

О. В. САВВОВА, Ю. О. СОБОЛЬ, А. О. ГРИВЦОВА, В. Л. ТОПЧИЙ, Т. В. ШКОЛЬНИКОВА

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЗМУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ ЛІТІЙСИЛКАТНИХ СТЕКОЛ В УМОВАХ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ

Проаналізовано властивості різних видів прозорої склокераміки та встановлено перспективність застосування літійсилікатних стекол і склокристалічних матеріалів на їх основі для елементів бронезахисту. Обрано базову систему та корегуючі добавки для синтезу модельних стекол. Вивчено механізм фазоутворення та визначено оптимальні режими термічної обробки стекол. Проведено аналіз впливу складу та кількості кристалічної фази на механічні властивості дослідних матеріалів. Розроблена склокераміка на основі дисилікату літію може бути використана як елемент бронезахисту спеціальної техніки.

Ключові слова: склокристалічні матеріали, фазоутворення, термічна обробка, дисилікат літія, елемент бронезахисту.

Проанализированы свойства различных видов прозрачной стеклокерамики и установлена перспективность применения литийсилікатных стекол и стеклокристаллических материалов на их основе для элементов бронезащиты. Выбрана базовая система и корректирующие добавки для синтеза модельных стекол. Изучен механизм фазообразования и определены оптимальные режимы термической обработки стекол. Проведен анализ влияния состава и количества кристаллической фазы на механические свойства опытных материалов. Разработанная стеклокерамика на основе дисиликата лития может быть использована как элемент бронезащиты специальной техники.

Ключевые слова: стеклокристаллические материалы, фазообразования, термическая обработка, дисиликат лития, элемент бронезащиты.

The properties of various types of transparent glass ceramics were analysed and the application prospects of lithium-silicate glass and glass-ceramic materials based on it for armor elements were installed. Basic system and corrective additives for the synthesis of model glasses have been chosen. The mechanism of phase formation and the optimal regimes of the glass thermal treatment were determined, which consist in formation of volume-crystallized structure of glass with lithium disilicate and β -spodumene in the amount of 80 vol. %, which allows to provide its high mechanical properties. The influence of the composition and amount of the crystalline phase on mechanical properties of experimental materials are given. Developed glass-ceramics on the lithium disilicate basis can be used as an element of armor protection of special equipment.

Keywords: glass ceramic materials, phase formation, heat treatment, lithium disilicate, armor element.

Вступ. Тривалий час літійсилікатні стекла та склокристалічні матеріали на їх основі завдяки своїм винятковим фізико-хімічним властивостям знаходили широке застосування при одержанні стоматологічної порцеляни [1]. Зважаючи на можливість отримання з літійсилікатних стекол високоміцних склокристалічних матеріалів на основі дисилікатів літію з регульованими оптичними характеристиками, важливим завданням є встановлення ефективності їх використання як прозорої броні для деталей наземної та авіаційної техніки, а також для виготовлення інших видів портативного захисного спорядження [2].

Особливістю прозорих склокристалічних матеріалів на основі дисилікатів літію [3] та / або шпінелі [4] є поєднання високої механічної міцності для забезпечення стійкості до дії енергоруйнуючих складових та здатності поглинання і розсіювання ударних навантажень.

Однак відомі склокристалічні матеріали на основі системи $\text{Li}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ характеризуються доволі тривалим часом термічної обробки, який, за рекомендаціями А. М. Калініної [5] та даними авторів [6], складають від 100 годин на першій стадії до 20 годин на другій стадії [3], а шпінельвімісні ситали відрізняються високими температурами варки, термічної обробки та порівняно високою щільністю ($2,7 - 3,0 \text{ г/см}^3$) [4, 7] (табл. 1).

Тому? з огляду на перспективність вказаних вище матеріалів та актуальною на сьогоднішній день задачею підвищення рівня захисту спеціальної техніки, яка експлуатується в умовах високих температур та механічних навантажень стає цікавою розробка складів літійсилікатних стекол та одержання

на їх основі в умовах короткотривалої низькотемпературної термічної обробки полегшених бронеситалів.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика властивостей та режимів термічної обробки прозорих склокристалічних матеріалів на основі дисилікату літію та шпінелі

Показники	Склокристалічні матеріали	
Основні кристалічні фази	Дисилікат літію [5]	Шпінель [4, 7]
Щільність ρ , г/см^3	2,35 – 2,45	2,7 – 3,0
Міцність на згин, МПа	38 – 40	
Модуль пружності, ГПа	94	94,5 – 110
Мікротвердість, МПа	6800	10540
Показник тріщиностійкості, $\text{МПа} \cdot \text{м}^{1/2}$	0,9 – 1,29	0,8 – 1,3
Температурний коефіцієнт лінійного розширення, град^{-1}	$(106-114) \cdot 10^{-7}$	$(35-56) \cdot 10^{-7}$
Режими термічної обробки:		
перша стадія, температура, $^{\circ}\text{C}$	480	750 – 850
тривалість, год	100	2
друга стадія, температура, $^{\circ}\text{C}$	630	900 – 1150
тривалість, год	20	4

Важливим етапом розробки склокристалічних матеріалів є дослідження процесів фазоутворення в літійсилікатних стеклах.

Визначення особливостей формування структури літійсилікатних стекол, що знаходиться у взаємозв'язку з їх основними властивостями, впродовж термічної обробки дозволить обрати ефективний технологічний режим для отримання

високоміцних склокристалічних матеріалів з низькою щільністю та відносно невисокою вартістю у порівнянні з широко розповсюдженою прозорою бронєю на основі монокристалів сапфіру [8].

Мета роботи. Дослідження механізму кристалізації літійсилікатних стекел в умовах термічної обробки. Для досягнення означеної мети були поставлені наступні завдання:

- аналіз накопиченого досвіду у напрямку створення прозорих склокристалічних матеріалів для елементів бронезахисту деталей наземної і авіаційної техніки;

- обґрунтування вибору базової оксидної системи для одержання склокристалічних матеріалів, дослідження склоутворення в ній та синтез модельних стекел;

- визначення впливу фазового складу на функціональні властивості, що обумовлюють високу міцність матеріалів.

Методика проведення експерименту.

В роботі було використано фізико-хімічні методи дослідження отриманих модельних стекел, які дозволили вивчити процеси, що відбуваються у стеклах при термічній обробці, зокрема диференціально-термічний (ДТА), градієнтно-термічний, петрографічний та дилатометричний аналізи. Показники механічних властивостей отримано за допомогою твердомірів ПМТ-3 та ТМВ-1000 та приладу для вимірювання модуля пружності за статичним методом.

Результати експерименту та їх обговорення.

Для встановлення області існування вихідних стекел було обрано систему $R_2O - LiF - CaF_2 - RO - RO_2 - R_2O_3 - P_2O_5 - SiO_2$ з наступними концентраційними межами її складаючих, мас. %: R_2O ($\Sigma Na_2O, K_2O, Li_2O$) – 13,2÷20,0; LiF – 0,0÷3,5; RO ($\Sigma MgO, ZnO$) – 0,0÷7,0; CaF_2 – 0,0÷2,5; $RO_2 - \Sigma TiO_2, ZrO_2 - 0,0\div 11,0$; $R_2O_3 - \Sigma Al_2O_3, B_2O_3 - 0,0\div 7,0$; $P_2O_5 - 0,0\div 3,48$; $SiO_2 - 50,0\div 71,8$; $MnO_2 - 0,0\div 4,0$; $CeO_2 - 0,0\div 0,5$ та $La_2O_3 0,0\div 5,0$. (рис. 1.) В даній системі синтезовано склади модельних стекел серії СЛ як основи для одержання склокристалічних матеріалів. Крім того, для регулювання кристалізаційної здатності та оптичних показників до складу додатково вводили, мас. % : $MnO_2 - 1,5-4,0$; $CeO_2 - 0,5$; $La_2O_3 2,0-5,0$.

Стекля серії СЛ були зварені в однакових умовах при 1200–1550 °С в корундових тиглях з наступним охолодженням на металевому листі. За даними ДТА для модельних стекел серії СЛ, температури та інтервал склування визначається їх плавкісними властивостями та складає 480 – 560 °С (рис. 2). Ендоефект, що спостерігається для даних стекел при температурах 300 – 380 °С, пов'язаний з видаленням залишкових напруг. Для скла СЛ-6 при температурі 620°С спостерігається зі значною інтенсивністю високий пік екзоэффекту, який може відповідати кристалізації дисилікату літію. Для стекел СЛ-1 та СЛ-5 екзоэффекти при температурах 700, 650 °С відповідно є характерними для метасилікату літію та β - сподумену. Остаточне формування ситалізованої

структури та заліковування тріщин для стекел СЛ-5 та СЛ-6 відбувається при температурах 800 та 840 °С.

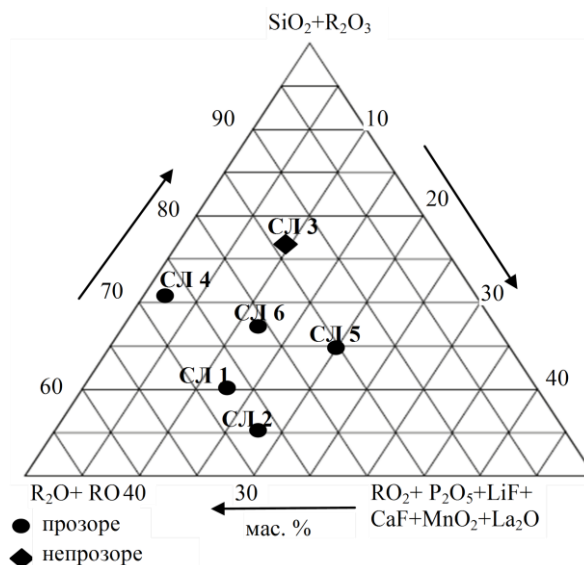


Рис. 1 – Дослідна псевдопотрійна система $\Sigma R_2O, RO - \Sigma SiO_2, R_2O_3 - \Sigma P_2O_5, LiF, CaF, MnO_2, La_2O_3$.

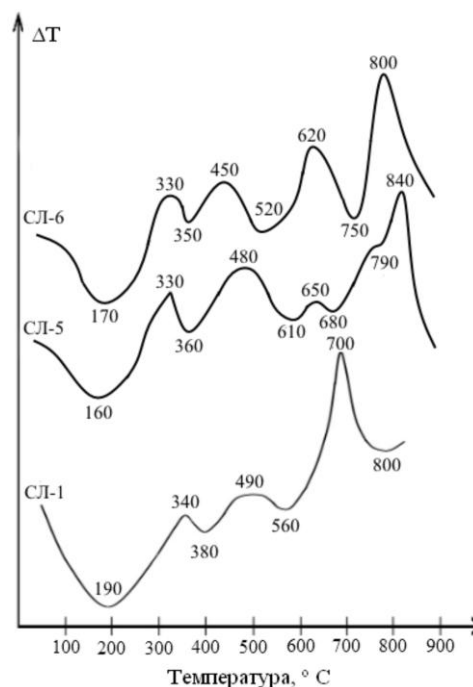


Рис. 2 – Термограми модельних стекел.

В цілому високі та вузькі піки екзоэффектів для дослідних стекел можуть свідчити про формування тонкодисперсної структури з наступним протіканням об'ємної кристалізації при підвищенні температури. Близькість першого екзоэффекту до ендоефекту пов'язано з проходженням кристалізації скломатеріалу при його високій в'язкості поблизу температури розм'якшення, яка дозволяє передбачити, що ситалізація зразку буде проходити без його деформації. Перед максимумом, який відповідає незворотному процесу кристалізації, завжди є мінімум, який пов'язаний з ендотермічними

початковими зворотними стадіями процесу кристалізації.

За даними рентгенофазового аналізу модельні стекла після варки є прозорими, окрім скла СЛ-3, та рентгеноаморфними. Петрографічний аналіз стекел показав, що у їх складі присутні неоднорідності, які можуть мати флукуаційну природу. Саме це дозволяє припустити, що в процесі наступної термічної

обробки даних стекел може утворитись зміцнена тонкодисперсна структура.

Після одностадійної витримки впродовж 6 годин в градієнтній печі з температурою 400–800 °С дослідні склокристалічні матеріали характеризуються наявністю кристалічних фаз метасилікату літію (СЛ-1, СЛ-2, СЛ-4), β -сподумену (СЛ-4, СЛ-5, СЛ-6), β -евкрититу, бадделеїту (СЛ-3), силікатів літію та магнію (СЛ-4) та дисилікату літію (СЛ-6) (рис. 3).

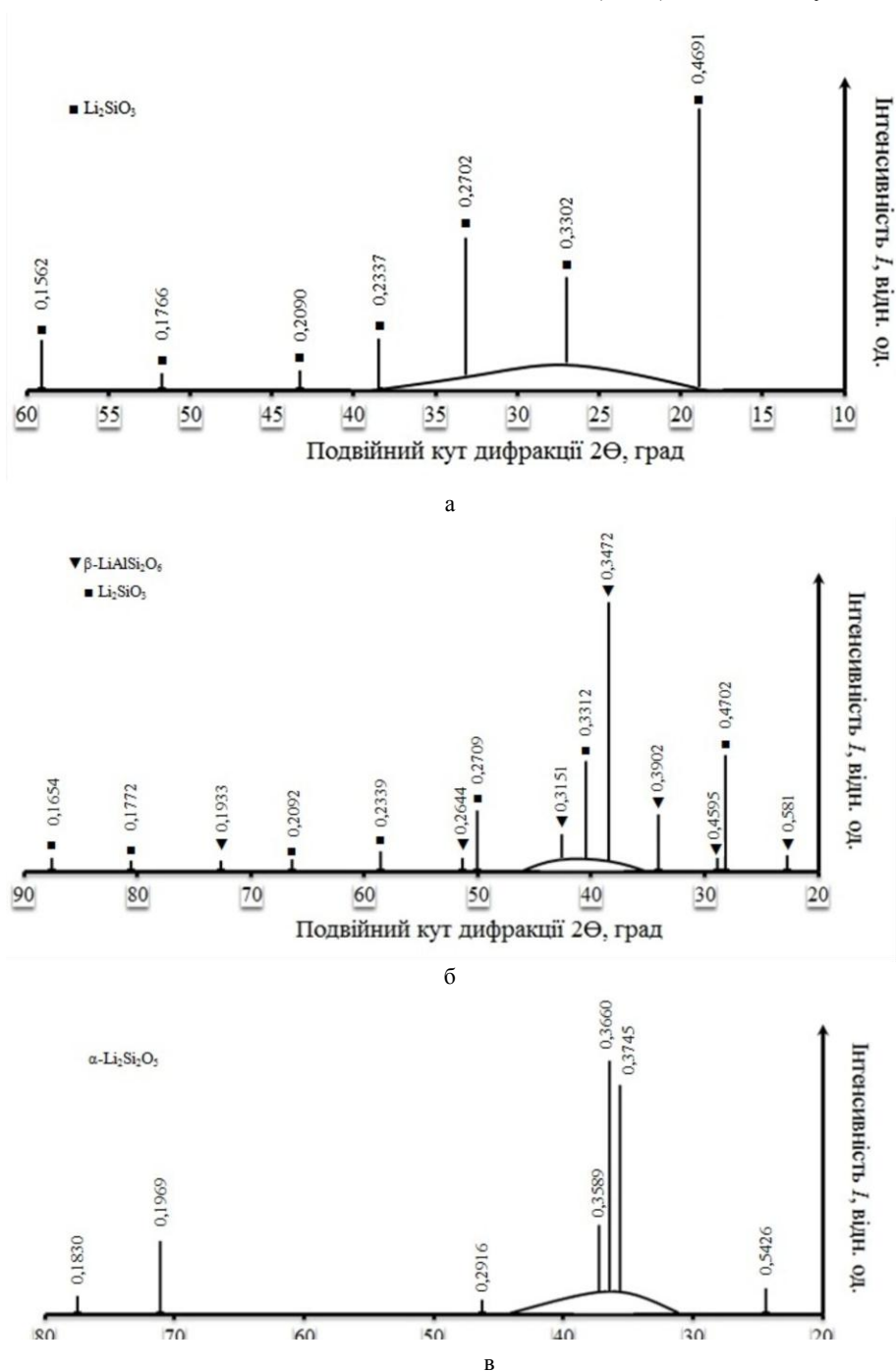


Рис. 3 – Штрих-рентгенограми модельних стекел: а – СЛ-1, б – СЛ-5, в – СЛ-6.

Вибір режимів термічної обробки для даних стекел базувався на основі загально прийнятих принципів проектування ситалів з урахуванням використання скляної технології їх отримання [9]. Одержані склокристалічні матеріали серії СЛ в

умовах низькотемпературної термічної обробки характеризуються об'ємною тонкодисперсною кристалізацією високоміцних кристалічних фаз дисилікату літію або β -сподумену (табл.2).

Таблиця 2 – Технологічні параметри та характеристика основної кристалічної фази розроблених склокристалічних матеріалів

Маркування дослідних зразків	Технологічні параметри		Характеристика основної кристалічної фази
	Температура варки, °С, тривалість, год.	Режим термообробки	
СЛ-5	1350 °С, 6 год.	I стадія 610 °С, 10 год. II стадія 650 °С, 4 год. III стадія 840 °С, 1 год.	β-сподумен, 40 об. %, метасилікат літію, 30 об. %
СЛ-6	1240 °С, 8 год.	I стадія 520 °С, 10 год. II стадія 620 °С, 4 год. III стадія 800 °С, 1 год.	дисилікат літію, 70 об. % β-сподумен, 10 об. %

Саме при низькотемпературній кристалізації скло автоматично «обирає» першими ті метастабільні кристалічні фази, які найбільш легко змочуються склом, і, як наслідок, міцніше зв'язані зі склом. При тривалих високотемпературних витримках відбувається перекристалізація в стабільні фази, наявність яких дозволить забезпечити необхідні

функціональні властивості склокристалічних матеріалів. Встановлено, що формування об'ємно-закристалізованої тонкодисперсної структури скла з наявністю дисилікату літію та β-сподумену у кількості 80 об. % для скла СЛ-6 дозволяє забезпечити його високі механічні властивості (табл. 3).

Таблиця 3 – Експлуатаційні властивості розроблених склокристалічних матеріалів

Маркування дослідних зразків	Механічні властивості				$\alpha \cdot 10^7$, град ⁻¹	ρ , г/см ³
	H, ГПа	K_{IC} , МПа·м ^{0,5}	HV, ГПа	E, ГПа		
СЛ-5	7,5	2,6	7,2	80	40,5	2,345
СЛ-6	8,4	3,0	8,28	93	72,3	2,450

Якраз поєднання вказаних властивостей поряд з їх низькою щільністю дозволить використовувати їх як основу при розробці матеріалів у складі композиційних бронееlementів, що будуть забезпечувати одночасно захист від дії куль та уламків і виконувати роль демпфера.

Висновки. У результаті проведених досліджень надано області застосування літійсилікатних стекол та встановлено перспективність їх використання як елементів підвищення надійності захисту спеціальної техніки. Обґрунтовано вибір вихідної літійалюмосилікатної системи R₂O – LiF – CaF₂ – RO – RO₂ – R₂O₃ – P₂O₅ – SiO₂. та обмежено області в них для синтезу модельних стекол серій СЛ на основі дисилікату літію або β-сподумену. Досліджено механізм кристалізації літійсилікатних стекол в умовах термічної обробки. Визначено технологічні параметри одержання високоміцних полегшених склокристалічних матеріалів, а також режими низькотемпературної термічної обробки, необхідні для формування тонкокристалічної взаємозв'язаної структури. Встановлено, що розроблені склокристалічні високоміцні полегшені матеріали, які характеризуються високими експлуатаційними властивостями за рахунок формування ситалізованої структури скла з наявністю дисилікату літію, можуть бути використані як основа при розробці прозорої броні для деталей наземної техніки.

Список літератури

1. Тимошенко М. В. Керамические материалы : учебно-метод. пособие / М. В. Тимошенко. – Минск : БГМУ, 2008. – 27 с.

2. Rudoi B. L. Pat. 4473653, USA. Ballistic-resistant glass-ceramic and method of preparation / B. L. Rudoi. – 1984.
3. Darrant J. G. Pat. 2379659, GB. Making a transparent glass-ceramic armour / J. G. Darrant, Ch. Thompson; Alstom Inc. – 2003.
4. Pinckney L. R. Pat. 7875565, USA. Transparent glass-ceramic armor / L. R. Pinckney, Jian-Zhi Jay Zhang, C. F. Cline; Corning Inc. – 2011.
5. Структурные превращения в стеклах при повышенных температурах : научное издание / Ин-т химии силикатов АН СССР ; ред.: Н. А. Торопов, Е. А. Порай-Кошиц. – М. ; Л. : Наука, 1965. – 259 с.
6. Ramisetty M. Transparent polycrystalline cubic spinels protect and defend / M. Ramisetty, S. Sastri, U. Kashalikar, L. M. Goldman [et.al] // American Ceramic Society Bulletin. – 2013. – Vol. 92, № 2. – P. 20–25.
7. Beall G. H. Pat. 5476821, USA. High modulus glass-ceramics containing fine grained spinel-type crystals / G. H. Beall, L. R. Pinckney; Corning Inc. – 1995.
8. Rioux J. Transparent Armor / J. Rioux, Ch. Jones, M. Mandelartz, V. Pluen // Advanced Materials & Processes. – 2007. – Vol. 165, Issue 10. – P. 31–33.
9. Катализируемая кристаллизация стекол / науч. ред. И. Д. Тыкачинский, Я. А. Федоровский, Б. Г. Варшал. – Москва : Государственный научно-исследовательский институт стекла, 1982. – 175 с.

References (transliterated)

1. Timoshenko M. V. *Keramicheskie materialy* [Ceramic materials] / M. V. Timoshenko. Minsk, BSMU Publ., 2008, 27 p.
2. Rudoi B. L. *Ballistic-resistant glass-ceramic and method of preparation*. Patent USA, no. 4473653, 1984.
3. Darrant J. G., Thompson Ch. *Making a transparent glass-ceramic armour*. Patent GB, no. 2379659, 2003.
4. Pinckney L. R., Jay Zhang Jian-Zhi, Cline C. F. *Transparent glass-ceramic armor*. Patent USA, no. 7875565, 2011.
5. N. A. Toropov, E. A. Poray-Koshits, ed. *Strukturnye prevrashheniya v steklakh pri povyshennykh temperaturakh* [Structural Transformations in Glasses at High Temperatures]. Moscow, Leningrad, Nauka Publ., 1965, 259 p.

6. Ramisetty M., Sastri S., Kashalikar U., Goldman L. M. Transparent polycrystalline cubic spinels protect and defend. *American Ceramic Society Bulletin*. 2013, vol. 92, no. 2, pp. 20–25.
7. Beall G. H., Pinckney L. R. *High modulus glass-ceramics containing fine grained spinel-type crystals*. Patent USA, no. 5476821, 1995.
8. Rioux J., Jones Ch., Mandelartz M., Pluen V. Transparent Armor. *Advanced Materials & Processes*. 2007, vol. 165, no. 10, pp. 31–33.
9. Tykachynskiy I. D., Fedorovskiy Ya. A., Varshal B. G., eds. *Katalizirovannaya kristallizatsiya stekol* [Catalyzed Crystallization of Glass]. Moscow, SSRIG Publ., 1982, 175 p.

Надійшла (received) 01.07.16

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Дослідження механізму кристалізації літійсилікатних стекел в умовах термічної обробки / О. В. Саввова, Ю. О. Соболев, А. О. Гривцова, Топчий В. Л., Т. В. Школьнікова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 22 (1194). – С. 161-165. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2079-0821.

Исследование механизма кристаллизации литийсиликатных стекел в условиях термической обработки / О. В. Саввова, Ю. О. Соболев, А. А. Гривцова, Топчий В. Л., Т. В. Школьнікова // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Хімія, хімічна технологія та екологія. – Х.: НТУ «ХПІ», 2016. – № 22 (1194). – С. 161-165. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2079-0821.

Investigation of mechanism of the lithiumslicate glasses crystallization during thermal treatment / O. V. Savvova, Yu. O. Sobol, A. O. Gryvtsova, V. L. Topchiy, T. V. Shkol'nikova // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Chemistry, chemical technology and environment. – Kharkov: NTU "KhPI", 2016. - № 22. – P.161-165. – Bibliogr.: 9. – ISSN 2079-0821.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Саввова Оксана Вікторівна – доктор технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший науковий співробітник кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей; тел.: +38(057)7076878; e-mail: savvova_oksana@ukr.net.

Саввова Оксана Вікторівна – доктор технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», старший научный сотрудник кафедры технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей; тел.: +38(057)7076878; e-mail: savvova_oksana@ukr.net.

Savvova Oksana Viktorivna – Doctor of Technical Sciences, Associate professor, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, senior research assistant at the Department of the Ceramics, Refractories, Glass and Enamel Technology; tel.: +38(057)7076878; e-mail: savvova_oksana@ukr.net.

Соболев Юлія Олегівна – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», молодший науковий співробітник кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей; тел.: +38(057)7076878; e-mail: ulya-sobol@ukr.net.

Соболев Юлия Олеговна – кандидат технических наук, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», младший научный сотрудник кафедры технологии керамики, огнеупоров, стекла и эмалей; тел.: +38(057)7076878; e-mail: ulya-sobol@ukr.net.

Sobol Yuliya Olegivna – Candidate of Engineering Sciences (Ph. D), National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, junior research associate at the Department of the Ceramics, Refractories, Glass and Enamel Technology; tel.: +38(057)7076878; e-mail: ulya-sobol@ukr.net.

Гривцова Анастасія Олександрівна – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент; тел.: +38(057)7076878; e-mail: : anastasiya_grivcova@mail.ru.

Гривцова Анастасія Александровна – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», студент; тел.: +38(057)7076878; e-mail: anastasiya_grivcova@mail.ru.

Gryvtsova Anastasiya Oleksandrivna – National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, student; tel.: +38(057)7076878; e-mail: anastasiya_grivcova@mail.ru.

Топчий Віталій Леонідович – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», начальник лабораторії факультету військової підготовки ; тел.: +38(057) 372-61-67.

Топчий Виталий Леонидович – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», начальник лаборатории факультета военной подготовки; тел.: +38(057) 372-61-67.

Topchiy Vitaliy – National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Chief of science laboratory of Department of military education; tel.: +38(057)7076878;

Школьнікова Тетяна Василівна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри загальної та неорганічної хімії; тел.: +38(057)7076878; e-mail: itg@ukr.net.

Школьнікова Татьяна Васильевна – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», доцент кафедры общей и неорганической химии; тел.: +38(057)7076878; e-mail: itg@ukr.net.

Shkol'nikova Tetyana Vasylyvna – Candidate of Technical Sciences, Associate professor, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, associate professor at the Department of the General and Inorganic Chemistry; tel.: +38(057)7076878; e-mail: itg@ukr.net.
УДК 666.266.6

О.В. САВВОВА, Г.К. ВОРОНОВ, Л.С. КУРАШ, А.Р. ЗДОРИК, Д.П. НОВИКОВ

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ РОЗРОБОК СКЛОКРИСТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ МАГНІЙАЛЮМОСИЛКАТНИХ СТЕКОЛ

Проаналізовано сучасний стан розробок та застосування кордієритових склокристалічних матеріалів та встановлено перспективність їх застосування як елементів композиційної броні. Обрано систему критеріїв одержання комбінованої броні та обґрунтовано вибір вихідної системи $K_2O - RO - RO_2 - P_2O_5 - R_2O_3 - SiO_2$ для синтезу магнійалюмосилікатних стекол. Встановлено, що спроектовані магнійалюмосилікатні стекла можуть бути використані як основа при розробці кордієритових ситалів для композиційних навісних елементів неброньованої техніки.

Ключові слова: склокристалічні матеріали, магнійалюмосилікатні стекла, кордієрит, навісні елементи неброньованої техніки

Проанализированы современные разработки и применения кордиеритовых стеклокристаллических материалов и установлена перспективность их применения в качестве элементов композиционной брони. Выбрана система критериев получения комбинированной брони и обоснован выбор исходной системы $K_2O - RO - RO_2 - P_2O_5 - R_2O_3 - SiO_2$ для синтеза магнийалюмосиликатных стекол. Установлено, что спроектированные магнийалюмосиликатные стекла могут быть использованы в качестве основы при разработке кордиеритовых ситаллов для композиционных навесных элементов небронированной техники.

Ключевые слова: стеклокристаллические материалы, магнийалюмосиликатные стекла, кордиерит, навесные элементы небронированной техники.

Contemporary developments and applications of cordierite glass-ceramic materials and perspectiveness of their application as elements of modern composite armor were analyzed. System of criteria for obtaining combined armor was selected, and the choice of the initial $K_2O - RO - RO_2 - P_2O_5 - R_2O_3 - SiO_2$ system for synthesis of aluminosilicate glasses was substantiated. Using calculated criteria of crystallization ability and structural strength of glasses, the compositional region for the synthesis of model glasses in this system has been determined. It has been established that magnesium aluminosilicate glasses may be used as the base in developing cordierite glass-ceramics for attached composite elements of unarmored vehicles.

Key words: glass ceramic materials, magnesium aluminosilicate glasses, attached elements of unarmored vehicles.

Вступ. Тривалий час особлива увага при вивченні технічних ситалів приділяється склокристалічним матеріалам, які отримують на основі системи $MgO - Al_2O_3 - SiO_2$ (MAS). Завдяки кристалізації в стеклах наведеної системи кристалічних фаз α -кордієриту, шпінелі, сапфірину, муліту та ін. склокристалічні матеріали на основі стекл системи MAS характеризуються оптимальним поєднанням хімічних, діелектричних та термомеханічних властивостей [1].

Поряд з високими експлуатаційними характеристиками вказані склокристалічні матеріали мають високі технологічні властивості, що дозволяють використовувати їх при виробництві крупногабаритних виробів, виробів складної геометричної форми і високоточних розмірів, виробів з різним рівнем пористості від нульової до 50÷70 об. %. Саме високі експлуатаційні характеристики в поєднанні з технологічністю і економічною ефективністю дозволяють віднести склокристалічні матеріали на основі стекл системи MAS до ряду особливо перспективних силікатних матеріалів.

Починаючи з 50-х років минулого сторіччя, термостійкі високоміцні кордієритові ситали пірокерам 9606 (США) [2] та АС-370 (Україна) [3] (табл.1) з високими значеннями механічних показників, опором корозії до окиснення при підвищених температурах, які поєднуються з їх зниженою вагою, активно використовуються при розробці авіаційних і аерокосмічних матеріалів.

Значний внесок у розробку та впровадження у виробництво склокристалічних матеріалів, на

основі стекл системи MAS зробили науковці корпорації Corning N.Y. (США) (див. табл.1). Так, ними була розроблена кордієритова склокераміка для виготовлення елементів світлодіодних ламп [4].

У електронній техніці склокристалічні матеріали системи MAS на основі шпінелі ($MgO \cdot Al_2O_3$) та енстатиту ($MgO \cdot SiO_2$) застосовувались переважно як ізолятори, наприклад, як підкладки мікросхем основної складової твердих магнітних дисків для зберігання інформації [1]. При цьому використовуються такі властивості цих матеріалів, як низькі значення електропровідності і діелектричних втрат, стабільна діелектрична проникність, достатня електрична міцність у поєднанні з механічною міцністю і стійкістю до агресивних середовищ та радіації.

Компанією Minolta Co., Ltd. (США) розроблені склади склокераміки для підкладок магнітних носіїв інформації з основною кристалічною фазою енстатит і/або його твердого розчину. Склокераміка має високий модуль Юнга, міцність, теплостійкість і забезпечує можливість отримання гладкої, однорідної поверхні і відносно дешевий спосіб виробництва [5].

Зносостійкі склокристалічні матеріали з вмістом як основної кристалічної фази кордієриту ($2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$) використовуються для деталей насосів, елементів поршневих двигунів, підшипників, деталей текстильного обладнання та як ріжучий інструмент [6].

Пористі ситали кордієритового складу використовують як субстрати каталізатора, фільтри