

He, Y., Dai, A., Zhu, J., He, H., & Li, F. Risk assessment of urban network planning in china based on the matter-element model and extension analysis.

International Journal of Electrical Power & Energy Systems. – 2011.

УДК 666.263.2: 533.9

---

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

---

**Волокитин О.Г.,  
Скрипникова<sup>1</sup> Н.К.,  
Куниц<sup>1</sup> О.А.,**

<sup>1</sup>Томский государственный архитектурно-строительный университет (ТГАСУ),  
Россия, 634003, г.Томск, Соляная пл., 2,

**Сабитов<sup>2</sup> Е.Е.**

<sup>2</sup>НАО "Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева"  
Казахстан, 010000, г. Астана, ул. Сатбаева 2, Алматинский район

## USE OF SECONDARY RAW MATERIALS FOR OBTAINING GLASS-CRYSTAL MATERIALS

**O.G. Volokitin<sup>1</sup>,  
N.K. Skripnikova<sup>1</sup>  
O.A. Kunts,**

<sup>1</sup>Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering (TSUAB) (Russia, Tomsk)  
Russia, 634003, Tomsk, Solyanaya sq., 2,

**E.E. Sabitov<sup>2</sup>**

<sup>2</sup>NAO "Eurasian National University named after L.N. Gumilyov" Kazakhstan  
010000, Astana, st. Satbaeva 2, Almaty district

### АННОТАЦИЯ

Исследованы составы для получения стеклокристаллических материалов на основе зол с применением плазмы. Проведен комплекс физико-химических исследований стеклокристаллических материалов различных составов. Выбран оптимальный состав, который характеризовался наилучшими физико-механическими показателями.

### ABSTRACT

The compositions for obtaining glass-ceramic materials based on sols using plasma have been studied. A complex of physicochemical studies of glass-ceramic materials of various compositions has been carried out. The optimal composition was chosen, which was characterized by the best physical and mechanical properties.

**Ключевые слова:** плазма; зола; плавление; кристаллизация; прочность.

**Key words:** plasma; ash; melting; crystallization; strength.

Стеклокристаллические материалы являются востребованными в строительной отрасли в связи с высокими эксплуатационными характеристиками (прочность и износостойкость, химическая стойкость, способность выдерживать высокие температурные перепады), обеспечивая возможность их широкого применения [1 – 4]. Особенность стеклокристаллических материалов состоит в том, что их полифазная структура включает как кристаллические, так и стекловидную фазы, объемное соотношение которых может меняться в широких пределах.

Производство строительных стеклокристаллических материалов базируется на использовании природного и вторичного сырья. В настоящее время зола ТЭС широко используются для получения строительных материалов различного назначения. Это связано с тем, что химический состав зол в основном представлен оксидом кремния (более 50 %) и алюминия (более 30 %), что позволяет получать кристаллизующийся расплав при его медленном охлаждении [5 – 6].

Таким образом, использование зол ТЭС позволят расширить сырьевую базу для получения стеклокристаллических материалов [7 – 8].

Применение зол ТЭС требует обеспечения высоких температур, так как их температура плавления варьируется в пределах 1640–1680 °С. В практике известно [9 – 10] эффективное использование энергии термической плазмы для плавления тугоплавких природных и техногенных композиций (материалов) с целью получения химически однородных расплавов.

Цель данного исследования: использование энергии термической плазмы для получения стеклокристаллических материалов.

### Материалы и методы исследования

В шихтах для получения расплавов содержание золы варьировалось в пределах 60–100%. Дополнительные компоненты известняк и кварцевый песок взяты из условия получения расплавов, обеспечивающих кристаллизацию анортита. Химический состав используемых сырьевых материалов представлен в таблице 1.

Таблица 1.

**Химический состав сырьевых материалов**

Сырьевой материал	Массовое содержание оксидов, %					
	MgO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	$\Delta m_{\text{прк}}$
Зола ТЭС Томской обл.	0.93	8.30	3.64	34.55	51.18	1.39
Известняк	0.04	55.65	0.24	0.41	1.19	42.41
Кварцевый песок	0.22	0.23	0.54	0.18	98.04	0.6

Химический состав золы ТЭС на 85,73 % представлен оксидами алюминия и кремния, что предопределяет высокую температуру её плавления. Известняк представлен карбонатом кальция, содержание CaO 55,65 %. Кварцевый песок характеризуется высоким содержанием

кремнезема SiO<sub>2</sub> – 98,04 %. Составы шихт, используемые для получения стеклокристаллического материала с помощью энергии термической плазмы, представлены в таблице 2.

Таблица 2.

**Содержание сырьевых материалов в шихтах**

Сырьевой материал	Массовое содержание материалов, %						
	1	2	3	4	5	6	7
Зола ТЭС	100	60	60	70	75	78	90
Известняк	–	20	17	20	25	22	10
Кварцевый песок	–	20	23	10	–	–	–

Из таблицы 2 следует, что основным сырьевым материалом является вторичное сырьё в виде золы ТЭС, а кварцевый песок и известняк используются

в качестве корректирующих добавок. В таблице 3 представлен химический состав шихт.

Таблица 3.

**Химический состав шихт**

Состав шихт	Массовое содержание оксидов, %					
	MgO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	$\Delta m_{\text{прк}}$
1	0.91	8.33	3.62	34.57	51.16	1.41
2	0.59	16.17	2.33	20.87	50.52	9.50
3	0.60	14.51	2.34	20.87	53.43	8.23
4	0.66	16.98	2.64	24.31	45.84	9.559
5	0.69	20.15	2.79	26.04	38.65	11.67
6	0.72	18.73	2.89	27.06	40.15	10.44
7	0.822	13.06	3.29	31.16	46.16	5.52

Для улучшения химической стойкости повышения основности расплава использовался известняк. Образующийся оксид кальция, изменяет состав расплава в область кристаллизации анортита, что подтверждается рентгенофазовым анализом продуктов кристаллизации (рис. 5). Добавление в состав компонентной шихты кварцевого песка позволяет скорректировать стеклообразующую способность расплава. Анализ

фазовых превращений и особенностей поведения, исследованных силикатных композиций (составы таблице 3), в соответствии с их химическим составом проводился с использованием диаграммы состояния системы CaO–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub> (рис. 1, а) и кривых плавкости (рис. 1, б), которые позволяют определить количество фаз и отношение жидкой фазы к твердой при изменении температуры.

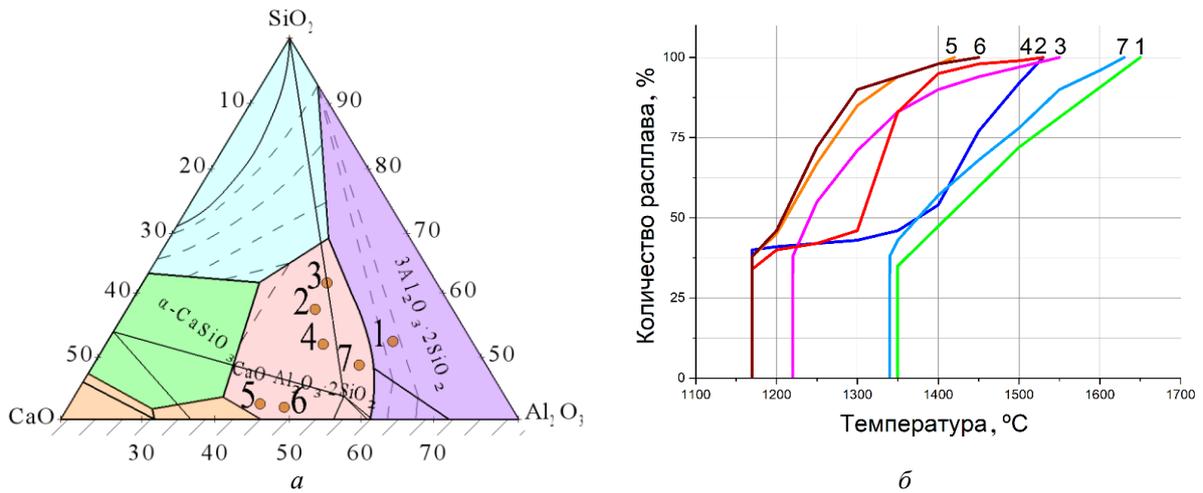


Рис. 1. а) – часть диаграммы состояния системы  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ , точками 1–7 указаны составы расплавов смесей; б) – кривые плавкости смесей составов 1–7

Пересчитанный на тройную систему состав золы ТЭС находится в поле первичной кристаллизации муллита (т. 1, рис 1, а). Исходя из трёхкомпонентной системы  $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ , составы 2–7 (т. 2–7, рис 1, а) находятся в поле первичной кристаллизации анортита. Полное плавление золы наступает при температуре более 1650 °С. Наиболее легкоплавкие смеси представлены составами 5 и 6 с образованием первичного расплава при температуре 1170 °С и полным плавлением в интервале 1440–1450 °С. Полное плавление составов смесей 2; 3; 4 наступает при температуре 1550 °С.

При воздействии термической плазмы 3000 – 5000 °С. на алюмосиликатные компоненты происходит интенсификация процессов плавления. Это связано с тем, что они протекают в

неравновесных условиях, которые отличаются от традиционных условий образования расплавов.

Технология получения стеклокристаллических материалов состоит из измельчения, гомогенизации сырьевых компонентов в соотношениях (табл. 2), плавления и последующей кристаллизации расплава. Плавление шихт осуществлялась на установке, разработанной на кафедре прикладной механики и материаловедения ТГАСУ. Лабораторная плазменная установка состоит из источника питания (3), плазмотрона (1), представляющего собой катодный узел для обеспечения запуска дежурной дуги, узла газораспределения, обеспечивающего подачу плазмообразующего газа (9), узла водоснабжения, необходимого для охлаждения катодного узла и реактора (7), в дно которого вмонтирован графитовый анод (5).

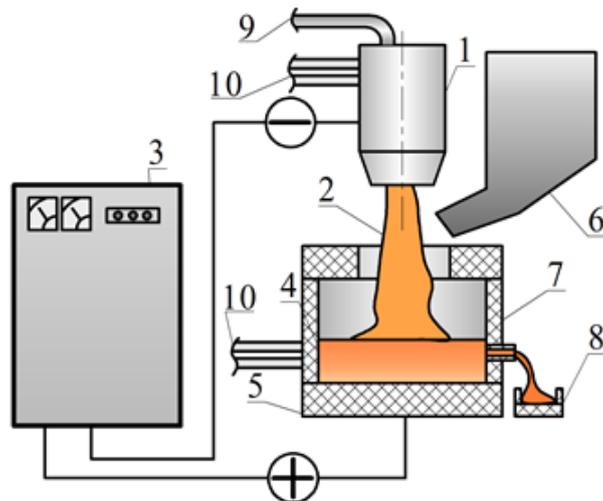


Рис. 2. Лабораторная плазменная установка  
1 – узел катодный; 2 – плазменный поток; 3 – источник питания;  
4 – сырьевой материал; 5 – анод; 6 – дозатор; 7 – реактор;  
8 – расплавоприемник; 9 – подача плазмообразующего газа;  
10 – водоохлаждающий контур.

Работа установки осуществлялась при следующем режиме: сила тока 240–280 А, напряжение 120–140 В, расход плазмообразующего газа 2–7 м<sup>3</sup>/ч. В реактор объемом 0,05 м<sup>3</sup> подается предварительно подготовленная сырьевая смесь со скоростью 0,5 кг/мин. Внутри реактора обеспечивается температура 3000–3500 °С, время теплового воздействия на шихту составляет 2–3 мин, в результате чего образуется расплав, который через сливной желоб попадает в расплавоприемник (8). Футеровка реактора в данной установке не предусмотрена, так как он оборудован системой водоохлаждения (10), кроме того, на его внутренней поверхности образуется горнисажный слой, который является эффективным теплоизолятором.

Для получения стеклокристаллических материалов необходимо полученный расплав подвергнуть изотермической выдержке. Данный процесс осуществлялся в два этапа: первый состоит

из выдержки при температурах 700 °С в течение 1 часа, второй – 950° С в течение 2 часов.

Полученные образцы исследовались с помощью рентгенофазового анализа (дифрактометр Shimadzu XRD 6000, Япония), электронной сканирующей микроскопии (Quanta 200 3D, США).

### Результаты и обсуждение

Был проведен комплекс испытаний по изучению физико-механических свойств полученных стеклокристаллических материалов из шихт различного состава (таблице 2). Данные, представленные на рис. 3, свидетельствуют о том, что прочность при сжатии находится в пределах 430–530 МПа, прочность при изгибе – 70–110 МПа. Использование компонентной сырьевой смеси состава 4 (зола – 70%; известняк – 20 %, кварцевый песок – 10 %) позволяет получить наибольшие значения прочности при сжатии и изгибе. Этот эффект связан с повышением кристаллизационной способности расплава данного состава.

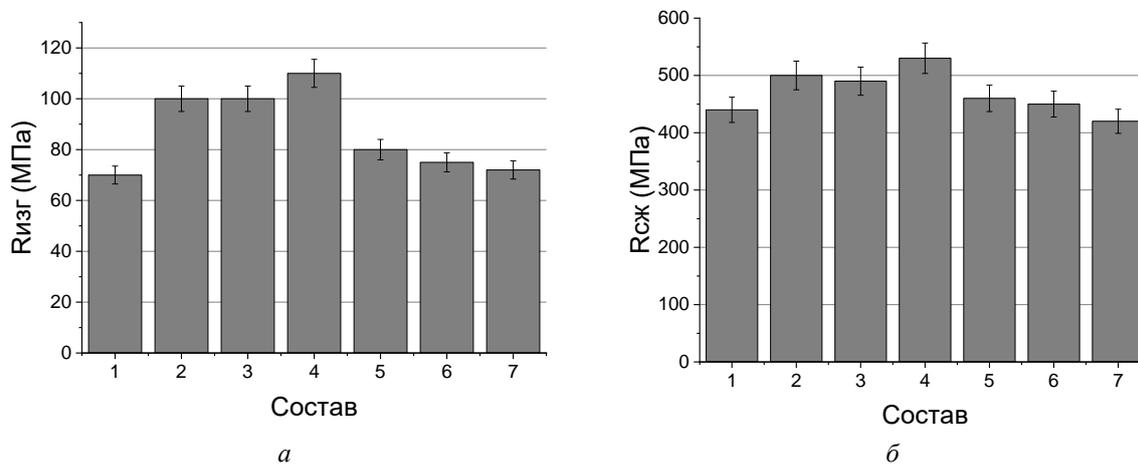


Рис. 3. Результаты испытания стеклокристаллических материалов: а) прочность при изгибе; б) – прочность при сжатии

Из данных, представленных на рис. 4, а, следует, что полученные стеклокристаллические образцы имеют плотность от 2700 до 3000 кг/м<sup>3</sup>. Повышение плотности стеклокристаллических материалов позволяет фазовым составам – увеличение содержания анортита и уменьшением количества кварца. Что касается ТКЛР, его значения будут определять стойкость к тепловому удару. Из представленных на рис. 4, б данных

следует, что наименьшим значением обладают образцы, состоящие из 70 % золы, 20 % известняка и 10 % кварцевого песка. Уменьшение ТКЛР объясняется образованием кристаллических фаз: волластонита, анортита и кварца, степенью кристалличности данного состава (85%) и остаточной стеклофазой (15 %0), которые снижают ТКЛР общей массы данного состава стеклокристаллического материала.

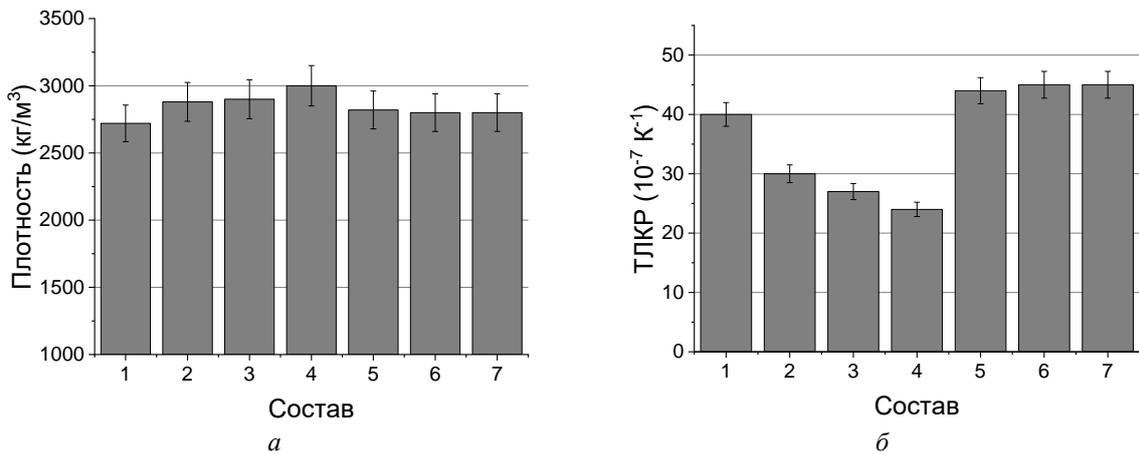


Рис. 4 – Свойства стеклокристаллических материалов исследованных составов 1–7:  
а – плотность; б – ТЛКР

С целью изучения процессов, происходящих при кристаллизации расплавов, полученного на основе сырьевой смеси с использованием золы ТЭС, был проведен рентгенофазовый и электронно-микроскопический анализы.

На рентгенограммах стеклокристаллических материалов составов 2 и 3 (рис. 5 (2, 3)) наблюдается наличие рефлексов кварца ( $d = 0,416$  и  $0,334$  нм), анортита ( $d = 0,320$  нм), волластонита ( $d = 0,293$  и  $0,297$  нм). У материала состава 4 (рис. 5 (4)) (зола ТЭС – 70 %, известняк – 20 %, кварцевый песок – 10 %) наблюдается

значительный количественный рост кристаллических фаз: анортита ( $d = 0,320$ ;  $0,293$ ;  $0,251$  нм) и волластонита ( $d = 0,297$ ;  $0,173$  нм) при снижении количества кварца ( $d = 0,346$  нм). На рисунке (рис. 5 (5)) состава 5 наблюдается наличие фаз: анортита ( $d = 0,320$  и  $0,251$  нм) и нестехиометрического анортита ( $d = 0,371$ ,  $0,230$  и  $0,204$  нм). Проведенный рентгенофазовый анализ показал значительное количество кристаллической фазы в образце, полученном на основе шихты № 4. Степень кристаллизации достигла 85 %.

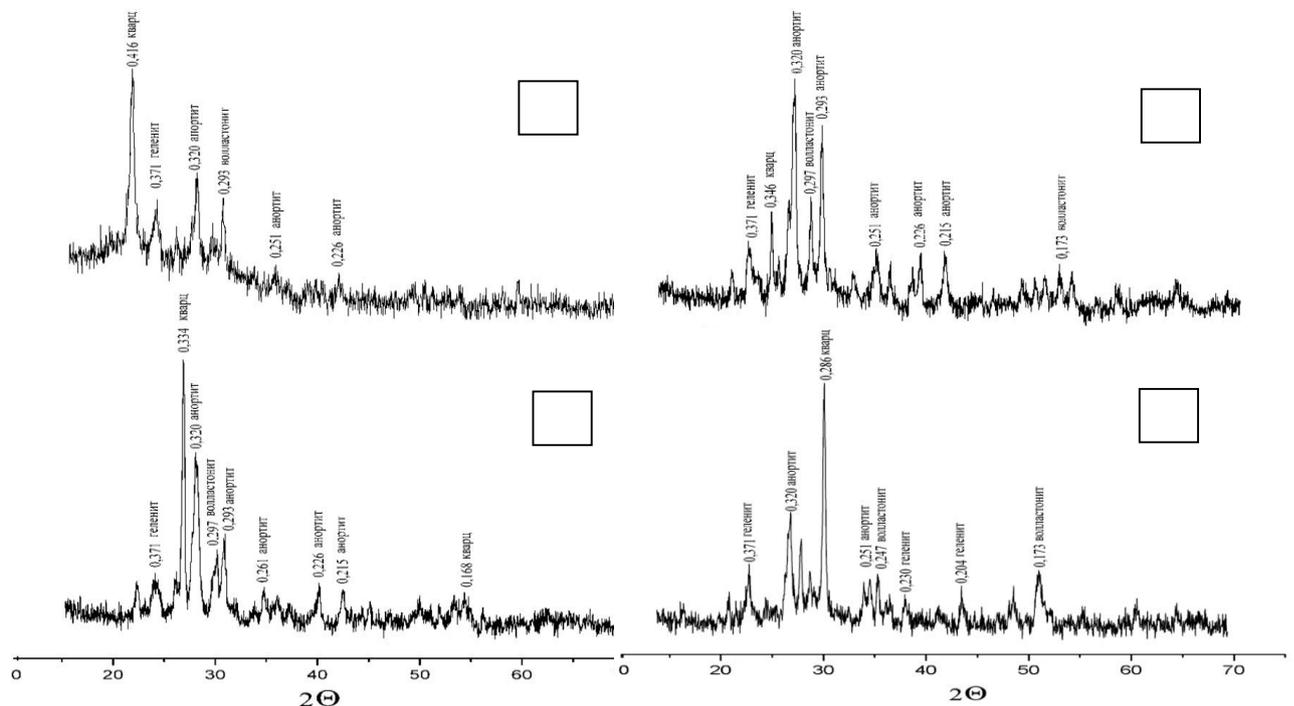


Рис. 5. Рентгенограммы стеклокристаллических материалов составов: 2, 3, 4, 5

Данные электронно-микроскопического анализа представлены на рис. 6. На снимках наблюдается триклинная сингония кристаллов, а

также некоторые дефекты кристаллов, пронизывающих стеклофазу.

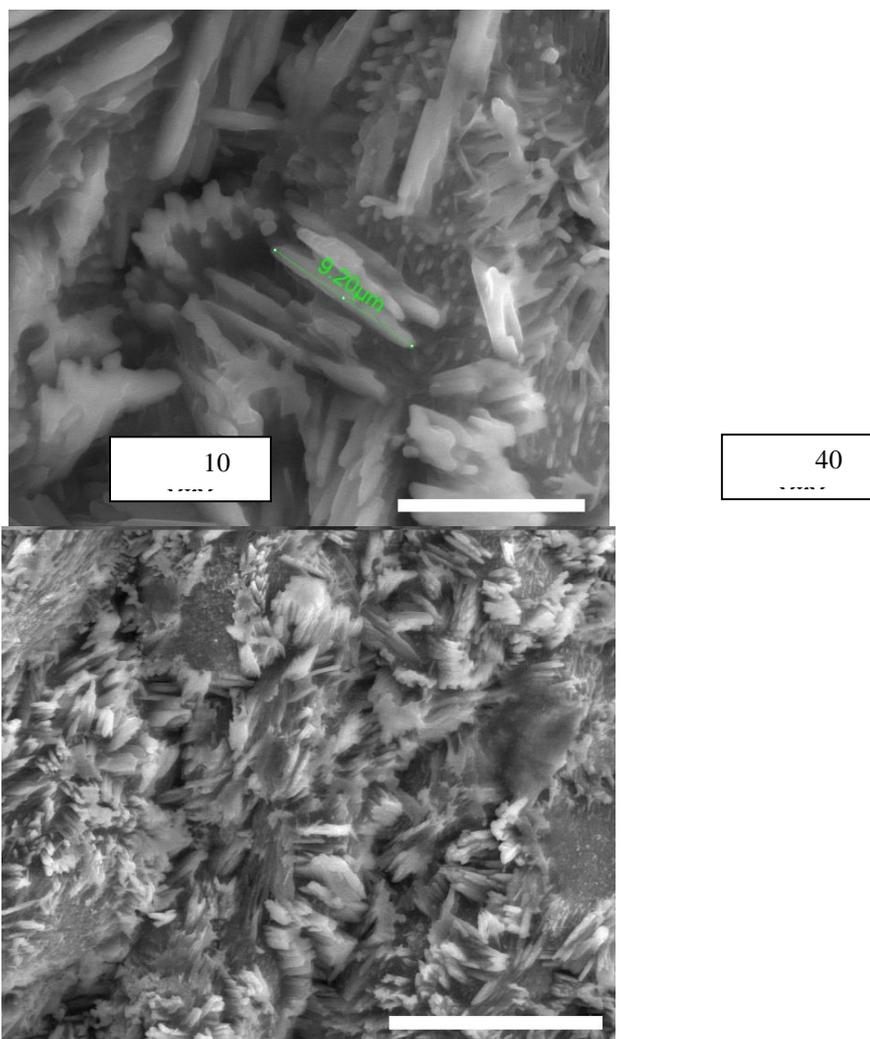


Рис. 6. Микрофотографии поверхности продукта кристаллизации расплава смеси состава: зола – 70 %, известняк – 20 %, кварцевый песок – 10 %, подвергнувшегося изотермической выдержке

Микрофотографии свидетельствуют о наличии беспорядочно ориентированных кристаллов различных фаз размером 10–15 мкм. Скорость охлаждения расплава (3 С/мин) не позволяет произойти полной кристаллизации расплава, так как образуется не менее 15 % аморфной фазы. Образуется микрокристаллическая структура с размерами кристаллов порядка 10 мкм, что позволит при дальнейшей термообработке получить более плотную кристаллическую структуру. Таким образом, стеклокристаллические материалы необходимо рассматривать как монолитные композиты с высоким содержанием мелкодисперсной кристаллической фазы – 80% и более, которые равномерно распределены в стекловидной массе.

#### Выводы

Плазменный способ плавления позволяет получать стеклокристаллические материалы со степенью кристалличности до 85 %. Из составов, содержащих: золу 60 – 90%; известняка 10 – 20% и кварцевого песка 0 – 20%. Размеры кристаллов составляют 10–15 мкм, что свидетельствует о микрокристалличности полученного материала. Оптимальным компонентным составом сырьевой смеси является: зола – 70%; известняк – 20%;

кварцевый песок – 10%. Стеклокристаллические материалы, полученные по плазменной технологии из данного состава, имеют следующие физико-механические показатели: прочность при сжатии 430–530 МПа, прочность при изгибе 70–110 МПа, плотность 2700–3000 кг/м<sup>3</sup>, тепловой коэффициент термического расширения 24–46  $10^{-7}K^{-1}$ . Количество золы в составе шихты, подлежащей плавлению, может достигать 90 %.

Проведенные исследования показали возможность получения высокоэффективных стеклокристаллических материалов с применением энергии термической плазмы. Использование золы ТЭС в качестве сырьевого компонента при получении стеклокристаллических материалов позволит обеспечить благоприятный экологический эффект.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Park J., Choi J.H., Na H., Kim H.-J. Effect of CaF<sub>2</sub> on fluorocarbon plasma resistance and thermal properties of CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> glasses. Journal of Asian Ceramic Societies. 2021. Vol. 9(1). P. 311-317.
2. Лазарева Е. А. Мамаева С. Ю., Тарарина М. О. Синтез жаростойких стеклокристаллических покрытий с использованием

высокоглиноземистого отхода // Стекло и керамика. 2009. № 3. С. 21–23.

3. Адылов Г. Т., Акбаров Р. Ю., Воронов Г. В. Стеклокристаллические материалы на основе катализированного стеклокордиеритового состава, синтезированного под воздействием концентрированного лучистого потока // Стекло и керамика. 2009. № 4. С. 6–9.

4. Yeganyan Ju. Physico-chemical properties and structural transformations in the synthesis of borosilicate glass-crystal materials // Химия и химическая технология. 2021. № 1 (71). С. 3-8.

5. Скрипникова Н.К., Луценко А.В., Власов В.А. Физико-химические аспекты формирования структуры стеклокристаллического материала // Известия высших учебных заведений. Физика. 2016. Т. 59. № 9-3. С. 290-292

6. Власов В.А., Скрипникова Н.К., Луценко А.В. Синтез стеклокристаллических материалов из расплава, полученного с использованием высококонцентрированных источников нагрева // Известия высших учебных заведений. Физика. 2015. Т. 58. № 9-3. С. 79-82.

7. Cheng T.W., Tu C.C., Ko M.S., Ueng T.H. Production of glass-ceramics from incinerator ash using lab-scale and pilot-scale thermal plasma systems. 2011. *Ceramics International*. 2011. Vol. 37(7). P. 2437-2444

8. Yan M., Cheng W., Liu Y. Et al. Novel method for efficient solidification the iodine contained waste by  $B_2O_3$ - $Bi_2O_3$  glass powder at very low temperature. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*. 2021. Vol.329(3). P. 1467-1476

9. Buyantuev S.L., Guiling N., Kondratenko A.S. et al Waste industrial processing of boron-treated by plasma arc to produce the melt and fiber materials. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2016. Vol. 365. P. 353-361.

10. Volokitin G., Vlasov V., Skripnikova N. Et al. Plasma technologies in construction industry. *Key Engineering Materials*. 2018. Vol. 781. P. 143-148

11. Song X., Sun Y., Zhong H. Et al. Synthesis of silica glass by plasma chemical vapor deposition method. *Journal of the Chinese Ceramic Society*. 2008. Vol. 36(4). P. 531-534.

УДК 629.44. 083 (571.63)

## АНАЛИЗ ПОЯВЛЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ПРОХОДЯЩИХ ЧЕРЕЗ ПОРТЫ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА

*Лаптева И.И.,*

*Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск, Россия*

## ANALYSIS OF THE OCCURRENCE OF MALFUNCTIONS OF FREIGHT CARS PASSING THROUGH THE PORTS OF THE FAR EASTERN REGION

*Lapteva I.I.,*

*Far Eastern State of Transport University, Khabarovsk*

### АННОТАЦИЯ

Порт Ванино занимает ведущее место в транспортировке экспортно-импортных грузов – уголь, нефтегрузы, руда, лес. Для обеспечения безотказной работы вагонов в составах на заданном уровне необходимо постоянно поддерживать вагон в работоспособном состоянии, тем более за десять лет грузопоток увеличился почти в два раза. Необходимо исследовать возникновения нарушений наиболее встречающиеся и требующих особого внимания.

### ABSTRACT

The port of Vanino occupies a leading place in the transportation of export-import cargo – coal, oil and gas, ore, timber. To ensure the trouble-free operation of wagons in trains at a given level, it is necessary to constantly maintain the wagon in working condition, especially since cargo traffic has almost doubled in ten years. It is necessary to investigate the occurrence of violations that are most common and require special attention.

**Ключевые слова:** железная дорога, техническое обслуживание, вагонный парк, нарушения, безотказная работа, работоспособное состояние.

**Keywords:** railway, maintenance, rolling stock, violations, failure-free operation, working condition.

Сокращение расстояния транспортировки влияет на стоимость железнодорожных перевозок, что привлекает грузопотоки и способствует его активной эксплуатации и низким срокам окупаемости инвестиционных проектов. Использование порта Ванино сокращает на 800 километров доставку грузов в центральную часть России по международному транспортному

коридору «Восток–Запад». При всех достоинствах порт Ванино имеет недостаток в инфраструктуре по пропускной способности железной дороги, которая учитывается при инвестировании в инфраструктуру. При всех преимуществах порта Ванино и оптимистических перспектив развития, данная проблема остается нерешённой.