinova zamira@mail.ru, ¹ a.omirbaeva@mail.ru, ² gaukhar iz ram@mail.ru)

Технологические особенности получения ВеО и бериллиевой керамики методом шликерного литья

Аннотация: статье приведена технология получения порошка оксида бериллия и керамических изделий на основе оксида бериллия. Для получения и улучшения качества керамических изделий и повышения производительности литья на практике применялась эффективная высокопроизводительная технология - обработка термопластичного шликера ультразвуковым воздействием. На стадии формования литейная способность шликера зависит от вязкости и предела текучести шликера. Определены зависимости консистенции шликеров от объемного содержания твердой фазы при разных температурах.

Проведен анализ экспериментальных исходных данных для построения корректной модели литейных процессов. В процессе анализа были построены зависимости вязкости, предела текучести и плотности термопластичного шликера от температуры для его различных составов.

Ключевые слова: термопластичный шликер, дисперсная система, усадка, твердая фаза, органическая связка, высокодисперсная система.

Бериллиевое производство Казахстана ("Ульбинский металлургический завод") является одним из трех предприятий в мире, которое имеет полный производственный цикл от переработки рудного концентрата до выпуска готовой продукции с заданными параметрами качества. Предприятие выпускает металлический бериллий различной степени очистки, бериллиевые порошки, бериллиевую бронзу, лигатуры, керамические изделия на основе оксида бериллия.

Получение бериллия из руды трудоемкий процесс по причине его высокой активности к кислороду при повышенных температурах. Бериллий производится из берилла, которого относятся бериллийсодержащим минералам. Из всех бериллийсодержащих минералов берилл является наиболее трудно вскрываемым. В результате вскрытия бериллиевого сырья можно получить гидроксида бериллия, либо основной карбонат бериллия.

Для получения порошков гидроксида и основного карбоната бериллия используют берил $Be_3Al_2Si_6O_{18}$, хризоберилл $BeAl_2O_4$ и фенакит Be_2SiO_4 . Содержание в них оксида бериллия составляет от 10 до 46 мас.% [1]. Оксид бериллия обычно получают прокаливанием гидроксида или основного карбоната бериллия. Исходный гидроксид бериллия содержит влагу, CO_2 , SO_3 , бериллий в виде $Be(OH)_2$ и $BeCO_3$, а также ряд таких примесей, как Al , Ca , Fe , Ni , Mg , Cr . Во вращающейся печи его прокаливают при температуре 773К в течение 4-5 часов. В процессе термообработки улетают влага, органические вещества, CO_2 , SO_3 . После этой процедуры содержание бериллия повышается незначительно, т.е. с 11-12 до 17-20 мас.%. Затем конгломерат слабопрокаленного оксида бериллия измельчают и прессуют в цилиндры и прокаливают при температуре 1470К в течение 12 часов. Влага и часть других примесей удаляются, и содержание бериллия повышается до 28-32 мас.%. Далее проводится химическая очистка низко прокаленного оксида бериллия. После химической очистки полученного продукта перекачивают в виброуплотнители, а затем в большие тигли, сушат и вторично термообработывают при температуре 1470К, а потом снова измельчают. Далее порошок подвергают уплотнению в вибробарабане с шарами из оксида бериллия. В вибробарабане микрокристаллы ВеО превращаются в мельчайшие гранулки. После виброуплотнения порошок ВеО рассеивается на двух ситах на фракции до 0,315 и от 0,315 до 1 мм. Перед рассевом партии порошков массой 50 г сушит в течение 4 часа при температуре 373 К.

Рассев каждой партии продолжается в течение 15 мин, после чего производит гранулометрический анализ конгломератов порошка [1]. Порошок до 0,315 мм поступает на полусухое прессование, а больше от 0,315 мм на приготовление термопластичных шликеров. Для приготовления шликеров используется порошок оксида бериллия, полученный по штатной технологии на серийном производстве (ОАО «УМЗ», г. Усть-Каменогорск) из гидроксида

бериллия [2]. Порошок оксида бериллия имеет гранулометрический состав по фракциям. Этот состав порошка ВеО показывает удовлетворительные литейные свойства шликера при изменении массовой доли связки от $\omega = 0,095$ до $\omega = 0,117$. В случае увеличения в составе порошка более мелких фракций (ВеО) растет требуемое количество связки ω . При увеличении в составе порошка более крупных фракций (ВеО) происходит прокрашивание керамики, что указывает на наличие микропор и трещин.

На гранях микрокристаллов оксида бериллия, в слоях происходят важные физико-химические процессы, такие как адсорбция, изменение поверхностной энергии и др. Поэтому дисперсность порошка оксида бериллия значительно влияет на процесс литья бериллиевой керамики [3]. С ростом дисперсности повышается роль поверхностных явлений в системе. Поверхностные явления обусловлены тем, что молекулы, находящиеся в поверхностных слоях двухфазных систем, обладают избытком энергии по сравнению с молекулами, расположенными в объеме фазы. Энергия системы G состоит из энергии объема фазы G_V и поверхностной энергии G_s :

$$G = G_V + G_s \quad (5)$$

Если в системе не происходит никаких химических превращений, то энергия объема фазы не изменяется и уменьшение энергии системы происходит только за счет снижения поверхностной энергии. Поверхностная энергия границы раздела фаз зависит от поверхностного натяжения на этой границе σ и площади межфазной поверхности S :

$$G_s = \sigma S \quad (6)$$

Переходя от бесконечно малых изменений поверхностного натяжения $d\sigma$ и площади межфазной поверхности системы ds к конечным $\Delta\sigma$, Δs , получим следующее выражение:

$$\Delta G_s = \sigma \Delta S + s \Delta \sigma \quad (7)$$

Из уравнения видно, что уменьшения поверхностной энергии происходит за счет снижения поверхностного натяжения и сокращения площади поверхности раздела фаз. Сокращение площади межфазной поверхности происходит в результате коагуляции, коалесценции, изотермической перегонки, а также ряда других поверхностных явлений.

Основой для рассмотрения с единых физико-химических позиций различных типов дисперсных систем является характерное для них сочетание двух общих особенностей: сильно развитой межфазной поверхности и большой концентрации дисперсной фазы. При таком сочетании в концентрированных системах самопроизвольно возникают термодинамические устойчивые пространственные структуры, образуемые взаимодействием частиц дисперсной фазы между собой [3].

Объемно-фазовые характеристики высококонцентрированной системы.

Термопластичный шликер – высококонцентрированная суспензия – представляет собой трехфазную дисперсную систему: твердая минеральная фаза – порошок оксида бериллия; жидкая фаза – органическая связка; газовая фаза – состоит из воздуха, механически захваченного при перемешивании, и воздуха, заключенного в минеральных частицах порошка. Основные характеристики шликера приведены в таблице 1.

Таблица 1. Основные характеристики шликера

Потери при прокал., %	Вязкость, пуаз	Литейная способность, сек ⁻¹	Примечание
9,5	89	23	Состав с минимальным содержанием связки (минимальное количество связки, обеспечивающее возможность образования литейной системы)
10,0	62	35	Промежуточный состав

10,7	48	55	Промежуточный состав
11,2	27	72	Промежуточный состав
11,7	22	98	Состав с максимальным содержанием связки.

Для получения керамических изделий применялся термопластичный шликер с разным содержанием органической связки: 9,5; 10,7 и 11,7%. Перед приготовлением шликера порошок просушивается при $120 \div 140$ °С в течение 24 часов. Просушенного порошка и предварительно разогретую до температуры $80 \div 82$ °С связку загружают в реактор со скоростью $6 \div 7$ кг/мин. Время перемешивания при постоянном вакуумировании составляет $18 \div 24$ ч [3-4].

Бак установки литья заливается термопластичным расплавленным шликером, таким образом, литейная форма заполняется под давлением. Существующий метод формования, включающий в себя стадии заполнения формообразующей полости и выдержки под давлением, недостаточно эффективен для получения ряда изделий сложной формы (толстостенных, многоканальных, сложнофасонных и т.п.). Неэффективность процесса литья выражается в сложности управления деформационным поведением отливки в температурном интервале $40 - 59$ °С, в котором происходит до 80% объемных изменений, связанных в первую очередь с теплофизическими свойствами оксида бериллия, в частности с его уникальной теплопроводностью и усадкой шликера – с основной технологической задачей на этапе отвердевания [4-5]. Высокая теплопроводность дисперсной среды затрудняет управление структурообразованием полуфабриката при литье. В процессе литья при $40 - 59$ °С изменяются объемно-фазовые характеристики высокотеплопроводной дисперсной системы и объем жидкой фазы возрастает. Увеличение объема жидкой фазы для придания необходимых литейных свойств шликеру не позволяет добиться требуемого эффекта, так как при обжиге «дополнительное» количество связки приводит к появлению структурных дефектов и деформации изделий. Не способствует к желаемому результату также и применение технологических приемов, связанных с повышением температуры и давления. Усадка, уменьшение объема при охлаждении и затвердевании, свойство литейной системы. В процессе горячего литья снижение объема шликера должно компенсироваться притоком шликера под давлением. Однако на стадии отвердевания при температуре ниже 55 °С, когда происходит основная часть объемных изменений, шликер находится в твердопластичном состоянии. Миграционный механизм компенсации усадки будет работать только в слое жидкого шликера, а на границе раздела жидкой и твердой фаз неполная компенсация внутренней усадки является причиной внутренних дефектов. Полная компенсация внутренней усадки достигается с помощью механизма пластической деформации отвердевающего слоя шликера в формообразующем объеме литейной формы под действием градиента давления, возникающего вследствие ультразвуковых колебаний [5].

Состав и свойства дисперсных систем характеризуются определенным соотношением концентрации твердой C_v , жидкой C_w фаз, критической концентрацией твердой фазы в системе $C_v^{кр}$, долей кинетически свободной $C_{КСВОБ}$ и кинетически связанной $C_{КСВЯЗ}$ жидкости [4]. Концентрации C_v и C_w определяются по соотношениям:

$$C_v = \frac{(V_{шл} - V_{св})}{V_{шл}}, C_w = 1 - C_v \quad (8)$$

$$C_w = \frac{V_{шл} - V_{тв}}{V_{шл}} \quad (9)$$

где $V_{св}$ и $V_{тв}$ - объемы жидкости и твердого компонента в суспензии; $V_{шл}$ - истинный объем литейной системы, который находится из выражения

$$V = \frac{m_{шл}}{\rho_{шл}} = \frac{m_{тв}}{\rho_{тв}} + \frac{m_{св}}{\rho_{св}}, \frac{m_{св}}{m_{шл}} = \omega \quad (10)$$

Подставляя $V_{шл}$ в формулу (??), получаем выражение C_v относительно плотности твердой фазы и связки:

$$C_v = 1 - \frac{\omega \rho_{ТВ}}{(1 - \omega) \rho_{СВ} + \omega \rho_{ТВ}} \quad (11)$$

где ω относительное массовое содержание связки, доли ед.

Представленные на рисунке 1 зависимости консистенции k от объемной концентрации твердой фазы C_v показывают неодинаковое изменение консистенции системы k в зависимости от C_v для разных температур.

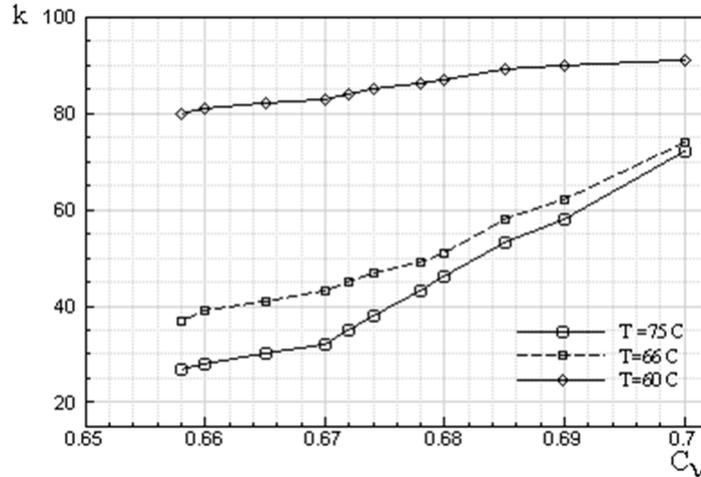


Рисунок 1. – Зависимости консистенции шликеров от объемного содержания твердой фазы при разных температурах

В опытах обычно определяются объемные концентрации, и связь массовой и объемной концентрации находится как:

$$\omega = \left(\frac{C_w M_w}{C_w M_w + C_v M_v} \right) C_w \quad (12)$$

где M_w , M_v молекулярные массы связки и оксида бериллия соответственно. Критическая концентрация твердой фазы в шликере $C_v^{кр}$ равна относительной плотности твердой фазы в осадке, полученной после 60 мин центрифугирования шликера при температура 90°C :

$$C_v = (\rho_{отн}) (1 - \alpha_0) \quad (13)$$

Переход от исходной объемной концентрации твердой фазы C_v в состояние $C_v^{кр}$ сопровождается уменьшением ее объема вследствие удаления в поровый объем кинетически свободной жидкости $C_{КСВОБ}$. Уменьшение объема при структурообразовании называется объемной усадкой α_0 и определяется следующим образом:

$$\alpha_0 = \left(\frac{C_v^{кр}}{\rho_{отн}} - 1 \right) \quad (14)$$

Одной из важнейших задач литейной системы при формировании являются правильный подбор дисперсионной среды (связки), управление деформационным поведением и получение меньшей доли связанной жидкости [4]. Дисперсионная среда в системе $C_w = 1 - C_v$ состоит из кинетически свободной $C_{КСВОБ}$ и кинетически связанной $C_{КСВЯЗ}$:

$$C_w = C_{КСВОБ} + C_{КСВЯЗ} \quad (15)$$

Объемная доля кинетически свободной жидкости в системе тем меньше, чем ближе объемная доля суспензии к критической, и определяется по выражению

$$C_{КСВОБ} = 1 - n_v \quad (16)$$

где n_v - относительная степень концентрации, $n_v = \frac{C_v}{C_v^{кр}}$.

Уменьшение вязкости шликеров при продолжительности УЗ обработки свыше $t > 5$ мин связано с интенсивными массообменными процессами на границе раздела между твердой фазы и дисперсионной среды. Процесс массообмена способствует более интенсивной адсорбции олеиновой кислоты и воска на этой границе, который приводит к снижению вязкости и предельного напряжения сдвига. Некоторое возрастание вязкости при более продолжительном воздействии 15 – 30 мин на литейные системы ультразвуком отмечено преимущественно у «холодных» шликеров менее 63°C , которое связано с диспергацией кристаллитов предельных углеводов, слагающих парафин. Это вызывает снижение доли в объеме граничных слоев олеиновой кислоты и компонентов воска за счет их миграции к диспергированным кристаллитам углеводов с более высокой молекулярной массой. Особенностью ультразвукового воздействия на термопластичный шликер является эффект обратимости вязкости, т.е. уменьшение вязкости под действием ультразвука и восстановление ее исходного значения при прекращении такого воздействия. Такое поведение шликера позволяет его отнести к вязкопластичным жидкостям Шведова-Бингама с тиксотропным характером течения. Для описания реологического свойства шликера используется реологическая модель Шведова-Бингама

$$\tau = \tau_0 + \mu \frac{\partial u}{\partial r} \quad (17)$$

где τ – напряжение сдвига; τ_0 – предел текучести; μ – коэффициент пластической вязкости. Указанное уравнение наиболее достоверно описывает структурно-деформационное поведение термопластичного шликера тиксотропного характера течения. Реологические параметры τ , τ_0 , μ шликерной массы определены экспериментальным путем в исследуемом диапазоне температур в производстве керамических изделий ТОО «Керамика». Величины пластической вязкости и предела текучести шликера зависят от температуры, и по мере охлаждения шликерной массы при литье происходит агрегатное изменение жидкой суспензии в твердопластичное состояние. Результаты обработки экспериментального исследования показывают, что с помощью общего биномиального реологического уравнения (??) можно аппроксимировать кривые течения исследуемой системы с высокой степенью точности в широком диапазоне градиента скорости сдвига.

Для определения оптимального технологического режима с высокой производительностью литья с помощью автоматизированной системы необходимо исследовать и провести подробный анализ взаимозависимости между основными физическими, технологическими и конструктивными параметрами исходного материала. Поэтому важнейшим элементом создания математической модели гидродинамики и тепломассообмена процесса литья является изменение реологических и теплофизических свойств (вязкости, предела текучести, теплопроводности, теплоемкости и плотности). От изменения реологических свойств шликера в диапазоне температур зависит правильность всей процедуры исследования затвердевания термопластичного шликера. Реологические характеристики шликера вязкость и предел текучести $\mu(T)$, $\tau_0(T)$ для трех систем по разным содержаниям связки зависят от температуры по экспоненциальному закону. Кривые $\mu(T)$, $\tau_0(T)$, снятые на вискозиметрах в исследуемом диапазоне температур до и после УЗ воздействия, аппроксимированы эмпирическими формулами. Изменения пластической вязкости и предельного напряжения по экспоненциальным законам отличаются от экспериментальных данных не более чем на 2% (рисунки 2-5).

На стадии формирования литейная способность термопластичных шликеров зависит от вязкости, а температуры затвердевания и скорости охлаждения обуславливаются их теплопроводностью. Теплопроводность, теплоемкость и теплота кристаллизации являются основными элементами для расчетов технических параметров литья. Важно также учесть изменения этих свойств в зависимости от состава дисперсной фазы, содержания связки и температуры шликеров.

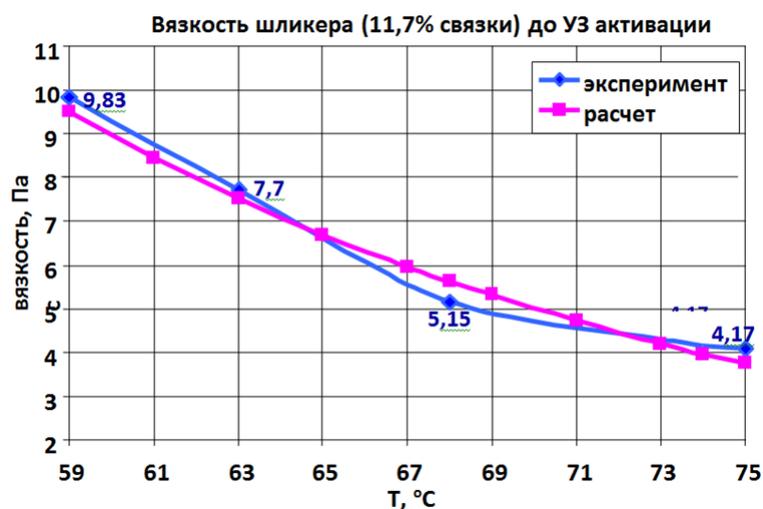


Рисунок 2. – Зависимость вязкости шликера от температуры до УЗ активации

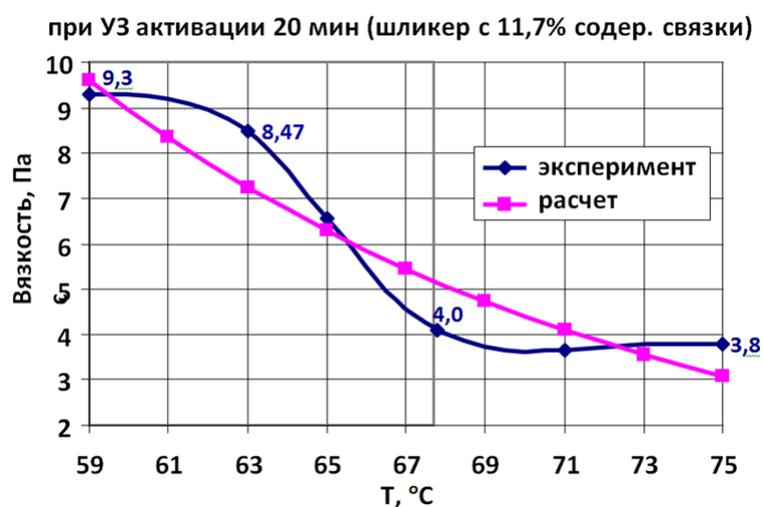


Рисунок 3. – Зависимость вязкости шликера от температуры после УЗ

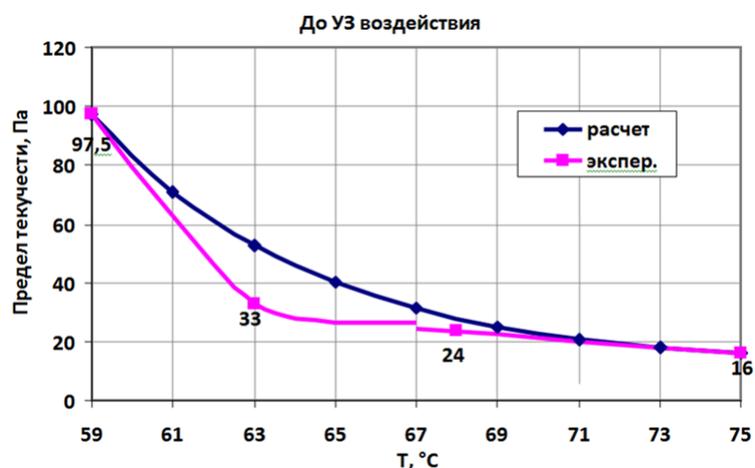


Рисунок 4. – Зависимость предела текучести шликера от температуры до УЗ активации

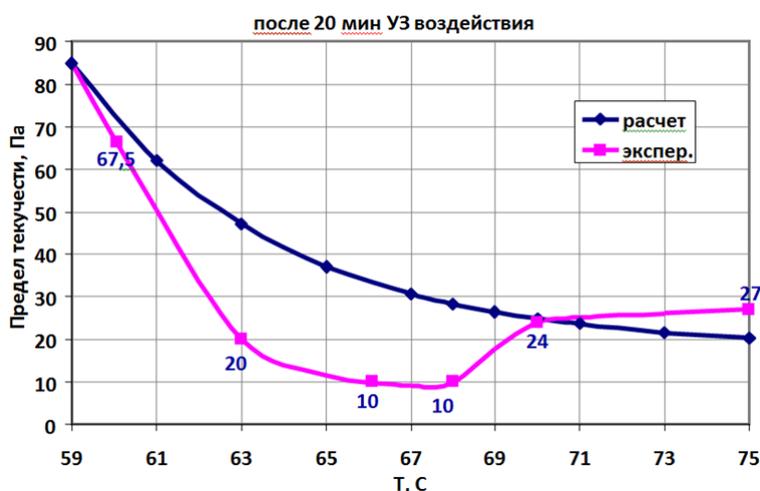
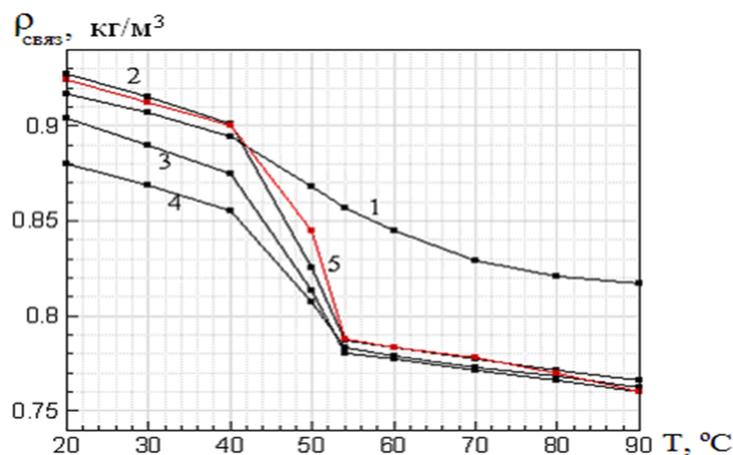


Рисунок 5. – Зависимость предела текучести шликера после УЗ-активации от температуры

Теплофизические свойства термопластичного шликера ρ , c_p , λ определяются содержанием твердой фазы исследуемой дисперсной системы. Для определения реального соотношения твердой и жидкой фазы в литейных системах установлены температурные зависимости плотности связок и их составляющих при температуре $20 \div 95^\circ\text{C}$. Плотность связок при температуре ниже 50°C находилась экспериментальным методом гидростатического взвешивания на специальной установке, состоящей из двух U-образных манометров, установленных в термостатах. Плотность связующих компонентов сильно изменяется при переходе из жидкого состояния в твердое, но при температурах, близких к температуре литья, изменения плотности в зависимости от температуры незначительны. На рисунке 6 приводится график изменения плотности связок и их компонентов от температуры, полученный экспериментальным путем.



1 - воск, 2 - парафин, 3 - 91% парафин+6% воск+3% олеиновая кислота, 4 - 96% парафин+4% воск, 5 - 99% парафин+1% олеиновая кислота

Рисунок 6. – Изменение плотности связок и их компонентов в зависимости от температуры

Итак, проведены анализ влияния ультразвуковой обработки на структурные параметры изделий и подготовка исходных данных для построения корректной модели литейных процессов. Исходные данные - реологические и теплофизические свойства термопластичного шликера оксида бериллия, granulометрический состав по фракциям частиц оксида бериллия, плотность, пластическая вязкость, предельная текучесть, теплопроводность, теплоемкость, концентрация связующего вещества, геометрические размеры фильеры для формования термопластичного шликера оксида бериллия. Конструктивные элементы, технологические параметры и технико-эксплуатационные характеристики процессов формования термопластичных шликеров соответствуют производственным данным.

Список литературы

- 1 Кийко В.С., Макурин Ю.Н. и др. Керамика на основе оксида бериллия. Екатеринбург: УрО РАН, 2006 - 440 с.
- 2 Шахов С.А., Бицоев Г.Д. Применение ультразвука при производстве высокотеплопроводных керамических изделий. - Усть-Каменогорск, 1999 - 145с.
- 3 Пивинский Ю.Е. Объемные фазовые характеристики и их влияние на свойства суспензий и керамических литейных систем // Огнеупоры. - 1982. - №11. - С.50-57.
- 4 Zhapbasbayev U.K., Ramazanova G.I., Sattinova Z. K., Shabdirova A.D. Modeling of the beryllia ceramics formation process// Journal of the European Ceramic Society- 2013- Vol. 33- P. 1403-1411.
- 5 Жапбасбаев У.К., Рамазанова Г.И., Саттинова З.К. Исследование процесса формования бериллиевой керамики методом горячего литья// Теплофизика и аэромеханика. - 2013. - Т. 20. - С. 107-115.

З.К. Саттинова¹, У.К. Жапбасбаев², Г.И. Рамазанова², Б.К. Асылбеков², А.О. Омирбаева¹

¹ Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті Астана, Қазақстан

² К.И.Сатпаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық университеті Алматы, Қазақстан

Бериллий тотығы ұнтағы мен шликерлік құю әдісімен бериллий керамикасын алудың технологиялық ерекшеліктері

Түйіндеме: Мақалада бериллий тотығы ұнтағы мен бериллий керамикасын алудың технологиялық ерекшеліктері келтірілген. Керамикалық өнімдер алу үшін әртүрлі органикалық қоспасы бар термопласт шликері қолданылады. Формалау сатысында термопласт шликерінің құйылу қабілеті осы дисперсті жүйенің тұтқырлығына байланысты. Шликер консистенциясының қатты фазаның көлемдік құрамынан тәуелділігі мен формалау процесінде шликер тұтқырлығының өзгерісі анықталған. Құю процесінің нақты моделін құру үшін эксперимент деректеріне анализ жасалынды. Анализ нәтижесінде шликердің әртүрлі құрамы үшін тұтқырлық, аққыштық шегі мен тығыздығының температурадан тәуелділігі мен өзгерісі алынған.

Түйін сөздер: термопласт шликері, дисперсті жүйе, кеуектік, қатты фаза, органикалық байланыс, жоғары дисперсті жүйе.

Z.K. Sattinova¹, U.K. Zhapbasbayev², G.I. Ramazanova², B.K. Asilbekov², A.O. Omirbayeva¹

¹ L.N.Gumilyov Eurasian national university, Astana, Kazakhstan

² Satbayev Kazakh National Technical University, Almaty, Kazakhstan

Technological peculiarities of obtaining of powders BeO and beryllium ceramics by method of casting slurry

Abstract: The technology of obtaining a powder of beryllium oxide and ceramic products is presented in the article. To obtain and improve of the quality of ceramic products and increase of casting efficiency was used in practice, an effective high-performance technology - processing of thermoplastic slurry by ultrasonic action. At the molding stage the cast ability of thermoplastic slurry depends on the viscosity and yield strength. Dependences of the consistency of slurries on the volume content of the solid phase at different temperatures were determined. The analysis of experimental initial data for the construction of a correct model of casting processes is carried out. During the analysis, the viscosity, yield strength and density of thermoplastic slurry on the temperature were determined for various compositions.

Keywords: thermoplastic slurry, dispersed system, shrinkage, solid phase, organic binder, highly disperse system.

References

- 1 Kiyko V.S., Makurin Yu.N. i dr. Keramika na osnove oksida berilliya [Ceramics based on beryllium oxide],(UrO RAN Ekaterinburg, 2006.-440 p.)[in Russian]
- 2 Shakhov S.A., Bitsoyev G.D. Primeneniye ultrazvuka pri proizvodstve vysokoteploprovodnykh keramicheskikh izdeliy [Application of ultrasound in the manufacture of high-conductivity ceramic products](Ust-Kamenogorsk. 1999-145p.) [in Russian].
- 3 Pivinskiy Yu.E. Obyemnyye fazovyye kharakteristiki i ikh vliyaniye na svoystva suspenziy i keramicheskikh liteynykh sistem [Volumetric phase characteristics and their effect on the properties of suspensions and ceramic casting systems], Ogneupory(11),50-57(1982).
- 4 Zhapbasbayev U.K., Ramazanova G.I., Sattinova Z. K., Shabdirova A.D. Modeling of the beryllia ceramics formation process Journal of the European Ceramic Society, 33, 1403-1411 (2013).
- 5 Zhapbasbayev U.K., Ramazanova G.I., Sattinova Z.K. Issledovaniye protsessa formovaniya beriliiyevoy keramiki metodom goryachego litia [Investigation of the beryllia ceramics molding process by hot casting method], Thermophysics and Aeromechanics, 20, 107-115 (2013).

Сведения об авторах:

Саттинова З.К. -к.ф.-м.н., доцент кафедры теплоэнергетики транспортно-энергетического факультета ЕНУ им.Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

Жапбасбаев У.К. -д.т.н., профессор КазНТУ им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан.

Рамазанова Г.И. -к.ф.-м.н., доцент КазНТУ им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан.

Асылбеков Б.К. -доктор PhD КазНТУ им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан.

Омирбаева А.О. -магистр по специальности "Теплоэнергетика" транспортно-энергетического факультета ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Алматы, Казахстан.

Sattinova Z.K. - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor of the Department Thermal Engineering, L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

Zhapbasbayev U.K.- Doctor of technical sciences, professor, Satbayev Kazakh National Technical University, Almaty, Kazakhstan.

Ramazanova G.I. - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, associate professor, Satbayev Kazakh National Technical University, Almaty, Kazakhstan.

Assilbekov B.K. - доктор PhD, Satbayev Kazakh National Technical University, Almaty, Kazakhstan.

Omirbayeva A.O. -Master of Science in Thermal Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Almaty, Kazakhstan.

Поступила в редакцию 25.05.2018