ISSN 2521-6694 (Print)
ISSN 2521-6708 (Online)

Міжнародний науково-виробничий журнал

КЕРАМІКА:
наука і життя

International Journal of Research and Production

CERAMICS:
Science and Life

КИЇВ 2021

Міжнародний науково-виробничий журнал «КЕРАМІКА: наука і життя»

Заснований в 2007 році.

Проблематика:
технології, обладнання, матеріали, тепломасообмінні процеси і апарати, теорія і практика сушіння, енергоефективність процесів, екологія, контрольно-вимірювальні прилади, автоматизація виробництва.

Періодичність видання:
4 рази на рік.

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ №13065-1949Р від 13.08.2007 року.
Журнал внесений до Переліку наукових фахових видань України з технічних наук
(Додаток 7 до Наказу Міністерства освіти і науки України від 28.12.2017 №1714).
Індексується у електронних бібліотеках, каталогах, репозиторіях та наукометричних базах даних:
Crossref, Research Bible, Scientific Indexing Services, Journal Factor, Eurasian Scientific Journal Index, General Impact Factor, World Catalogue of Scientific Journals, Google Scholar, JIFACTOR, International Scientific Indexing (ISI), Національна бібліотека України ім. В.І. Вернадського, Cosmos Impact Factor, Scillit, DRJI, Citefactor, International Institute of Organized Research (I2OR).

Мови видання:
українська, англійська.

Засновники:
- Державне підприємство «Інженерний центр «Сушка»» Інституту технічної теплофізики НАН України
- Інститут технічної теплофізики НАН України
- ТОВ «Українська асоціація кераміки»

Головний редактор
академік НАН України Долінський Анатолій Андрійович
Заступник головного редактора
чл.-кор. НАН України Авраменко Андрій Олександрович
Відповідальний секретар
д.т.н., с.н.с. Недбайло Олександр Миколайович

Члени редакційної колегії:
Dr.-Ing., professor Hans-Bertram Fisher (Німеччина); Ph.D., professor Yang Changhui (Китай); professor Cristina Leonelli (Італія); чл.-кор. НАН України Снєжкін Ю.Ф.; чл.-кор. НАН України Авраменко А.О.; д.т.н., професор Кривенко П.В.; чл.-кор. НАН України Басок Б.І.; д.т.н., професор Гоц В.І.; д.т.н., професор Черняк Л.П.; д.т.н., професор Пушкарьова К.К.; д.т.н., професор Петровський В.Я.; к.т.н., професор Захарченко П.В.; д.т.н., професор Письменний Є.М.; д.т.н., професор Корнієнко Я.М.; д.т.н., с.н.с. Петрова Ж.О.; д.т.н., с.н.с. Ободович О.М.; д.т.н., професор Акуліч О.В. (Бєларусь); д.т.н., професор Джерембаева Н.Е. (Казахстан); д.т.н., професор Назаренко І.І., д.т.н., доц. Кузьмінець М.П.; к.т.н., с.н.с. Чайка О.І.; к.т.н. Тельников Є.Я.; Чернишин О.Г.

Адреса редакції:
ДП «ІЦ «Сушка»» ІТТФ НАН України, вул. Булаховського, 2, корпус 2,
м. Київ, 03164, Україна.
Тел.: +380444240279, т/ф +380444243283.
E-mail: icsushka@gmail.com
ISSN 2521-6694 (Print), ISSN 2521-6708 (Online)

Key title: Keramika: nauka i zizn′
Abbreviated key title: Keram.: nauka zizn′
Parallel title: Keramika: nauka i zitta
Parallel title: Ceramics: science and life
URL: https://ceramic-journal.org.ua

Наклад – 200 екземплярів.
Видавництво: ТОВ «АГЕНТСТВО «УКРАЇНА»,
01054, Україна, м. Київ, вул. Гончара, 55
Свідоцтво про реєстрацію серії ДК № 265 від 30.11.2000 р.

International Journal of Research and Production «CERAMICS: Science and Life»

Founded in 2007 year.

Topics:
technology, equipment, materials, heat and mass transfer processes and devices, the theory and practice of drying, the energy efficiency of processes, environment, instrumentation, automation of production.

Frequency of publication:
4 times a year.

Certificate of state registration KB №13065-1949P from 13.08.2007 year.
The journal is included in the List of scientific professional editions of Ukraine on technical sciences
(Annex 7 to the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated 28.12.2017, No. 1714).
Indexed in electronic libraries, catalogs, repositories and international scientometric databases:
Crossref, Research Bible, Scientific Indexing Services, Journal Factor, Eurasian Scientific Journal Index, General Impact Factor, World Catalogue of Scientific Journals, Google Scholar, JIFACTOR, International Scientific Indexing (ISI), Vernadsky National Library of Ukraine, Cosmos Impact Factor, Scillit, DRJI, Citefactor, International Institute of Organized Research (I2OR).

Publishing languages:
Ukrainian, English.

Founders:
- The State Enterprise «Engineering Center «Drying» of Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine
- Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine
- LLC «Ukraine Ceramics Association»

Chief Editor
Academician of the NAS of Ukraine Anatoliy Dolinskiy
Deputy Editor
Corresponding member NAS of Ukraine Andriy Avramenko
Executive secretary
Sc.D., Senior scientist Alexandr Nedbailo

Members of the editorial board:
Dr.-Ing., Professor Hans-Bertram Fisher (Germany); Ph.D., Professor Yang Changhui (China); Professor Cristina Leonelli (Italy); Corresponding member NAS of Ukraine Yu. Snezhkin; Corresponding member NAS of Ukraine A. Avramenko; Sc.D., Professor P. Kryvenko; Corresponding member NAS of Ukraine B. Basok; Sc.D., Professor V. Gots; Sc.D., Professor L. Chernyak; Sc.D., Professor K. Pushkarova; Sc.D., Professor V. Petrovskiy; Ph.D., Professor P. Zakharchenko; Sc.D., Professor Ye. Pysmennyy; Sc.D., Professor Ya. Kornienko; Sc.D., Senior Scientist Zh. Petrova; Sc.D., Senior Scientist A. Obodovich; Sc.D., Professor A. Akulich (Belarus); Sc.D., Professor N. Dzherembaeva (Kazakhstan); Sc.D., Professor I. Nazarenko, Sc.D., Ass.Professor M. Kuzminec; Ph.D., Senior Scientist O. Chaika; Ph.D. E. Telnikov; O. Chernyshyn

Editorial address:
The State Enterprise «Engineering Center «Drying» Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine,
str. Bulakhovskogo, 2, Bldg. 2, Kyiv, 03164, Ukraine.
Tel.: +380444240279, tel./fax +380444243283.
E-mail: icsushka@gmail.com
ISSN 2521-6694 (Print), ISSN 2521-6708 (Online)

Key title: Keramika: nauka i zizn′
Abbreviated key title: Keram.: nauka zizn′
Parallel title: Keramika: nauka i zitta
Parallel title: Ceramics: science and life
URL: https://ceramic-journal.org.ua

Circulation - 200 copies.
Publishing: LLC «Agency «Ukraine»,
01054, Ukraine, Kyiv, Gonchara str., 55
Certificate of state registration: DK №265, 30.11.2000.



Директор «ІЦ «Сушка»» ІТТФ НАН України
Олександр **ЧЕРНИШИН**

Шановні читачі та прихильники науки!

Висловлюємо свою вдячність за увагу, яку Ви приділяєте нашому виданню. Журнал містить актуальну науково-технічну інформацію, що відображає стан розвитку сучасних енергоощадних технологій в галузі виробництва керамічної продукції та суміжних сферах.

Державне підприємство «Інженерний центр «Сушка»» Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України (ДП «ІЦ «Сушка»» ІТТФ НАН України) є провідною науково-технічною організацією, пріоритетними напрямками прикладних досліджень якої є комплексні розробки енергоощадних технологій, що дозволяють впроваджувати новітні теплотехнічні пристрої в різних складових промисловості та житлово-комунальному господарстві.

Фахівцями центру створені технології виробництва товстоплівкових електронагрівальних елементів з подовженим терміном експлуатації, підвищеною надійністю та зниженим енергоспоживанням при незмінній тепловій потужності у порівнянні з традиційними нагрівачами. Зниження собівартості виробництва продукції досягається шляхом використання струмопровідних паст без залучення до їх складу дорогоцінних металів на відміну від світових аналогів.

ДП «ІЦ «Сушка»» ІТТФ НАН України висловлює свою готовність до співпраці з науковими установами та виробничими підприємствами в сфері подальшого підвищення якісних характеристик різноманітної теплотехнічної продукції.

Будемо раді подальшій співпраці!

Зміст журналу
«КЕРАМІКА: наука і життя» № 1(50), 2021

Процеси тепломасообміну

В.В. Корсканов, О.М. Фесенко, В.Б. Долгошей
Структура, теплофізичні властивості та електропровідність
нанокомпозитів на основі епоксидного полімеру та карбонанотрубок 7

Технології

Ж.О. Петрова, Ю.П. Новікова
Підготовка сировини, створення композицій
та гранулоутворення з застарілих мулових відкладень, торфу та біомаси 14

О.В. Саввова, Г.К. Воронов,
О.І. Фесенко, Ю.О. Смирнова, Е. Байрамов
Інноваційні напрямки розроблення керамічних матеріалів для стоматології 19

О.М. Ободович, О.М. Недбайло,
О.Г. Чернишин, А.Є. Недбайло
Інтенсифікація розпушування азбестових
волокон за допомогою гідромеханічного оброблення 26

Contents of the journal
«CERAMICS: science and life» № 1(50), 2021

Heat mass transfer processes

V.V. Korskanov, O.M. Fesenko, V.B. Dolgoshey
Structure, thermophysical properties and electrical conductivity
of nanocomposites based on epoxy polymer and carbon tubes 7

Technologies

Zh.O. Petrova, Yu.P. Novikova
Preparation of raw materials, creation of compositions
and granulation from obsolete sludge, peat and biomass 14

O.V. Savvova, G.K. Voronov,
O.I. Fesenko, Yu.O. Smirnova, E. Bairamov
Innovative directions of development of ceramic materials for dentistry 19

O.M. Obodovich, O.M. Nedbailo,
O.G. Chernyshyn, A.E. Nedbailo
Intensification of loosening of asbestos
fibers by means of hydromechanical processing 26

Structure, thermophysical properties and electrical conductivity of nanocomposites based on epoxy polymer and carbon tubes

V.V. Korskanov[1] (ORCID 0000-0001-8204-5728), O.M. Fesenko[1] (ORCID 0000-0002-9609-3568), V.B. Dolgoshey[2] (ORCID 0000-0002-0147-3534)

[1] - Institute of physics of NAS of Ukraine, av. Nauki 46, Kyiv, 03028, Ukraine
Tel.: +380445251220
E-mail: vk_dsc@ukr.net, fesenko@iop.kiev.ua

[2] - National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", av. Peremogy, Bldg. 37, Kyiv, 03056, Ukraine
Tel.: +380931234802
E-mail: vdolgoshey@ukr.net

Article info: received 16.02.2021, revised 10.03.2021, accepted 30.03.2021

Korskanov, V.V., Fesenko, O.M., Dolgoshey, V.B. (2021) Structure, thermophysical properties and electrical conductivity of nanocomposites based on epoxy polymer and carbon tubes 1(50), DOI: 10.26909/csl.1.2021.1

The aim of this work was to find the optimal conditions for the formation of nanocomposites, study their structure and properties and conditions for the formation of multicomponent materials based on epoxy polymers and carbon nanotubes with predetermined performance properties.

The basis for the formation of epoxy polymers was an epoxydian oligomer (EDO) based on bisphenol A. Polypox H354 was used as a hardener for EDO.

Carbon nanotubes (CNT) were used as a nanofiller for the preparation of nanocomposites.

The research methods were a diffractometer for measuring the intensity of X-ray scattering in the region of small angles and a differential scanning calorimeter for obtaining heating thermograms.

The electrical conductivity of the samples at a temperature of 293 K was measured at direct current according to the two-electrode scheme.

In this work the structure, thermophysical properties and electrical conductivity of nanocomposites based epoxy polymers and carbon nanotubes have been studied. It was found that at low CNT content the formation of nanocomposites occurs by the mechanism of epoxy network growth, which is accompanied by the displacement of CNT particles to the periphery of the epoxy matrix. This process is accompanied by an increase in the scattering intensity of the SAXS, a rapid increase in the glass transition temperature and the degree of crosslinking of the epoxy polymer. When the critical concentration is reached, CNT particles form a continuous cluster, which leads to occurrence percolation threshold, reducing the glass transition temperature, expanding the glass transition range, occurrence of pores and reducing the degree of completion of the crosslinking reaction in nanocomposites relative to the epoxy polymer. It is established that the improvement of nanocomposite properties and the occurrence of the percolation threshold is due to the maximum specific energy of ER-CNT interaction and is achieved at a critical mass concentration of nanofiller from 0,1 % to 0,4 %.

Key words: carbon nanotubes, epoxy resin, structure, thermophysical properties, electrical conductivity.

Структура, теплофізичні властивості та електропровідність нанокомпозитів на основі епоксидного полімеру та карбонанотрубок

В.В. Корсканов[1], О.М. Фесенко[1], В.Б. Долгошей[2]

[1] - Інститут фізики НАН України, Київ, Україна
[2] - Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", Київ, Україна

Метою даної роботи було знайти оптимальні умови утворення нанокомпозитів, вивчити їх структуру та властивості та умови утворення багатокомпонентних матеріалів на основі епоксидних полімерів та вуглецевих нанотрубок із заданими експлуатаційними властивостями.

Основою для утворення епоксидних полімерів був епоксидний олігомер на основі бісфенолу А. Поліпокс Н354, що використовувався як затверджувач.

Вуглецеві нанотрубки використовувались як нанонаповнювач для одержання нанокомпозитів.

Методами дослідження були дифрактометрія для вимірювання інтенсивності розсіювання рентгенівських променів в області малих кутів та диференціальний скануючий калориметр для отримання термограм нагрівання.

Електропровідність зразків при температурі 293 К вимірювали постійним струмом за двоелектродною схемою.

У цій роботі досліджені структура, теплофізичні властивості та електропровідність нанокомпозитів на основі епоксидних полімерів та вуглецевих нанотрубок. Встановлено, що при низькому вмісті вуглецевих нанотрубок утворення нанокомпозитів відбувається за механізмом зростання епоксидної мережі, що супроводжується виштовхуванням частинок вуглецевих нанотрубок на периферію епоксидної матриці. Цей процес супроводжується збільшенням інтенсивності розсіювання SAXS, швидким підвищенням температури склування і ступенем зшивання епоксидного полімеру. При досягненні критичної концентрації частинки вуглецевих нанотрубок утворюють суцільний кластер, що призводить до появи порогу перколяції, зниження температури склування, розширення діапазону склування, появи пор і зменшення ступеня завершення реакції зшивання в нанокомпозитах відносно епоксиднго полімеру. Встановлено, що поліпшення властивостей нанокомпозитів та виникнення порогу перколяції зумовлені максимальною питомою енергією взаємодії ER-CNT та досягаються при критичній масовій концентрації нанонаповнювача від 0,1 % до 0,4 %.

Вступ

Вуглецеві нанотрубки (ВНТ), завдяки своїм високим механічним властивостям, унікальним геометричним параметрам (значне відношення довжини до діаметра), високій питомій поверхні, тепло- та електропровідності, є ефективними наповнювачами для отримання полімерних нанокомпозитів (НК) із заданими високими експлуатаційними властивостями [1, 2]. У XXI столітті такі НК отримали широке застосування в галузі біомедичної науки [3], як анодний матеріал для натрієвих та літій-іонних батарей [4], у високопродуктивних суперконденсаторах [5], провідних аерокосмічних клеях [6], для просування електроніки наступного покоління [7] тощо.

Епоксидні полімери (ЕП), які характеризуються високою термостійкістю, значною адгезією до різних матеріалів (металів, скла, кераміки тощо), широко використовуються як клеї, антикорозійні покриття, герметики, та є перспективними як полімерні матриці для приготування інноваційних НК [8, 9].

Саме тому нанокомпозити на основі ЕП та УНТ, які поєднують корисні властивості кожного з компонентів, представляють великий інтерес для дослідників [10 - 15].

Метою даної роботи було відпрацювання оптимальних умов формування НК, вивчення їх структури, властивостей та умов формування багатокомпонентних матеріалів на основі ЕП та ВНТ з наперед заданими експлуатаційними властивостями.

Матеріали та методи дослідження

Основою для формування НК слугував епоксидіановий олігомер (ЕДО) на основі бісфенолу А, з густиною ρ = 1150 кг/м^3 при 293 К (торгова марка DER 321 від DOW Chemical) [16]. Як отверджувач для ЕДО був використаний Polypox H354 (виробник UPPC (ФРН)) [17].

В якості нанонаповнювача для приготування НК використовували ВНТ з густиною 2100 кг/м^3, зовнішнім діаметром 20 нм та питомою поверхнею 196000 м^2/кг [18].

Вихідний епоксидний полімер отримували змішуванням ЕДО з Polypox H354 у співвідношенні 100:52 вагових частин, відповідно. Суміш витримували 24 години при кімнатній температурі на протязі згідно технологічним вимогам виробника (ЕП-І). Подальше термічне зшивання проводили на протязі 4-х годин при температурі 473 К (ЕП-ІІ).

Формування НК проводили суміщенням розрахованої кількості УНТ з ЕДО, активного перемішування та наступною обробкою ультразвуком при частоті 44 МГц на протязі однієї години. Після додавання Polypox H354 та перемішування зразки ЕП-І+ВНТ формували на тефлоновій підложці при температурі 293 К на протязі 24 годин. Зразки ЕП-ІІ+ВКНТ були отримані високотемпературним доотвердженням зразків серії ЕП-І+ВНТ при температурі 473 К на протязі 4 годин.

Схематично процес приготування НК представлено на рис. 1.

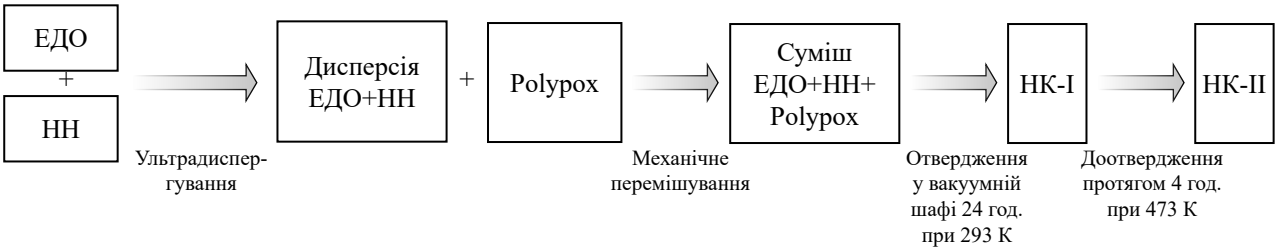


Рис. 1. Схема приготування НК

Таким чином були отримані зразки ЕП та серії НК з масовим вмістом ВНТ від 0,05 до 1,0 % та досліджені їх властивості.

Криві малогокутового розсіювання рентгенівських променів (МКРП) були отримані у вакуумній камері типу Краткі, за допомогою дифрактометра КРМ-1. Вимірювання проводили з використанням мідного анода, монохромованого нікелевим фільтром в режимі багатоступеневого сканування в діапазоні розсіювання 2θ від 0,0124 до 12,0. Довжина хвилі рентгенівського випромінювання становить λ = 0,154 нм [18].

Густину ρ зразків визначали методом гідростатичного зважування у еталонному ізооктані.

Термограми ДСК були отримані в температурному інтервалі 253 - 443 К при швидкості нагрівання 5 К/хв. за допомогою калориметра Q2000 (TA Instrument (USA).

Електропровідність зразків при температурі 293 ± 2 К вимірювали на постійному струмі за двохелектродною схемою, описаною в [19].

Результати та їх обговорення

На рис. 2 показані МКРП криві для ЕП-ІІ, ВНТ, ЕП-ІІ + 0,1 % ВНТ та ЕП-ІІ + 1,0 % ВНТ.

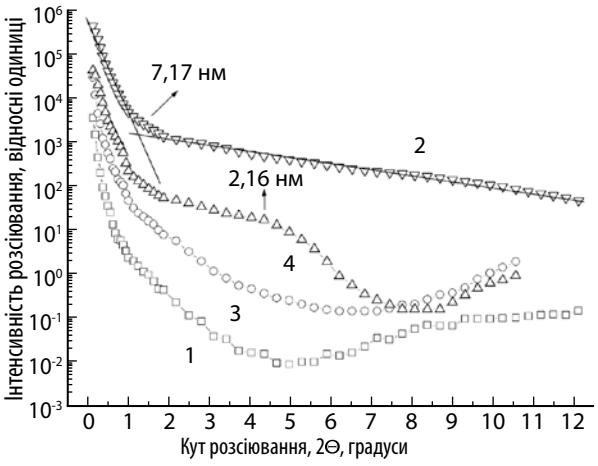


Рис. 2. Криві МКРП для ЕП-ІІ (1), ВНТ (2), ЕП-ІІ + 0,1 % ВНТ (3) та ЕП-ІІ + 1,0 % ВНТ (4)

Крива МКРП чистого ЕР-ІІ (див. крива 1 на рис. 2) характеризується низьким рівнем розсіювання рентгенівських променів та формою, типовою для аморфних систем. На відміну від цього, крива розсіювання рентгенівських променів від ВНТ має високий рівень розсіювання і відповідає моделі «пухкого клубка» із середнім діаметром близько 7,17 нм (крива 2 на рис. 2) [22]. Для зразка ЕП-ІІ + 0,1 % ВНТ крива МКРП також характерна для аморфних систем, але інтенсивність розсіювання вища, ніж для вихідного ЕП-ІІ. На кривій розсіювання для ЕП-ІІ + 1,0 % ВНТ ми бачимо плато з характерним середнім розміром близько 2,16 нм (крива 4 на рис. 2). На наш погляд, це плато разом з високим рівнем розсіювання відповідає порам у структурі зразка.

Отримані температурні залежності теплоємності зразків (рис. 3) є типовими для НК на основі ЕП [20].

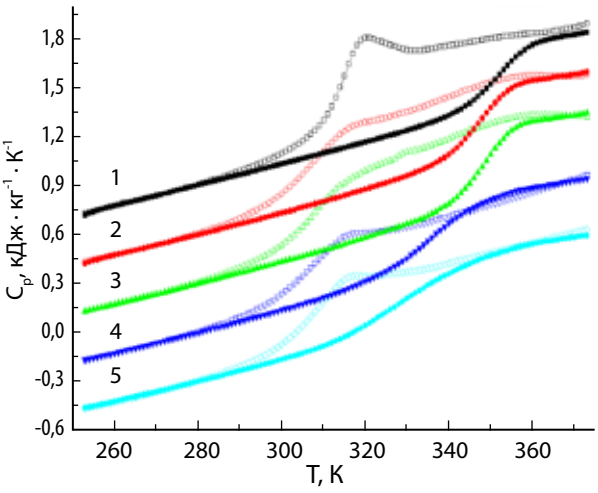


Рис. 3. Термограми ДСК досліджених зразків. Світлі позначення – зразки серії ЕП-І, темні – зразки серії ЕП-ІІ. Масовий вміст ВНТ: 1 – 0 %, 2 – 0,05 % (термограми зсунуті по осі ординат на – 0,4 кДж/(кг×К)), 3 – 0,1 % (термограми зсунуті по осі ординат на – 0,6 кДж/(кг×К)), 4 – 0,5 % (термограми зсунуті по осі ординат на – 0,9 кДж/(кг×К)), 5 – 1,0 % (термограми зсунуті по осі ординат на – 1,2 кДж/(кг×К))

На термограмі ДСК для ЕП-І чітко вирізняється стрибок теплоємності при температурі склування T_g, на який накладається ендотермічний релаксаційний ефект в області температур 317 - 334 К (рис. 3). У термообробленому зразку (ЕП-ІІ) ендотермічний ефект зникає, а T_g значно підвищується. На термограмах НК зразків серії ЕП-І з ростом вмісту БКНТ ендотермічний ефект стає значно меншим, а стрибок теплоємності при склуванні ΔC_p зменшуються. У зразках серії ЕП-ІІ, як T_g, так і ΔC_p з ростом w проявляють тенденцію до зниження.

З рис. 3. видно, що при термообробці нанокомпозитів та зі зміною складу характеристики процесів склування еволюціонують. Це значить, що змінюються і параметри структурної кооперативної реорганізації НК.

Усереднений об'єм областей кооперативності структурної реорганізації при склуванні розраховували за формулою [21]

$$v_{\text{кооп}} = k \cdot T_g^2 / (\Delta C_p \cdot \rho \cdot (\Delta T_g / 2)^2), \qquad (1)$$

де k = 1,38×10^{-23} Дж/К – постійна Больцмана, Tg – температура склування, ΔC_p – стрибок теплоємності при склуванні, ΔTg – температурний інтервал процесу склування.

У першому наближенні вважали, що області кооперативності структурної перебудови є сферичними, їх середній діаметр визначали за формулою

$$d = (3\, v_{\text{кооп}}/4\pi)^{1/3}. \qquad (2)$$

Формально за розмір областей структурних перебудов при склуванні можна вважати характеристику рухливості її складових, тобто, чим вища рухливість складових речовини – тим менший розмір кооперативності. І навпаки чим менша рухливість складових речовини – тим менша їх індивідуальність.

Процес еволюції термограм під час формування епоксидного полімеру ЕП наведено на рис. 4.

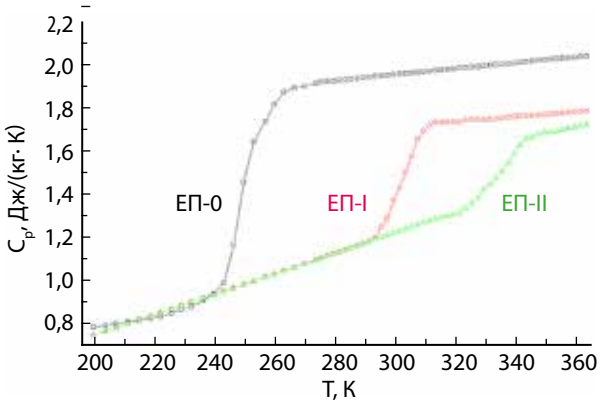


Рис. 4. Еволюція термограм ДСК при формуванні епоксидного полімеру ЕП

Отримане значення T_g = 305,7 К для ЕП-І значно перевищує відповідну величину для вихідного незшитого ЕП (T_{g0} = 242,0 К), а стрибок теплоємності ΔC_p = 0,547 кДж/(кг×К) – значно менший ΔC_{p0} = 0,951 кДж/(кг×К) – для ЕП (рис. 3). Для зразка, що зазнав термообробки (ЕП-ІІ), ці величини складають T_g = 348,0 та ΔC_p = 0,382 кДж/(кг×К), відповідно.

Ступінь завершеності реакції зшивання α епоксидного полімеру оцінювали за рівнянням Ді Бенедетто, що раніше засвідчило свою придатність для багатьох сітчастих полімерних систем, в тому числі і полімерних сіток на епоксидній основі [22]

$$\alpha = \left[\frac{\Delta C_p}{\Delta C_{p0}} \cdot \frac{T_{g\infty} - T_g}{T_g - T_{g0}} + 1 \right]^{-1}, \qquad (3)$$

де T_{g0}, ΔC_{p0} – температура склування та стрибок теплоємності при склуванні неотвердженого ЕП, T_g, ΔC_p – відповідні значення для досліджуваного зразка, $T_{g\infty}$ – температура склування ЕП після термічного доотвердження.

Подальше обговорення отриманих результатів будемо проводити шляхом аналізу концентраційних залежностей теплофізичних властивостей за результатами таблиці 1.

Підвищення температури склування зразків T_g серії ЕП-І разом з відповідним розширенням температурного інтервалу склування ΔT_g і значним зменшенням ΔC_p при збільшенні вмісту ВНТ до w = 0,1 % свідчать про те, що в даній області складів ВНТ виступає як армуючий наповнювач щодо ЕП і приводить до збільшення гетерогенності НК. При подальшому підвищенні w значення T_g і ΔT_g, проходять через максимум при $w_н$ = 0,1 % і залишаються приблизно однаковими при вищих $w_н$. На нашу думку, при w > 0,1 % термодинамічний стан ЕП-І залишається сталим, а зменшення ΔC_p відбувається за рахунок зростання кількості контактів полімер-ВТН внаслідок підвищення валової питомої поверхні ВНТ.

Для зразків серії ЕП-ІІ температура склування у всьому інтервалі складів знижується з ростом w. Це свідчить про те, що у нанокомпозитах ВНТ утворюють стеричні перешкоди для формування полімерної сітки, які діють на структуру НК подібно до пластифікатора. Інтервал склування ΔT_g, проходячи через мінімум при w = 0,1 %, залишається приблизно сталим. Значення стрибка теплоємності ΔC_p зростають при вмісті ВНТ w < 0,1 %, проходять через свій максимум при w = 0,1 % і тяжіють до зменшення при w > 0,1 %.

Це призводить до того, що ступінь зшивання НК в цій області композиції зростає із збільшенням

Таблиця 1.

Теплофізичні характеристики досліджених зразків

№	Зразок	T_g, К	ΔT_g, К	ΔC_p, Дж/(кг×К)	ρ, кг/м^3	$v_{кооп}$, нм^3	d, нм	a
1	ЕП-0	242,0	25,1	0,951	1111,0	48,5	2,26	0,000
2	ЕП-І	305,7	39,4	0,547	1166,0	52,1	2,32	0,724
3	ЕП-І+0,05 %ВНТ	306,6	45,2	0,530	1166,5	41,1	2,14	0,737
4	ЕП-І+0,08 %ВНТ	307,5	47,0	0,445	1167,0	45,5	2,21	0,776
5	ЕП-І+0,1 %ВНТ	309,3	48,6	0,408	1167,2	47,0	2,24	0,802
6	ЕП-І+0,2 %ВНТ	308,5	39,0	0,371	1168,0	79,7	2,67	0,812
7	ЕП-І+0,3 %ВНТ	308,8	39,6	0,358	1169,5	94,0	2,82	0,819
8	ЕП-І+0,4 %ВНТ	308,6	39,2	0,305	1170,5	95,8	2,84	0,840
9	ЕП-І+0,5 %ВНТ	308,7	39,4	0,291	1170,0	99,5	2,87	0,847
10	ЕП-І+1,0 %ВНТ	308,7	39,4	0,263	1168,0	110,3	2,97	0,912
11	ЕП-ІІ	348,0	26,2	0,382	1167,0	218,4	3,74	1,000
12	ЕП-ІІ+0,05 %ВНТ	346,5	25,3	0,454	1167,5	195,3	3,60	0,993
13	ЕП-ІІ+0,08 %ВНТ	346,2	25,4	0,510	1168,0	172,1	3,45	0,991
14	ЕП-ІІ+0,1 %ВНТ	345,5	25,3	0,530	1168,0	166,3	3,41	0,987
15	ЕП-ІІ+0,2 %ВНТ	344,5	27,5	0,424	1169,0	174,8	3,47	0,985
16	ЕП-ІІ+0,3 %ВНТ	342,0	30,2	0,420	1170,0	144,0	3,25	0,974
17	ЕП-ІІ+0,4 %ВНТ	338,1	36,4	0,414	1171,0	98,2	2,86	0,957
18	ЕП-ІІ+0,5 %ВНТ	336,0	40,4	0,410	1172,0	79,5	2,67	0,948
19	ЕП-ІІ+1,0 %ВНТ	333,2	48,3	0,339	1168,2	48,0	2,55	0,945

вмісту ВНТ (таблиця 1), тобто нанонаповнювач діє як ініціатор зшивання для нанокомпозитів. Це призводить до того, що ступінь зшивання НК α в цій області композиції зростає зі збільшенням вмісту ВНТ, тобто нанонаповнювач виступає ініціатором зшивання нанокомпозитів. Очевидно, що це результат ультразвукової дисперсії ЕДО з ВНТ на початковій стадії утворення нанокомпозитів (рис. 1).

При подальшому збільшенні w значення T_g і ΔT_g проходять через максимум при w = 0,1 - 0,2 % і залишаються приблизно однаковими при вищому w. На наш погляд, при w = 0,1 - 0,2 % термодинамічний стан ЕП-І залишається постійним, а зменшення ΔC_p відбувається за рахунок збільшення кількості контактів полімер-нанонаповнювач за рахунок збільшення загальної питомої поверхні площі ВНТ.

Обговорення результатів впливу термічного доотвердження на теплофізичні властивості НК проведемо з аналізу складових рівняння (3). Різниця температур ($T_g - T_{g0}$) формально відображає загальний ефект зшивання НК. Нижчі значення цієї різниці у ЕП-І по відношенню до ЕП-ІІ свідчить про неповне зшивання компонентів у них. Зменшення значень ($T_g - T_{g0}$) у ЕП-ІІ зі збільшенням w свідчить про вплив ВНТ як стеричних перешкод для утворення сітки зв'язків навіть у цілком сформованому НК.

Концентраційна залежність ступеня зшивання та розмірів кооперативності структурних перебудов приведена на рис. 5.

Як видно з рис. 5 величини d та α цілком корелюють з приведеними вище висновками. Ці уявлення цілком підтверджуються наявністю порога перколя-

ції електропровідності при w = 0,1 - 0,2 % (рис. 6). Очевидно, що вищезазначена поведінка властивостей НК у першу чергу обумовлена максимальною енергією термодинамічної взаємодії у цій області складів [23].

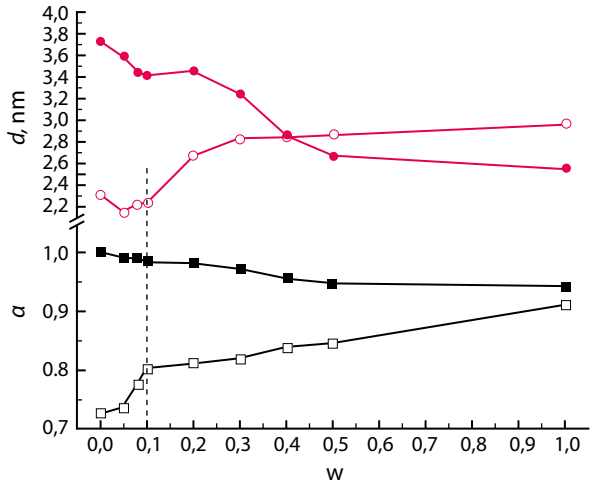


Рис. 5. Концентраційна залежність ступеня зшивання та розмірів кооперативності структурних перебудов

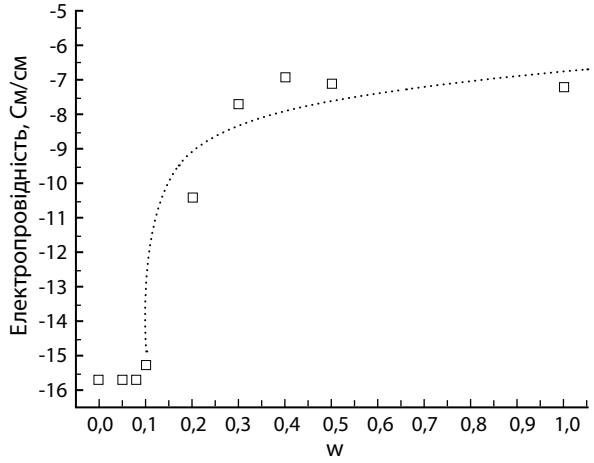


Рис. 6. Концентраційна залежність електропровідності досліджених НК

Висновки

Виявлено, що при малому вмісті УНТ формування нанокомпозитів відбувається по механізму росту епоксидної сітки, що супроводжується витісненням частинок УНТ на периферію епоксидної матриці. Цей процес супроводжується збільшенням інтенсивності розсіювання МКРП, швидким ростом температури склування та ступеня зшивки епоксидного полімеру. При досягненні критичної концентрації, частинки УНТ створюють неперервний кластер, що приводить до виникнення порогу перколяції електропровідності, зменшення температури склування, розширення температурного інтервалу склування, виникнення пор та зменшення ступеня завершеності реакції зшивання у нанокомпозитах по відношенню до епоксидного полімеру. Встановлено, що покращення властивостей нанокомпозитів та виникнення порогу перколяції обумовлено максимальною питомою енергією взаємодії ЕП-УНТ і досягається при критичній масовій концентрації нанонаповнювача від 0,1 % до 0,4 %.

Роботу проведено в рамках НДДКР № 0121U1 00695.

References

1. *Kumar, S.D., Alagarsamy, S.V., Chanakyan, C., Meignanamoorthy, M., Sakthivelu, S.* Processing and properties of carbon nanotube reinforced composites: A review. Materialstoday: Processing. – 2020. – 27. – P. 1152 - 1156. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.006

2. *Pantano, A., Modica, G., Cappello, F.* Multiwalled carbon nanotube reinforced polymer composites. Materials Science and Engineering: A. – 2008. – 486 (1-2). – P. 222 - 227. https://doi.org/10.1016/j.msea.2007.08.078

3. *Anzar, N., Hasan, R., Tyagi, M., Yadav, N., Narang, J.* Carbon nanotube - A review on Synthesis, Properties and plethora of applications in the field of biomedical science. Sensors International. – 2020. – 1. https://doi.org/10.1016/j.sintl.2020.100003

4. *Zhong, S., Liu, H., Wei, D., Hu, J., Zhang, H., Hou, H., Peng, M., Zhang, G., Duan, H.* Long-aspect-ratio N-rich carbon nanotubes as anode material for sodium and lithium ion batteries. Chemical Engineering Journal. – 2020. – 395. https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.125054

5. *Liu, R., Sun, Sh., Zhong, R., Zhang, H., Wu, X.* Nitrogen-doped microporous carbon coated on carbon nanotubes for high performance supercapacitors. Microporous and Mesoporous Materials. – 2020. – 305. https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2020.110300

6. *Jakubine, M.B., Ashrafi, B., Zhang, Yu., Martinez-Rubi, Y., Ch, T., Kingston, A., Simard, B.* Single-walled carbon nanotube–epoxy composites for structural and conductive aerospace adhesives. Composites Part B: Engineering. – 2015. – 69. – P. 87 - 93. https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.09.022

7. *Niu, T.* Carbon nanotubes advance next-generation electronics. Nanotoday. – 2020. – 35, 100992. https://doi.org/10.1016/j.nantod.2020.100992

8. *Muñoz, B.K., Bosque, A., Sánchez, M., Utrilla,*

V., Prolongo, S.G., Prolongo, M.G., Ureña, A. Epoxy resin systems modified with ionic liquids and ceramic nanoparticles as structural composites for multifunctional applications. Polymer. – 2020, 123233. https://doi.org/10.1016/j.polymer.2020.123233
9. *Verma, Ch., Olasunkanmi, L.O., Akpan, E.D., Quraishi, M.A., Dagdag, O., El Gouri, M., Sayed, E., Sherif, M., Ebenso, E.E.* Epoxy resins as anticorrosive polymeric materials: A review. Polymer. – 2020, 104741. https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2020.104741
10. *Chen, J., Han, J.* Effect of hydroxylated carbon nanotubes on the thermal and electrical properties of derived epoxy composite materials. Results in Physics. – 2020. – 18, 103246. https://doi.org/10.1016/j.rinp.2020.103246
11. *Aslan, A., Salur, E., Düzcükoğlu, H., Sinan Şahin, Ö., Ekrem, M.* The effects of harsh aging environments on the properties of neat and MWCNT reinforced epoxy resins. Construction and Building Materials. – 2021. – 22, 1211929. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121929
12. *Luo, H., Qiu, J.* Carbon nanotubes/epoxy resin metacomposites with adjustable radio-frequency negative permittivity and low dielectric loss. Ceramics International. – 2019. – 45 (1). – P. 843 - 848. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2018.09.253
13. *Roy, D., Tiwari, N., Mukhopadhyay, K., Kumar Saxena, A.* The effect of a doubly modified carbon nanotube derivative on the microstructure of epoxy resin. Polymer. – 2014. – 55 (2). – P. 583 - 593. https://doi.org/10.1016/j.polymer.2013.12.012
14. *Bui, K., Dimitrios, G., Papavassiliou, V.* Heat transfer in high volume fraction CNT nanocomposites: Effects of inter-nanotube thermal resistance. Chemical Physics Letters. – 2011. – 508 (4-6). – P. 248 - 251. https://doi.org/10.1016/j.cplett.2011.04.005
15. *Kharitonov, A.P., Simbirtseva, G.V., Tkachev, A.G., Blohin, A.N., Dyachkova, T.P., Maksimkin, A.A., Chukov, D.I.* Reinforcement of epoxy resin composites with fluorinated carbon nanotubes. Composites Science and Technology, – 2015. – 107. – P. 162 - 168. https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2014.12.002
16. https://www.yumpu.com/en/document/view/17990242/epoxy-resins-product-overview-the-dow-chemical-company
17. https://www.freepatentsonline.com/y2016/0289492
18. *Лемеш, Н.В., Лысенков, Э.А., Гомза, Ю.П., Клепко, В.В. и др*. Структура многослойных углеродных нанотрубок, полученных каталитическим разложением этилена на наночастицах никеля. Український хімічний журнал. – 2010. – 76, №5. – С. 29 - 36
19. *Корсканов, В.В., Привалко, В.П., Венцель, М., Чжанг, Ч., Алиг, И.* Тепло- и электропроводность сшитых эпоксидных смол. – 2004. – Т. 26 (3). – С. 167 - 171.
20. *Корсканов, В.В.* Термодинаміка формування та теплофізичні властивості нанокомпозитів на основі епоксидного полімеру та карбонанотрубок. – 2013. – №11. – С. 83 - 89.
21. *Donth, E.* The size of cooperatively rearranging regions at the glass transition. Journal of Non-Crystalline Solids. – 1982. – Vol. 53 (3). – P. 325 - 330. https://doi.org/10.1016/0022-3093(82)90089-8
22. *Montserrat, S.* Effect of crosslinking density on DC_p (T_g) in an epoxy network. Polymer. – 1995. – Vol. 36. No. 2. – P. 435 - 436.

Preparation of raw materials, creation of compositions and granulation from obsolete sludge, peat and biomass

Zh.O. Petrova (ORCID 0000-0001-7385-8495), Yu.P. Novikova (ORCID 0000-0002-6705-1000)

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, str. Bulakhovskogo, 2, Bldg. 1, Kyiv, 03164, Ukraine
Tel.: +380444249639, +380635275640
E-mail: bergelzhanna@ukr.net, yuliianovikova3@gmail.com

Article info: received 04.02.2021, revised 17.02.2021, accepted 23.03.2021

Petrova, Zh.O., Novikova, Yu.P. (2021) Preparation of raw materials, creation of compositions and granulation from obsolete sludge, peat and biomass 1(50), DOI: 10.26909/csl.1.2021.2

The article presents research on the preparation of raw materials, creation and granulation of compositions from obsolete sludge deposits of peat and biomass. Studies of raw material preparation processes have shown that obsolete sludge deposits have excessive ash content. To reduce ash content, it is advisable to add peat and biomass to sludge. During the study of peat, it was determined that peat extracted from the floodplain of Irpen has a high ash content, so for further research used peat from Chernihiv.

The created compositions were subjected to granulation in different compositions and ratios. Preliminary dehydration of peat in the drying cabinet and moistening of the sludge were performed to create different sludge-peat mixtures with different moisture content of sludge and peat. When creating two-component compositions to sludge-peat add biomass. Studies have allowed us to choose the optimal ratio for granulation.

Key words: sludge, peat, biomass, preparation, granulation.

Підготовка сировини, створення композицій та гранулоутворення з застарілих мулових відкладень, торфу та біомаси

Ж.О. Петрова, Ю.П. Новікова

Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, Україна

У статті наведені дослідження з підготовки сировини, створення та гранулоутворення композицій з застарілих мулових відкладень, торфу та біомаси. Проведені дослідження процесів підготовки сировини, показали, що застарілі мулові відкладення мають перевищену зольність. Для зменшення зольності до мулових осадів доцільно додавати торф та біомасу. При досліджені торфу було визначено, що торф добутий з пойми міста Ірпеня має високу зольність, тому для подальших досліджень використано торф з міста Чернігова.

Створені композиції піддавали гранулюванню при різних композиціях та співвідношеннях. Для створення різних мулоторф'яних сумішей із різною вологістю мулу та торфу проводили попереднє зневоднення торфу в сушильній шафі та зволоження мулу. При створенні трьохкомпонентних композицій до мулоторф'яних сумішей додаємо біомасу. Проведені дослідження дозволили підібрати оптимальне співвідношення для гранулювання.

Вступ

В Україні існує проблема так званих мулових майданчиків з муловими відкладеннями, яким понад 30 років. Ці відкладення майже не мають органічних домішок, що ускладнює процес їх переробки. Обмежене використання мулових відкладень обумовлене наявністю великої кількості мінеральних та токсичних речовин і відсутність технології їх утилізації [1].

Мета роботи полягає у проведенні дослідження процесів підготовки та гранулоутворнення композиції на основі мулових відкладень, торфу та біомаси для подальшої обробки.

Матеріали та методи дослідження

Створення композицій проводилося з застарілих мулових осадів очисних споруд (м. Фастів), торфу та біомаси у різних співвідношеннях. До компози-

цій додавався торф з родовища ДП «Чернігівторф» (м. Чернігів) та з пойми Ірпеня. Біомасу додавали на прикладі тирси та лузги гречки.

Застарілий муловий осад доставлений з м. Фастова Київської області і мав початкову вологість – 63,1 %, органічну складову – 53,7 % до абс. сухої маси та зольність – 47,3 % до абс. сухої маси (рис. 1).

В лабораторії відділу ТМПТ Інституту технічної теплофізики НАН України проведені дослідження із визначення вологості та зольності мулових відкладень, торфу, лузги гречаної, тирси та створені на їх основі дво- та трьохкомпонентні композиції (рис. 1).

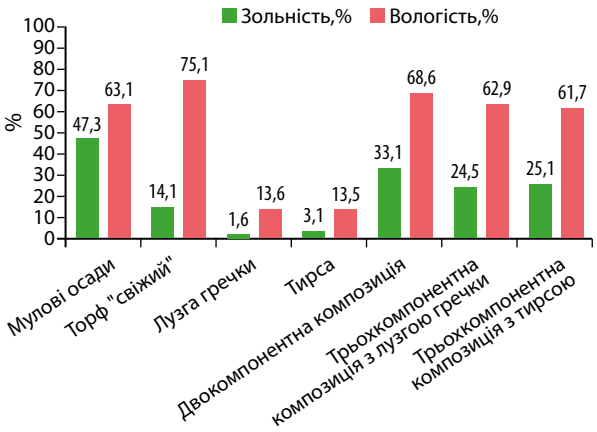


Рис. 1. Визначення зольності і вологості мулових осадів, торфу, лузги гречки, відходів деревини (тирси) та їх композицій

Результати та їх обговорення

З рисунка 1 видно, що зольність мулових осадів становить 47,3 %, що не допустимо при спалюванні. Торф з родовища ДП «Чернігівторф» має достатньо низку зольність 14,1 %. При поєднані цих матеріалів зольність композиції становить 33,1 %, що також перевищує допустимі норми при спалюванні гранул. Зольність біомаси у тирси – 3,1 %, а лузги гречки – 1,6 %. Для підвищення якості і зменшення зольності мулоторфяних гранул доцільно до них додавати тирсу та лузгу гречки. Зольність трьохкомпонентних сумішей становить 25 %.

Приготування композицій проводили за етапами:

1. При приготуванні робочої суміші з чистого застарілого мулу проводився відбір з нього дрібного каміння, пробок від пластикових пляшок, плівки та іншого сміття значних розмірів.
2. При наявності грудок торф розтирався до однорідної маси. Біомаса розмелювалася до мілкої фракції.
3. Після цього замішувався мул з торфом вручну у різних пропорціях з утворенням мулоторф'яної суміші. При замішуванні був відчутний неприємний запах.
4. Під час створення трьохкомпонентних композиції до мулоторф'яної композиції додавалася тирса або гречана лузга (визначено умовами гранулювання).
5. Для створення мулоторф'яних сумішей із різною вологістю мулу та торфу проводили їх попереднє зневоднення в сушильній шафі.
6. Створені композиції залишали на деякий час для усереднення.

На основі застарілих мулових відкладень з вологістю 63,1 % та торфу з вологістю 75,1 % при змішуванні в підібраних пропорціях були створені різні комбінації. Композиції замішувались досить легко на протязі 5 - 10 хв.

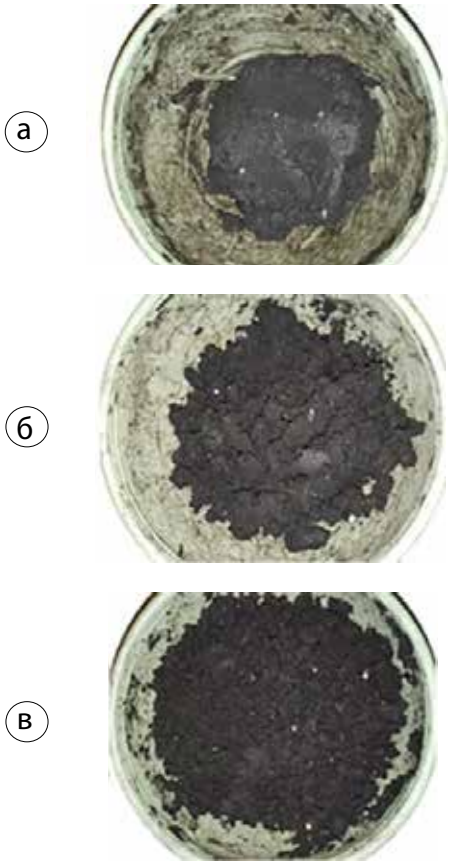


Рис. 2. Композиції: а) співвідношення 1; б) співвідношення 2; в) співвідношення 3

Перше співвідношення: мало вигляд однорідної густої пасти (рис. 2 а) [1]. Друге співвідношення: мало вигляд однорідної розсипчастої маси, яка місцями зліплена в грудки (рис. 2 б) [2]. Третє співвідношення: мало вигляд однорідної розсипчастої маси (рис. 2 в) [3].

Після замішування сумішей їх гранулювали в гідравлічному пресі HLR – 12 під тиском 2,118 - 2,197 МПа. Для отримання необхідної кількості кожну суміш гранулювали на протязі 1 години.

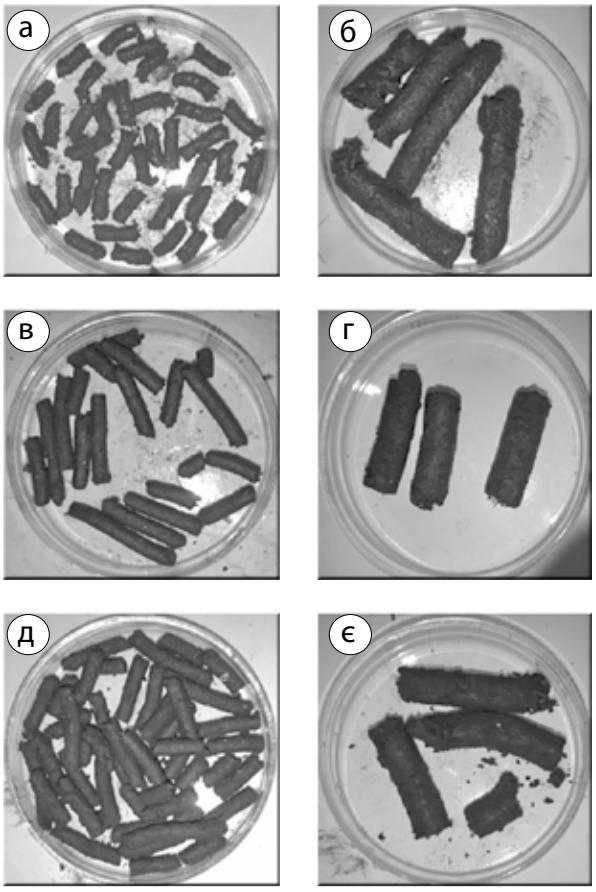


Рис. 3. Отримані гранули з суміші:
– співвідношення 1: а) *d* = 6 мм; б) *d* = 12 мм;
– співвідношення 2: в) *d* = 6 мм; г) *d* = 12 мм;
– співвідношення 3: д) *d* = 6 мм; є) *d* = 12 мм

Гранули за першою комбінацією вологі, слизькі, м'які, при малих навантаженнях руйнують форму та злипаються (рис. 3 а, б). В порівнянні з першою гранули за другою комбінацією твердіші, руйнують форму при більших навантаженнях та не злипаються (рис. 3 в, г). Гранули за третьою комбінацією самі тверді в порівнянні з двома іншими, крихкі та не злипаються (рис. 3 д, є) [1 - 3].

В результаті змішування двокомпонентної композиції (торф з «Чернігівторф», застарілі мулові відкладення з м. Фастів) різної вологості та пропорції були отримані мулоторф'яні гранули з різною початковою вологістю (рис. 4).

Композиція 1 та 2 створенні з мулових відкладень вологістю 63,1 % та торфом з вологістю 75,1 % та 45,1 % відповідно. Композиція 3 та 4 – з мулових відкладень вологістю 70,1 % та торфом з вологістю 75,1 % та 45,1 % відповідно. Композиції 5, 6, 7 – з мулових відкладень вологістю 75,9 % та торфом з вологістю 75,1 %, 45,1 % та 20,1 % відповідно.

При вологості мулу 63,1 % та 70,1 % при замішуванні з торфом вологістю 45,1 % сформовані гранули були крихкими та розсипалися, тому з торфом 20,1 % створення композицій не доцільно. В композиції 7 гранули були сформовані тільки за першим співвідношенням.

На рис. 5 зображено зміна зольності та вмісту органічних речовин в залежності від співвідношення складу гранул. Чим більше в співвідношенні мулових відкладень тим більше зольність та менше вміст органічних речовин.

Також створені трьохкомпонентні композиції з торфу з вологістю 75,13 %, зольністю 14,11 %; застарілі мулові осади з вологістю 63 %, зольністю 47,33 % та біомаса (лузга гречки з вологістю 13,6 %, зольністю 1,6 %; відходи деревини (тирси) з вологістю 13,5 %, зольністю 3,1 %).

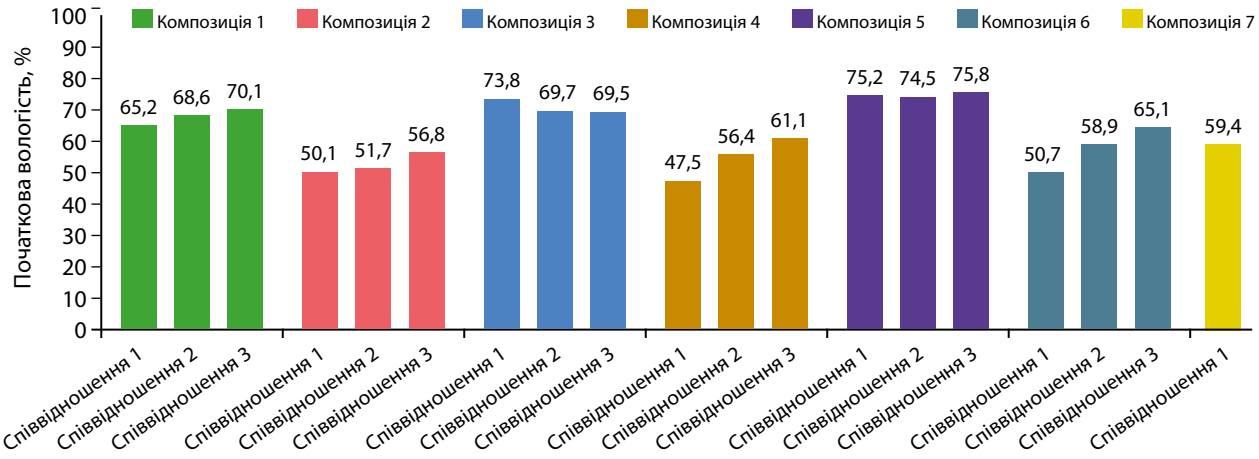


Рис. 4. Змінна початкової вологості в залежності від композиції та співвідношення складу гранул

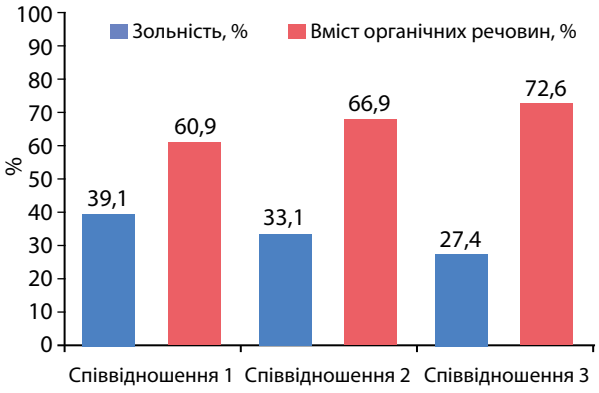


Рис. 5. Зміна зольності та вмісту органічних речовин в залежності від співвідношення складу гранул

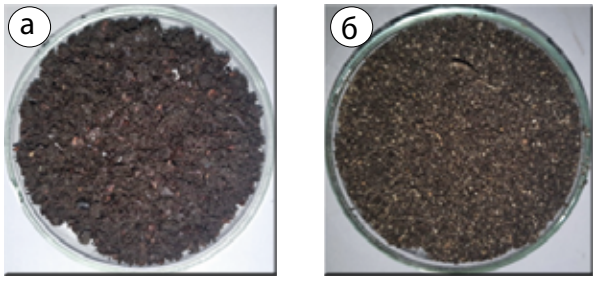


Рис. 6. Трьохкомпонентні композиції: а) з лузгою гречки; б) з тирсою

Композиція з лузгою гречки комкувалася (рис. 6 а). Композиція з тирсою була розсипчастою (рис. 6 б). Гранули формували під тиском 1,961 - 3,923 МПа. Сформовані гранули з трьохкомпонентних композицій не злипаються, при невеликих навантаженнях руйнуються (рис. 7).

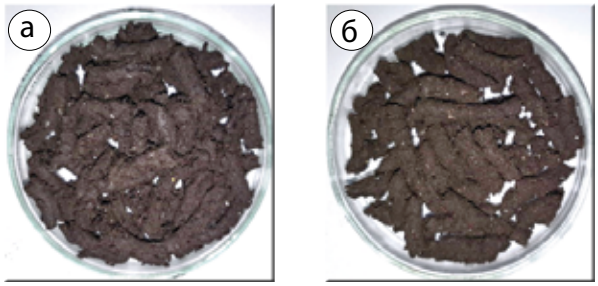


Рис. 7. Отримані трьохкомпонентні гранули: а) з лузгою гречки; б) з тирсою

Як видно з рис. 8, трьохкомпоненті гранули мають меншу зольність та більший вміст органічних речовин в порівнянні з двокомпонентними.

Створені композиції на основі застарілих мулових відкладень з вологістю 63,1 % та торфу з пойми Ірпеня з вологістю 55,13 % та зольністю 47,3 % ви-

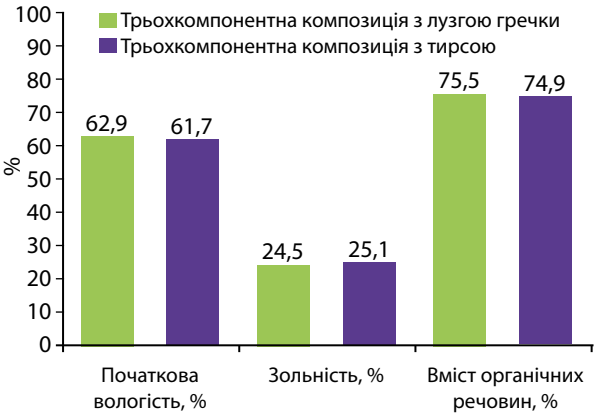


Рис. 8. Зміна початкової вологості гранул, зольності та вмісту органічних речовин від складу композиції

глядали так само, як із торфом з ДП «Чернігівторф», але формування суміші було довше. Перше співвідношення: легко замішувалась на протязі 10 хвилин, після цього суміш мала вигляд однорідної густої пасти. Друге співвідношення: в порівняні з першою замішувалась складніше на протязі 15 хвилин, після цього суміш мала вигляд однорідної розсипчастої маси, яка місцями зліплена в грудки. Трете співвідношення: замішувалась досить складно на протязі 20 - 25 хвилин, після цього суміш мала вигляд однорідної розсипчастої маси.

Як видно з рисунка 9, композиції з торфом з пойми Ірпеня мають перевищену зольність, яка більше допустимих норм при спалюванні. Тому ці гранули не підходять для подальшої роботи.

Створені дво- та трьохкомпонентні суміші гранулювали і піддавали сушінню на конвективному сушильному стенді.

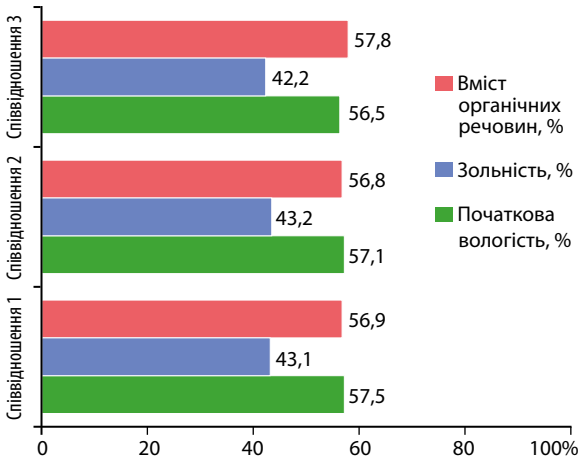


Рис. 9. Зміна початкової вологості гранул, зольності та вмісту органічних речовин від складу композиції

Висновки

Проведені дослідження з визначення зольності показали велику кількість золи в відкладеннях, що потребує її зменшення. Для пониження зольності використано торф та біомасу. При дослідженні властивостей торфу було визначено, що торф з пойми Ірпеня має перевищену зольність, яка не допустима при спалюванні, тому для подальшої роботи використано торф з ДП «Чернігівторф». Підібрано оптимальне співвідношення компонентів з метою якісного гранулювання. Створення композицій підвищує якість та зменшує зольність.

References

1. *Petrova, Zh.O., Kremnov, V.O., Korbut, N.S., Novikova, Yu.P.* Granulation of mixtures of obsolete sludge and peat. Удосконалення процесів та обладнання харчових та хімічних виробництв: збірник тез доповідей XVIII міжнародної наукової конференції, м. Одеса, 12 - 16 жовтня 2020 р. – Одеса: ОНАХТ. – 2020. – С. 14 - 16.

2. *Petrova, Zh., Pazyuk, V., Novikova, Yu., Stetsyuk, V.* Granulation of compositions from obsolete sludge and peat. Проблеми сучасної теплоенергетики: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції, присвячується 100-річчю професора Драганова Бориса Харлампійовича, Київ, 10 - 11 грудня 2020 р. – Київ: НУБіП. – 2020. – С. 109 - 111.

3. *Петрова, Ж.О., Новікова, Ю.П.* Гранулювання композицій з застарілих мулових осадів та торфу. Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання: збірник тез доповідей XIX міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених, Київ, 25 - 26 листопада 2020 р. – Київ: «КПІ ім. Ігоря Сікорського». – 2020. – С. 54 - 55.

Innovative directions of development of ceramic materials for dentistry

O.V. Savvova (ORCID 0000-0001-6664-2274), G.K. Voronov (ORCID 0000-0003-1205-8608), O.I. Fesenko (ORCID 0000-0003-3888-9493), Yu.O. Smirnova (ORCID 0000-0001-6664-2274), E. Bairamov

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, str. Marshala Bazhanova, 17, Kharkiv, 61002, Ukraine
Tel.: +380577073174, +380500201628
E-mail: savvova_oksana@ukr.net, Hennadii.Voronov@kname.edu.ua, Oleksii.Fesenko@kname.edu.ua, Yuliia.Smyrnova@kname.edu.ua, Emin.Bairamov@kname.edu.ua

Article info: received 03.03.2021, revised 12.03.2021, accepted 24.03.2021

Savvova, O.V., Voronov, G.K., Fesenko, O.I., Smirnova, Yu.O., Bairamov, E. (2021) Innovative directions of development of ceramic materials for dentistry 1(50), DOI: 10.26909/csl.1.2021.3

The need to improve the level of dental health of the population of Ukraine was identified. The prospects for the use of ceramic prostheses to provide quality medical care in dentistry have been established. An analytical review of various types of ceramic and glass-ceramic materials used as dental prostheses for tooth replacement: porcelain, alumina, zirconium oxide, glass-ceramics based on leucite and lithium disilicate and mica with the addition of fluorides. Peculiarities of the structure and operational properties of ceramic and glass-ceramic materials for dentistry have been identified, their advantages and disadvantages have been established. The effectiveness of the use of glass-ceramic materials based on lithium disilicate for dental prosthetics is substantiated. The basic lithium silicate system was selected and glasses for obtaining glass-ceramic crowns based on lithium disilicate by the method of high-temperature pressing and calcium phosphate-silicate system for obtaining glass-ceramic coatings were synthesized.

The methodological approach to the development of glass-ceramic prostheses based on lithium disilicate is determined. The limits of the compositions of oxide components are determined and raw materials for the synthesis of the glass matrix are selected. The technological parameters of melting (T = 1350 - 1400 ºC) and heat treatment with simultaneous formation of products (stage of nucleation T = 600 - 650 ºC, τ = 30 - 60 min; stages of formation T = 900 ºC, $\tau \approx$ 20 min) are selected. The composition of fluoroapatite glass-ceramic coating for glazing of glass-ceramics and the mode of its firing (T = 800 - 850 ºC, $\tau \approx$ 1,0 - 1,5 min) were determined. The serviceability of the developed glass-ceramic samples DL st. glass, which were obtained by the technology of high-temperature pressing, are determined.

The comparative analysis of glass-ceramic prostheses for dentistry allowed to establish that the operational properties of the developed glass-ceramic prostheses according to ISO 6872:2015 are at the level of world analogues. This will allow them to successfully compete in the Ukrainian market with well-known foreign counterparts and help ensure the social priorities of the state in the field of health care.

Key words: glass-ceramic materials, lithium disilicate, ceramic prostheses, dentistry.

Інноваційні напрямки розроблення керамічних матеріалів для стоматології

О.В. Саввова, Г.К. Воронов, О.І. Фесенко, Ю.О. Смирнова, Е. Байрамов

Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків, Україна

Визначено необхідність підвищення рівня стоматологічного здоров'я населення України. Встановлено перспективність застосування керамічних протезів для забезпечення якісного медичного обслуговування в стоматології. Проведено аналітичний огляд різних видів керамічних та склокерамічних матеріалів, які застосовуються

як стоматологічні протези для заміни зубів: порцеляна, оксид алюмінію, оксид цирконію, склокераміка на основі лейциту та дисилікату літію й слюди з добавкою фторидів. Визначено особливості структури та експлуатаційних властивостей керамічних та склокерамічних матеріалів для стоматології, встановлено їх переваги та недоліки. Обґрунтовано ефективність застосування склокерамічних матеріалів на основі дисилікату літію для протезування зубів. Обрано базову літійсилікатну систему та синтезовано стекла для одержання склокерамічних коронок на основі дисилікату літію методом високотемпературного пресування та кальційфосфатосилікатну систему для одержання склокристалічних покриттів.

Визначено методологічний підхід розробки склокерамічних протезів на основі дисилікату літію. Визначено межі складів оксидних компонентів та обрано сировинні матеріали для синтезу скломатриці. Обрано технологічні параметри варки (T = 1350 - 1400 ºC) та термічної обробки з одночасним формуванням виробів (стадія зародкоутворення T = 600 - 650 ºC, τ = 30 - 60 хв.; стадії формування T = 900 ºC, τ ≈ 20 хв). Визначено склад фторапатитового склокерамічного покриття для глазурування склокераміки та режим його випалу (T = 800 - 850 ºC, τ ≈ 1,0 - 1,5 хв.). Визначено експлуатаційні властивості розроблених склокерамічних зразків DL st.glass, які отримано за технологією високотемпературного пресування.

Проведений порівняльний аналіз склокерамічних протезів для стоматології дозволив встановити, що експлуатаційні властивості розроблених склокерамічних протезів за ISO 6872:2015 знаходяться на рівні світових аналогів. Це дозволить їм успішно конкурувати на ринку України з відомим зарубіжними аналогами та сприяти забезпеченню соціальних пріоритетів держави у напрямку охорони здоров'я.

Вступ

Важливою глобальною медико-соціальною проблемою сучасності є стрімке старіння населення. Навіть у країнах з високим рівнем соціальної захищеності в осіб різної вікової категорії виявлена значна поширеність та інтенсивність основних стоматологічних захворювань, що призводить до втрати зубів. Не менш важливою проблемою є дефектність зубів у дітей та їх втрата у працездатного населення, що пов'язана з техногенним навантаженням, стихійними лихами та катастрофами, бойовими діями та ін. З урахуванням «Стратегії сталого розвитку України до 2030 року», що орієнтована насамперед на людину, а також поліпшення якості її життя у сприятливому соціально-економічному середовищі та екологічно чистому, здоровому, різноманітному природному довкіллі, необхідною умовою її виконання є забезпечення охорони здоров'я нації. Саме підвищення рівня стоматологічного здоров'я населення України є важливою складовою медичного обслуговування, що дозволить забезпечити конкурентоспроможність країни у майбутньому.

На сьогоднішній день розробки в області зубопротезування спрямовані на створення нових видів керамічних протезів, зокрема, таких що характеризуються нетоксичністю, високими естетичними властивостями та тотожністю механічних і біологічних властивостей до відповідних властивостей природних зубів [1]. Наразі на ринку стоматологічних матеріалів представлена значна кількість керамічних мас і сплавів для виготовлення керамічних протезів різних фірм-виробників. Особливу увагу із закордонних фірм-виробників заслуговують матеріали фірм Ivoclar Vivadent: IPS Empress; EstheticIPS; EmpressIPS e.max Ceram; Harmony; d.SIGN; Callisto Implant; Callisto Implant; Callisto Pd; Brite Gold XH; d.SIGN [2]. Високий інтерес та перспективність розробки вітчизняних стоматологічних матеріалів для виготовлення керамічних протезів підтверджується наявністю Українських металевих дентальних імплантатів фірм Bauer's Implants та Vitaplant [3], що характеризуються високими експлуатаційними властивостями, подібних до світових аналогів, але мають нижчу вартість. Однак розробці та впровадженню вітчизняних керамічних зубних протезів приділяється замало уваги, зважаючи на стрімкий розвиток біоматеріалознавства в Україні. Створення нових типів керамічних протезів стоматологічного призначення дозволить значно підвищити конкурентоспроможність вітчизняних імплантатів та ефективність зубопротезування.

Наведемо аналіз існуючих керамічних протезів стоматологічного призначення.

1. *Стоматологічна порцеляна.*

Протягом тривалого часу практично єдиним керамічним матеріалом, що використовувався в медицині, була порцеляна [4], що має високі косметологічні характеристики.

За своїм призначенням порцелянові маси є вихідним матеріалом для:

- створення стандартних порцелянових коронок та заготовок для порцелянових вкладок;
- створення індивідуальних порцелянових коронок та вкладок в умовах зубопротезної лабораторії;
- облицювання суцільнолитих каркасів металевих незнімних зубних протезів (коронок, мостів).

Сучасна стоматологічна порцеляна є результатом удосконалення побутової декоративної порцеляни. Стоматологічну порцеляну синтезують на основі

польового шпату в системі $K_2O–A1_2O_3–SiO_2$. У таблиці 1 для порівняння наведені компонентні склади побутової та стоматологічної порцеляни.

Таблиця 1.

Вміст вихідних компонентів в побутових і стоматологічних масах

Вихідний компонент	Побутова порцеляна (тверда), %	Стоматологічні маси, %
Польовий шпат	10 ÷ 25	50 ÷ 81
Кварц	14 ÷ 35	15 ÷ 30
Каолін	35 ÷ 70	0 ÷ 4
Пігменти	1	менше 1

За фізичними властивостями порцеляна близька до стекол, її структура є анізотропною. При температурі 1100 ÷ 1300 ºС калієвий шпат перетворюється в калієве польовошпатове скло. В розплаві каолін і кварц, що мають більш високі температури плавлення, також взаємодіють зі склом. При цьому, каолін утворює голковидні кристали муліту, що пронизують всю масу порцеляни. Висока в'язкість польовошпатового скла ускладнює видалення газових пухирців із порцелянового матеріалу, чим і обумовлює утворення закритих пор.

Мікроскопічними дослідженнями встановлено такі типові структурні елементи порцеляни:

- скловидна ізотропна маса, що складається з польовошпатового скла з різним ступенем насичення (Al_2O_3 та SiO_2);
- нерозчинні в склі оплавлені частки кварцу;
- кристали муліту $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, що розподілені в розплаві скла;
- пори.

Сучасна стоматологічна порцеляна за температурою випалу класифікується на декілька груп: тугоплавка (1300 - 1370 ºС), що використовується для виготовлення зубів або знімних протезів, середньо- (1090 - 1260 ºС) та низькоплавка (870 - 1065 ºС), що використовуються для виготовлення коронок, вкладок і мостовидних протезів.

Міцність порцеляни залежить від рецептури порцелянової маси та технології виробництва, що визначається за ISO 9693 «Стоматологічна металокераміка для зубного протезування». У відповідності до цих вимог, міцність на вигин у порцеляни повинна бути не менше 50 МПа. Так у сучасної порцеляни *EX-3 Noritaku* (Норітакі, Японія») вона складає 100 - 110 МПа.

Проте опір зносу та фізико-механічні показники таких протезів, у ряді випадків не задовольняють вимогам стандартів до дентальних імплантатів, що відчувають значно більші механічні навантаження. Це не дозволяє використовувати їх для виготовлення суцільних стоматологічних зубів. В цьому випадку з успіхом застосовуються оксидна чи композиційна кераміка.

2. *Полікристалічна оксидна кераміка.*

Оксид алюмінію. Високощільна високочиста кераміка на основі α-Al_2O_3 була першим керамічним матеріалом, що широко використовується в медицині. Він був уведений в клінічну ортопедію наприкінці 1960-х років (Boutin, France, Griss, Germany) і використовувався для виготовлення протезів головки шийки стегна і для виготовлення зубних імплантатів завдяки його винятковій корозійній стійкості, біосумісності, низького опору тертя, високого спротиву зносу і високій міцності [4, 5].

Висока твердість і тугоплавкість оксиду алюмінію ускладнюють технологічний процес виробництва індивідуальних конструкцій в стоматології. Поряд з цим, руйнування головок з Al_2O_3 - кераміки обумовлене її недостатньою міцністю на згинання. Це привело до розвитку робіт зі створення протезів для стоматології на основі діоксиду цирконію.

Діоксид цирконію (ZrO_2) за міцністю, оптичними та механічними властивостями переважає інші керамічні стоматологічні матеріали. Так, ZrO_2 характеризується унікальним комплексом властивостей: хімічною стабільністю, високою тріщиностійкістю, твердістю і світлопроникністю. Тому діоксид цирконію займає провідну роль у стоматологічному протезуванні [4, 5].

Діоксид цирконію розрахований на застосування в умовах високого навантаження та відрізняється високим опором напруження втомного руйнування, що є винятково важливим при створенні стоматологічних матеріалів, які експлуатуються в умовах значних повторно-перемінних навантажень. Діоксид цирконію для стоматології зазвичай представляє тетрагональний полікристалічний оксид цирконію стабілізований оксидом ітрію, що відноситься до трансформаційно-зміцнених матеріалів. За відсутності високого вмісту моноклінної модифікації ZrO_2, міцність при вигині ZrO_2 в кілька разів вище, ніж у Al_2O_3, що робить його найбільш міцним матеріалом з відомих монолітних керамічних матеріалів.

Високі міцністні характеристики ускладнюють виготовлення суцільно-керамічних протезів із діоксиду цирконію, так як матеріал важко підлягає обробці навіть алмазними фрезами. Тільки з появою

цифрових комп'ютерних технологій, а саме CAD/CAM систем (Computer Aided Desing / Computer Aided Manufacture), кераміка на основі діоксиду цирконію набула широкого застосування. Дана технологія включає вибір вихідних даних із використанням цифрового об'ємного сканування зони протезування, створення тримірної моделі протезу з наступним виготовленням на станку-автоматі майбутнього протезу. За необхідності випал проводять, за визначеним виробником матеріалу, режимом термічного оброблення. Найбільш сучасні технології, наприклад CEREC, дозволяють проводити протезування за один сеанс у лікаря. Коронки на основі діоксиду цирконію ICE Zircon з керамічним облицюванням мають високу світлопроникаючу здатність та посилену міцність; використовуються в місцях з підвищеним жувальним навантаженням. Коронки на основі діоксиду цирконію Prettau Zircon за технологією Prettau з частковим облицюванням керамікою використовуються за призначенням лікаря - ортопеда [6, 7].

Однак, внаслідок низькотемпературної деградації (НТД) тетрагонального діоксиду цирконію при температурі 100 - 300 ºС виникають проблеми щодо довгострокової стабільності та зношування кераміки на основі ZrO_2. Пошукове дослідження матеріалів із стабілізованого ітрієм тетрагонального ZrO_2 показало, що 20 - 30 % тетрагональної фази перетворилося в моноклінну фазу через 3 - 6 років після імплантації [5]. Це перетворення супроводжується погіршенням шорсткості поверхні, зростанням зерен і мікророзтріскуванням, призводячи до підвищеного зносу і можливої передчасної відмови. Тому серед матеріалів для ортопедії діоксид цирконію біомедичного класу викликає найбільшу полеміку між вченими, виробниками і хірургами через ефект «старіння» (гідротермальної нестабільності), як результату впливу навколишнього середовища на фізико-технічні властивості кераміки. Також синтез керамічних матеріалів є енергоємним процесом, що суттєво підвищує вартість виробів. Рішенням цієї проблеми є створення склокомпозиційних матеріалів, що відрізняються високими експлуатаційними властивостями, технологічністю та є менш вартісними у порівнянні з керамічними протезами.

3. *Склокомпозиційні матеріали.*

На сьогоднішній день переважна більшість незнімних естетичних протезів твердих тканин зубів і зубних рядів, що виготовляються у світі, є комбінованими та поєднують у собі металевий каркас і керамічне облицювання. Одночасне забезпечення високого модуля пружності металевих сплавів та міцності покриттів при розробленні металокерамічних мостовидних протезів дозволяє зняти обмеження за довжиною протезу та забезпечити їх відповідні експлуатаційні властивості під дією функціональних навантажень.

Польовошпатова склокераміка, яка зміцнена лейцитом. Лейцитвмісна стоматологічна склокераміка є одним з найбільш перспективних матеріалів при виготовленні металокерамічних коронок при протезуванні передніх та жувальних зубів. Завдяки високим механічним властивостям (міцність на згин 50 - 210 МПа), даний матеріал може бути використаний при пошаровому спіканні як ґрунтовий та опаковий шари, та, у разі забезпечення прозорості, як емалевий шар. Головна відмінність склокераміки від польовошпатного і лантанового скла, які тривалий час застосовуються для облицювання металокерамічних протезів, полягає у тому, що формування ситалізованої структури склокераміки з наявністю кристалів лейциту розміром до 1 мкм рівномірно розподілених в об'ємі, дозволяє забезпечити високі міцністні характеристики матеріалів, що є запорукою тривалого використання протезів. У той час, як міцність при вигині польовошпатової кераміки для облицювання металокерамічних протезів становить від 30 до 40 МПа, міцність подібного матеріалу, зміцненого лейцитом, наближається до 120 МПа. Лейцитові склокерамічні матеріали відрізняються високими естетичними властивостями [8].

Також ефективного застосування набули композиційні склокристалічні покриття, що успішно використовуються у зубопротезуванні, зокрема ситалове покриття «Сімет». Воно має лейцит-альбітовий склад та призначене для облицювання каркасів суцільнолитих зубних протезів, виготовлених зі стоматологічних сплавів металів та лейцит-гідроксиапатит-флюоритові покриття для стоматології та медичних виробів [8].

Склокераміка на основі слюди з добавкою фторидів. Склокерамічні матеріали на основі слюди з додаванням фторидів є продуктами складу SiO_2, K_2O, MgO, Al_2O_3, ZrO_2 з добавкою фторидів деяких металів для надання зубним протезам флюоресцентних властивостей, аналогічних натуральним зубам. Для матеріалів цього складу процес ситалізації призводить до утворення центрів кристалізації і росту тетрасилікатних кристалів слюди всередині скломатриці. Як і в склокераміці на основі дисилікату літію, кристали слюди мають голчасту форму і блокують розвиток тріщин всередині матеріалу. Міцність при вигині цього матеріалу складає від 120 до 150 МПа, що в поєднанні з адгезією до твердих тканин зуба, є цілком достатньою для виготовлення коронок жувальних зубів, але недостатньою для виготовлення суцільнокерамічних мостовидних протезів.

Склокераміка на основі дисилікату літію. На сьогоднішній день склокераміка на основі дисиліка-

ту літію вже тривалий час успішно застосовується у стоматології через її високу міцність, природний зовнішній вигляд та можливість пресування дуже тонких конструкцій. Міцність на вигин такої конкурентоспроможної високоякісної стоматологічної склокераміки складає 450 МПа. Широкого використання набули матеріали та покриття відомих іноземних виробників: «Degu Dent», «Ivoklar Vivadent AG», «Vita Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG», «SHOFU Inc.», «Noritake» та ін. Інноваційна склокераміка на основі дисилікату літію (LS_2) IPS e.max Press характеризується точністю, функціональністю та естетикою при одночасно високій міцності в 400 МПа [9]. Однак склокерамічні матеріали на основі дисилікату літію імпортного виробництва є вартісними, що ускладнює процес розв'язання нагальних проблем протезування в Україні.

Метою роботи є обґрунтування перспективності використання вітчизняної літійсилікатної склокераміки для стоматологічного протезування.

Матеріали та методи дослідження

Для визначення можливості використання природної сировини при одержанні біоматеріалів було проведено гамма-спектрометричне дослідження за допомогою сцинтиляційного гамма-спектрометра СЕГ-001 «АКП-С». Діапазон вимірюваних енергій гамма-випромінювань якого складає від 50 до 3000 кеВ.

Критерієм радіаційної оцінки керамічних матеріалів та сировини для їх виробництва є ефективна питома активність природних радіонуклідів (ЕРН), що здійснює γ-випромінювання матеріалів. Величина ефективної питомої активності ЕПА ($C_{еф.}$) визначається як сума діючих активностей радію-226 (C_{Ra}), торію-232 (C_{Th}) та калію-40 (C_K) за формулою

$$C_{еф.} = C_{Ra} + 1{,}31C_{Th} + 0{,}085C_K, \text{ Бк·кг}^{-1}, \qquad (1)$$

де 1,31 і 0,085 – відповідно, коефіцієнти для торія-232 та калія-40 за відношенням до радію-226.

Вид та кількість кристалічної фази в скломатеріалах визначали методами рентгенофазового (дифрактометр ДРОН-3М) та петрографічного (оптичний мікроскоп NU-2E) аналізів.

Експлуатаційні властивості літійсилікатної кераміки визначали за ISO 6872:2015 «Стоматологія. Керамічні матеріали».

Методологічний підхід до розв'язання поставленої задачі полягає у поетапному розробленні скломатриці – основи склокераміки, дослідженні кристалізаційної здатності стекол, виборі режимів термічної обробки, наступному синтезі базового скла та формуванні ситалізованої структури в процесі низькотемпературної короткотривалої термічної обробки та визначенні відповідності технологічних та експлуатаційних властивостей одержаного матеріалу заданим вимогам.

Для синтезу скломатриці було обрано склади літійсилікатних стекол з вмістом оксидів, в мас. %: SiO_2 50,0 - 71,8; Li_2O 11,0 - 20,0; Al_2O_3 0,1 - 5,0; K_2O 0,1 - 2,0; Na_2O 0,1 - 10,5; SrO 0,1 - 4,0; CaO 0,1 - 3,5; MgO 0,1 - 4,0; ZnO 0,1 - 4,0; ZrO_2 0,1 - 11,0; TiO_2 0,1 - 5,0; CeO_2 0,1 - 2,0; LiF 0,1 - 3,5; CaF_2 0,1 - 2,5; P_2O_5 0,1 - 4,0; B_2O_3 0,1 - 6,0; La_2O_3 0,1 - 4,0; Sb_2O_3 0,1 - 1,5 та MnO_2 0,1 - 4,0.

Для синтезу фторапатитового покриття обрано біосумісні кальційфосфатосилікатні стекла з наступним оксидним складом (в мас %): SiO_2 42,50 - 50,03; CaO 9,38 - 16,26; P_2O_5 5,62 - 9,74; CaF_2 1,44 - 6,28; Na_2O 7,16 - 8,42; K_2O 6,80 - 8,01; Li_2O 1,02 - 4,53; ZnO 1,02 - 4,53; B_2O_3 5,47 - 6,45; Al_2O_3 7,23 - 8,51 та MoO_3 0,10 - 0,50.

При складанні шихт для варки стекол використовували природні сировинні матеріали, технічні продукти та реактиви класифікації «х. ч.». Як сировинні матеріали були використані: калієва польовошпатова сировина (КПШС) Майдан-Вільського родовища (збагачений пегматит); пісок кварцовий; крейда; глинозем; борна кислота; циркон; карбонати літію та магнію; оксиди цинку, мангану, церію, титану, стронцію, лантану, молібдену та стібаю; амоній фосфорнокислий; фториди кальцію й літію.

Дослідженнями радіаційних властивостей КПШС і техногенної сировини встановлена належність абсолютної більшості цих матеріалів до 1 класу радіаційної безпеки ($C_{еф} \leq 370$ Бк·кг$^{-1}$), що свідчить про можливість їх використання як сировини при виготовленні керамічних виробів широкого вжитку.

Варку стекол здійснювали у корундових тиглях в лабораторній електричній печі впродовж 6 годин: літійсилікатні стекла – при температурі 1350 - 1400 ºС та виливали в підігріті графітові форми з наступним повільним охолодженням, а кальційфосфатосилікатні – при температурі 1250 - 1300 ºС з подальшим швидким охолодженням на металевій пластині. За даними рентгенофазового та петрографічного досліджень, після варки, у літійсилікатних стеклах спостерігалася відсутність кристалічної фази, а у кальційфосфатосилікатних – наявність кристалів гідроксиапатиту та фторапатиту в загальній кількості 15 - 20 об. %, з розміром кристалів близько 1 мкм.

Скляні циліндричні заготовки на основі літійсилікатного скла попередньо витримують на стадії зародкоутворення при температурі 600 - 650 ºС впродовж 30 - 60 хвилин. Процес формування виробів за технологією високотемпературного пресування складається з: нагрівання заготовки від температу-

ри 700 ºС до температури розм'якшення скломатеріалу (850 - 900 ºС), заповнення скломасою гіпсової форми з подальшою короткотривалою витримкою (18 - 20 хв.) та повільного охолодження. Після високотемпературного пресування склокерамічний протез характеризується об'ємною тонкодисперсною кристалізацією з наявністю високоміцної кристалічної фази – дисилікату літію у кількості 40 - 60 об. %. Після високотемпературного пресування протези покриваються фторапатитовим склокерамічним покриттям, виготовленим на основі подрібненого кальційфосфатосилікатного скла і пігментів, та випалюються при температурі 800 - 850 ºС, впродовж 1,0 - 1,5 хвилин [10].

Результати та їх обговорення

Порівняльна оцінка розроблених склокерамічних протезів для стоматології з маркуванням DL st.glass (розробник ХНУМГ ім. О.М. Бекетова) та існуючих склокерамічних протезів на основі дисилікату літію IPS e.max Press або фторапатиту IPS e.max ZirPress (розробник Ivoclar Vivadent) (табл. 2) дозволила встановити, що вітчизняні склокерамічні протези відрізняються вищими показниками в'язкості руйнування та модуля пружності, що дозволить підвищити їх експлуатаційну живучість при механічних навантаженнях (надмірні точкові навантаження). Експлуатаційні властивості розроблених склокерамічних протезів за ISO 6872:2015 знаходяться на рівні показників світових аналогів. Це дозволить їм успішно конкурувати на ринку України з відомими зарубіжними аналогами та сприяти забезпеченню соціальних пріоритетів держави у напрямку охорони здоров'я. Реалізація розробки у виробництві дозволить одержати вітчизняні склокерамічні протези для заміни зубів при суттєвому зниженні собівартості продукції.

Висновки

Проаналізовані основні види керамічних матеріалів, які застосовуються для створення керамічних протезів зубів. Встановлено перспективність створення склокерамічних протезів для стоматології на основі дисилікату літію. Розроблено склади та технологічні параметри синтезу склокерамічних матеріалів на основі дисилікату літію за технологією високотемпературного пресування. Досліджено їх експлуатаційні властивості та проведено порівняльний аналіз зі світовими аналогами.

Впровадження результатів роботи дозволить вітчизняним стоматологічним клінікам відмовитись від вартісних закордонних аналогів. Соціально-економічний ефект від впровадження розроблених стоматологічних матеріалів та покриттів полягає у зниженні витрат на лікування за рахунок скорочення майже втричі вартості протезу.

References

1. *J.R. Kelly, P. Benetti* Ceramic materials in dentistry: historical evolution and current practice Australian Dental Journal 2011; 56:(1 Suppl): 84 - 96 doi: 10.1111/j.1834-7819.2010.01299.x

2. *Bajraktarova-Valjakova, E., Korunoska-Stevkovska, V., Kapusevska, B., Gigovski, N., Bajraktarova-Misevska, C.* and *Grozdanov*, A. Contemporary dental ceramic materials, a review: chemical composition, physical and mechanical properties, indications for use. – Open Access Maced J. Med. Sci. – 2018. – 6(9). – P. 1742 - 1755.

3. Ivoclar Vivadent: Інструкція з використання. URL: https://www.ivoclarvivadent.ua/#I (дата звернення 15.02.2021).

4. Українські імплантати. Bauer's Implants. URL: https://dante.com.ua/uk/implantaciya-zubiv-suchasnij-

Таблиця 2.

Властивості розроблених та зарубіжних склокерамічних протезів для стоматології

Властивості	Маркування		
	DL st.glass	IPS e.max Press	IPS e.max ZirPress
ТКЛР $\alpha_{(100–500°C)}\cdot10^{-6}$, K^{-1}	90 – 100	105	99
Міцність на згин (двовісний) (σ), МПа	400 – 450	400	110
Модуль пружності (E), ГПа	100 – 110	95	110
Коефіцієнт інтенсивності напруг (K_{1C}), МПа·м$^{1/2}$	3,0 – 8,0	2,75	–
Твердість за Віккерсом (HV), ГПа	5,4 – 6,0	5,8	5,4
Хімічна стійкість, мкг/см^2	35 – 40	40	30
Температура термічної обробки та пресування (Т), ºС	850 – 900	915 – 920	900 – 910

diyevij-metod/ukrainskie-implanty-bauers-implants-ua/ (дата звернення 13.01.2021).
5. *Kelly, JR., Benetti, P.* Ceramic materials in dentistry: historical evolution and current practice. – Aust Dent J. – 2011. – 56:(1 Suppl). – P. 84 - 96.
6. *Саввова, О.В., Бабіч, О.В., Фесенко, О.І., Воронов, Г.К.* Сучасні технології біосумісних матеріалів для кісткового ендопротезування : монографія. Харків : НТУ «ХПІ». – 2017. – 280 с.
7. *Зиновенко, О.Г., Шинкевич, В.М., Садовская, И.В.* Эстетическое протезирование с применением диоксида циркония. – Современная стоматология. – 2014. – № 2. – С. 58 - 60.
8. *Михайлина, Н.А., Подзорова, Л.И., Румянцева, Н.М., Шворнева, Л.И., Овчинникова, О.А., Анисимова, С.В., Лебеденко, А.И., Лебеденко, И.Ю., Хван, В.И.* Керамика на основе тетрагонального диоксида циркония для реставрационной стоматологии. – Перспективные материалы. – 2010. – 3. – С. 44 - 48.
9. Керамические и стеклокристаллические материалы для стоматологии. – Успехи современного естествознания. – 2007. – 11. – С. 70 - 72.
10. Lithium silicate materials: Pat. 8,444,756 B2 US: Int. Cl.: C03C 10/04, C03C 3/083, C09K 3/00. № 3/175,370; Filed 01.07.2011; Date of Patent. 01.10. 2013. – 5 p.
11. Комплексне біоактивне кальцій фосфатне склокристалічне покриття: Пат. 118712 Україна: МПК6 C03C 8/20, C03C 8/02, C03C 8/04, A61L 27/10. № a 201703096; заявл. 03.04.2017; опубл. 25.02.2019, Бюл. № 4. – 7 с.

Intensification of loosening of asbestos fibers by means of hydromechanical processing

O.M. Obodovich[1] (ORCID 0000-0003-2230-1034), O.M. Nedbailo[1] (ORCID 0000-0003-1416-9651), O.G. Chernyshyn[2] (ORCID 0000-0001-7702-894X), A.E. Nedbailo[1] (ORCID 0000-0002-8590-5823)

[1] - Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, str. Bulakhovskogo, 2, Bldg. 2, Kyiv, 03164, Ukraine
Tel.: +380444243185, +380444242527
E-mail: tdsittf@ukr.net, nan_sashulya@ukr.net

[2] - The State Enterprise "Engineering Center "Drying"" Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, str. Bulakhovskogo, 2, Bldg. 2, Kyiv, 03164, Ukraine
Tel.: +380444240279, tel./fax +380444243283
E-mail: icsushka@gmail.com

Article info: received 11.03.2021, revised 24.03.2021, accepted 30.03.2021

Obodovich, O.M., Nedbailo, O.M., Chernyshyn, O.G., Nedbailo, A.E. (2021) Intensification of loosening of asbestos fibers by means of hydromechanical processing 1(50), DOI: 10.26909/csl.1.2021.4

Acceptance of high-quality aqueous suspensions based on chrysotile asbestos is an urgent technical task in a number of industries. Asbestos-cement mortar is used as an asbestos-cement crust for insulation of walls and other building surfaces, due to this composition of the treated surfaces perfectly retain heat, resistant to moisture, and most importantly – asbestos fibers contribute to the smoothness of the surface and crack is not formed. No less popular is the use of asbestos-cement mortar with a high content of asbestos in the insulation of ventilation ducts and pipelines. This composition of asbestos-cement mortar is used to strengthen the joints of asbestos-cement pipes, as well as as a filler in the laying of cast iron pipes to give the joints additional elasticity.

Asbestos-cement mortar has plasticity, resistance to stretching and reinforcement of asbestos, as well as strength and versatility in the use of cement. Due to these properties, asbestos and cement perfectly adhere to each other to obtain a durable, strong, frost-resistant, virtually waterproof and fire-resistant building material.

The result of the microscopic examination is reason to believe that from the technological process of production of slate can be removed electromechanical mixer for the preparation of a solution of asbestos + water + portland cement. In this case, given the fact of continued loosening of asbestos in the preparation of the mold mixture of asbestos + water + portland cement, it will be sufficient to ensure the degree of loosening of asbestos in the ripper at the minimum required level (for example, not more than 85 %). It is assumed to obtain a mold mixture with a high degree of homogeneity of the components with reduced costs of Portland cement due to its physico-chemical activation by hydraulic fluxes.

Key words: asbestos-cement, loosening of asbestos fibers, mixture of asbestos + water + portland cement.

Інтенсифікація розпушування азбестових волокон за допомогою гідромеханічного оброблення

О.М. Ободович[1], О.М. Недбайло[1], О.Г. Чернишин[2], А.Є. Недбайло[1]

[1] - Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, Україна
[2] - Державне підприємство «Інженерний центр «Сушка»» Інституту технічної теплофізики НАН України, Київ, Україна

Приготування високоякісних водних суспензій на основі хризотилового азбесту є актуальним технічним завданням у ряді галузей промисловості. Азбестоцементний розчин застосовується, після його висихання, як тверда кірка для утеплення стін та інших будівельних поверхонь. Завдяки такому складу оброблені поверхні набувають теплоізоляційних властивостей, стають стійкими до вологи та запобігають утворенню тріщин на

поверхні. Не менш популярним є використання азбестоцементного розчину з високим вмістом азбесту в ізоляції вентиляційних каналів і трубопроводів. Цей склад азбестоцементного розчину застосовується для зміцнення стиків азбестоцементних труб, а також як заповнювач при прокладанні чавунних труб для додання стикам додаткової еластичності.

Азбестоцементний розчин має прийнятні пластичність, стійкість до розтягування та армування азбестом, а також міцність і універсальність при використанні цементу. Завдяки цим властивостям азбест та цемент задовільно злипаються один з одним, отримуючи міцний, морозостійкий, практично водонепроникний та вогнестійкий будівельний матеріал.

Результат мікроскопічного дослідження є підставою вважати, що з технологічного процесу виробництва шиферу може бути вилучений електромеханічний змішувач для приготування розчину азбесту + вода + портландцемент. У цьому випадку, враховуючи факт продовження розпушування азбесту при приготуванні формової суміші азбест + вода + портландцемент, буде достатньо забезпечити ступінь розпушування азбесту в розпушувачі на мінімально необхідному рівні (наприклад, не більше 85 %). Передбачається отримання формової суміші з високим ступенем однорідності компонентів із зниженими витратами портландцементу внаслідок його фізико-хімічної активації гідравлічними потоками.

Вступ

Волокнисті компоненти є головним структуроутворюючим елементом низки пористих та суцільних композиційних матеріалів різноманітного призначення. Одним із розповсюджених природних волокнистих мінералів є хризотил-азбест (ХА). Існують два різновиди керамічних виробів, що містять азбест. Їхня назва відображає наявну в ній кількість азбесту: кераміка, що містить 50 - 60 % азбесту називається азбестовою керамікою; матеріали, що містять 90 % азбесту і до 10 % глини є виробами з азбесту.

До композиційних матеріалів з волокнистим армуванням належать склоцементні, склопластикові та азбестоцементні. Як способи армування можуть використовуватись направлене і хаотичне. В цих матеріалах використовують різні матричні в'яжучі й армуючі компоненти. Продукція азбестоцементної промисловості є різноманітною, але їй притаманні особливості структуроутворення при водонасиченні та сушінні. До сучасних композиційних матеріалів належать, в тому числі, дисперсно-армовані. Фізико-механічні та теплотехнічні властивості фібробетону залежать від концентрації фібри у складі композиційного матеріалу, а ефективність експлуатації фібробетонів у конструкціях – від зменшення працезатрат на арматурні роботи, скорочення витрат сталі та бетону, підвищення довговічності, зниження затрат на ремонтні роботи, суміщення технологічних операцій приготування бетонної суміші та армування.

Азбестоцементний розчин застосовується, після його висихання, як тверда кірка для утеплення стін та інших будівельних поверхонь. Завдяки такому складу оброблені поверхні набувають теплоізоляційних властивостей, стають стійкими до вологи та запобігають утворенню тріщин на поверхні. Не менш популярним є використання азбестоцементного розчину з високим вмістом азбесту в ізоляції вентиляційних каналів і трубопроводів. Цей склад азбестоцементного розчину застосовується для зміцнення стиків азбестоцементних труб, а також як заповнювач при прокладанні чавунних труб для додання стикам додаткової еластичності.

Азбестоцементний розчин має прийнятні пластичність, стійкість до розтягування та армування азбестом, а також міцність і універсальність при використанні цементу. Завдяки цим властивостям азбест та цемент задовільно злипаються один з одним, отримуючи міцний, морозостійкий, практично водонепроникний та вогнестійкий будівельний матеріал.

Метою роботи є попередній аналіз технологічності використання композитних азбестовмістних матеріалів, що побудований на результатах мікроскопічного дослідження структури азбестових волокон після їх гідромеханічного оброблення. Приготування якісних водних суспензій на основі хризотил-азбесту є актуальною технічною задачею в ряді галузей промисловості.

Матеріали та методи дослідження

Більш ніж 30 років тому назад було встановлено, що високошвидкісні гідродинамічні потоки, що створюються у водній суспензії ХА із концентрацією 1 - 4 мас. %, призводять до отримання дисперсних систем (ДС) із високою агрегативною стійкістю. Проте, внаслідок впливу низки, непереборних на той час, чинників, ефективний імпульсний спосіб оброблення суспензій ХА не отримав промислового застосування при розв'язанні, наприклад, задач у галузі будівельного матеріалознавства [1].

В Інституті технічної теплофізики Національної академії наук України (ІТТФ НАН України) протягом останніх років проводяться комплексні дослідження процесів тепло- і масообміну та гідро-

механічних процесів в рідких багатокомпонентних середовищах різної концентрації. Ці дослідження безпосередньо пов'язані з інтенсифікацією технологічних процесів подрібнення різноманітних об'єктів природного та штучного походжень.

На відміну, наприклад, від розрядно-імпульсного способу перетворення енергії запропонований в [2] гідромеханічний спосіб дозволяє ініціювати режими оброблення середовища, за яких не відбувається руйнівної деструкції елементів дисперсної фази. Результатом виконання таких робіт є розробка запатентованих в Україні технологій та пристроїв, що їх реалізують, для процесів диспергування [2]. У порівнянні з традиційними промисловими способами приготування якісних ДС технологія гідромеханічної активації є енерго- та ресурсозберігаючою, що за питомими енерговитратами та за якістю кінцевого продукту, в багатьох випадках, переважає показники існуючих вітчизняних і закордонних технологій.

Однією з таких технологій є диспергування, що реалізується обладнанням системи гідродинамічного пульсатора. Принципову схему однієї з різновидностей гідравлічного пульсатора зображено на рис. 1. Апарат складається з резервуару 1, джерела стисненого повітря 2, джерела вакууму 3 і пульсатора 4, що розділений двома гнучкими мембранами 5 на три ємності, бокові з яких за допомогою трубопроводу 6 та клапанів 7 і 8 з'єднані з джерелом стисненого повітря 2 та джерелом вакууму 3, а середня ємність обладнана трубою 9, нижня частина якої опущена до резервуару 1.

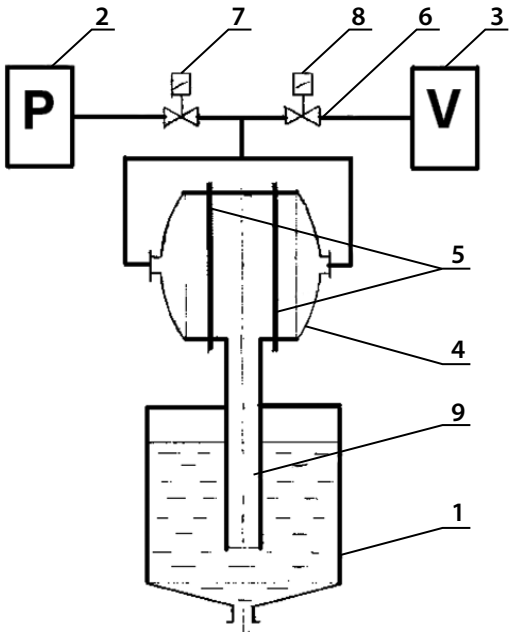


Рис. 1. Принципова схема гідродинамічного пульсатора

Апарат працює наступним чином. Клапани 7 і 8 відчиняються почергово в противофазі. Якщо клапан 7 зачинений, то клапан 8 – відчинений, і при цьому бокові ємності пульсатора 4 з'єднуються з джерелом вакууму 3, під дією якого гнучкі мембрани 5 розводяться, утворюючи в середній ємності пульсатора 4 розрідження, внаслідок чого суміш з резервуару 1 по трубі 9 втягується в середню ємність пульсатора 4. Після цього клапан 8 зачиняється, а клапан 7 відчиняється і з'єднує бокові ємності пульсатора 4 із джерелом стисненого повітря 2, під дією якого в бокових ємностях пульсатора 4 створюється надлишковий, у порівнянні з середньою ємністю пульсатора 4, тиск. Внаслідок цього гнучкі мембрани 5 зводяться і з силою виштовхують суміш по трубі 9 з середньої ємності пульсатора 4 в резервуар 1. Далі цикл багатократно повторюється [2].

В ініціативному порядку в ІТТФ НАН України виконані пошукові експерименти щодо отримання суспензій ХА + вода (вода з pH = 7,0 і температурою 15 - 17 ºС) з метою подальшого їх використання у технології виробництва композиційних матеріалів, зокрема шиферу згідно ДСТУ Б В.2.7-52-96 (ГОСТ 18124-95) «Листи азбестоцементні пласкі. ТУ» та ДСТУ Б В.2.7-53-96 (ГОСТ 30340-95) «Листи азбестоцементні хвилясті. ТУ».

Лабораторне обладнання є міні-аналогом енергоощадного обладнання системи «Промисловий гідродинамічний пульсатор». Ця розробка ІТТФ НАН України раніше була впроваджена у нафтогазовій промисловості для приготування глиняних суспензій разовим об'ємом до 4 м^3 [3, 4].

Якість розпушування азбесту (концентрація азбесту до 4 мас. %, об'єм суспензії до 15 дм^3) оцінювали за допомогою промислової методики, що була надана раніше Київським шиферним заводом (агрегативна стійкість суспензії розпушеного азбесту при концентрації 0,5 мас. %; тривалість оцінювання – 30 хв.) та оптичного мікроскопу.

В результаті експериментів було встановлено, що гідродинамічний пульсатор дозволяє отримати ступінь розпушування азбесту до 99 % за методикою, що використовується на Київському шиферному заводі (за регламентом ступінь розпушування повинна бути не нижчою за 98 %). Мікроскопічні дослідження підтвердили відсутність нерозпушених фібрил та наявність переподрібнених елементарних волокон (рис. 2).

Висновки

Отримані мікроскопічні дані досліджень дозволяють зробити наступні попередні висновки:

1. За визначеної продуктивності та зменшених на 12 % енергетичних витратах (у порівнянні з іс-

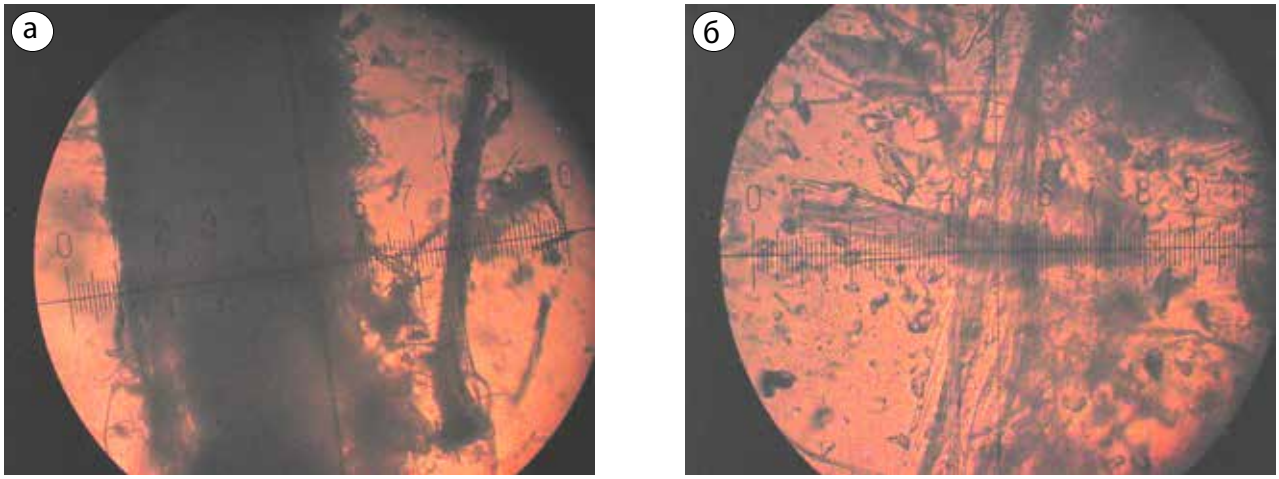


Рис. 2. Структура азбестових волокон до (а) та після (б) оброблення на гідродинамічному пульсаторі. Одна поділка мікроскопа – 4 мкм

нуючими питомими витратами енергії на виробництво одиниці продукції, наприклад, на Київському шиферному заводі) промисловий гідродинамічний пульсатор дозволить отримувати формову суміш азбест + вода + портландцемент за технологічно заданий час (тривалість процесу до 20 хв.).

2. Результат мікроскопічного дослідження є підставою вважати, що з технологічного процесу виробництва шиферу може бути вилучений електромеханічний змішувач для приготування розчину азбесту + вода + портландцемент. У цьому випадку, враховуючи факт продовження розпушування азбесту при приготуванні формової суміші азбест + вода + портландцемент, буде достатньо забезпечити ступінь розпушування азбесту в розпушувачі на мінімально необхідному рівні (наприклад, не більше 85 %). Передбачається отримання формової суміші з високим ступенем однорідності компонентів із зниженими витратами портландцементу внаслідок його фізико-хімічної активації гідравлічними потоками.

3. Не виключено також, що при забезпеченні заданої середньої щільності та міцністних характеристик шиферу буде зменшений вміст азбесту у складі шиферу.

References

1. *Опєкунов, В.В.* Конструкційно-теплоізоляційні будівельні матеріали на основі активованих сировинних компонентів. – К.: Академперіодика. – 2001. – 216 с.

2. Масообмінний пристрій: А.с. 58295. Україна. МКВ А 7 В 01 D 11/04, В 01 F 3/08 / А.А. Долінський, О.А. Корчинський, А.П. Гартвіг, М.В. Матюшкін. – Опубл. 15.07.2003, Бюл. № 7.

3. *Иваницкий, Г.К., Корчинский, А.А., Матюшкин, М.В.* Математическое моделирование процессов в пульсационном диспергаторе ударного типа. Проблемы промышленной теплотехники. – Киев. – №1, 2003. – С. 29 - 34.

4. *Мартиненко, І.І., Корчинський, О.А., Матюшкін, М.В., Корняга, Ф.В., Непомнящий, А.С.* Приготування бурових розчинів за методом імпульсного введення дискретних порцій енергії. Нафтова та газова промисловість, №5. – 1999. – С. 30 - 32.

Вимоги до оформлення статей в міжнародному науково-виробничому журналі «КЕРАМІКА: наука і життя»

Тематична спрямованість журналу: стан і проблеми сучасних науки і виробництва в області розроблення, виготовлення і впровадження енергоощадних інноваційних технологій при виробництві керамічних виробів.

Всі матеріали статей, для подальшої роботи з ними, повинні подаватися до редакції обов'язково в друкованому та електронному ідентичних виглядах.

Статті, що публікуються в спеціалізованому журналі, повинні містити наступні елементи **українською та англійською мовами**:

- Назва статті (без використання абревіатур)
- Автор(и): І.П. Прізвище, особистий номер ORCID власного профілю
- Повні офіційні назви організації(й), міст(а), країн(и), що представляють автор(и)
- Резюме
- Посилання
- Текст статті, в якому слід дотримуватися приблизної структури:
  - **Вступ**
    (постановка проблеми в загальному вигляді, її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями, аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковане розв'язання даної проблеми, і на яких базується автор)
  - **Мета роботи**
    (постановка завдання, виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, якій присвячується означена стаття)
  - **Матеріали та методи**
  - **Результати та їх обговорення**
    (Основний матеріал дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів)
  - **Підсумки (або висновки)**
  - **Перспективи подальших досліджень**
  - **Перелік посилань (літературні джерела)**

Розмір рукопису не повинен перевищувати 20 сторінок матеріалів формату А4 (210х297 мм). У це входять: основний текст, формули, таблиці, рисунки і підписи до них, перелік посилань.

Наполегливо рекомендується використовувати для оформлення матеріалів текстові редактори MS Word (розширення файлів *.doc, *.docx) для Windows будь-якої версії, шрифт Times New Roman розміром 12 пт, полуторний інтервал поміж рядками тексту з полями: верхнє, нижнє і праворуч - 1,5 см, ліворуч - 2,5 см.

При використанні одиниць вимірювання необхідно дотримуватися Міжнародної системи одиниць вимірювань (СІ). Формули повинні бути відділені від основного тексту та пронумеровані праворуч від них в круглих дужках. Латинські символи повинні друкуватися курсивом, грецькі прямими.

Для подачі до редакції оригінал тексту рукопису повинен бути надрукований на лазерному або струменевому принтерах з роздільною здатністю не нижче 600 dpi з одного боку аркуша на якісному білому папері формату А4 в наступному вигляді:

На першій сторінці статті:

1. **Назва статті** (по середині сторінки).
2. **І.П. Прізвище(а) автора(ів)** статті, номер(и) ORCID, назва(и) організації(й), в якій(их) виконані дослідження або роботи, Назва статті – українською та англійською мовами.
3. **Резюме українською та англійською (не меньше 1800 друкованих символів) мовами.** Автори несуть відповідальність за відповідність та якість перекладу. Резюме повинні бути лаконічними.

Всі **позначення і скорочення**, за необхідністю, виносяться з тексту в **список позначень**. Позначення розташовуються в алфавітному порядку: спочатку латинські, потім грецькі, верхні і нижні символи та індекси. При використанні в тексті скорочених назв необхідно надати їх розшифровку в списку.

Рисунки. У статті можуть бути представлені **не більше 10 рисунків (фото)**, що включають рисунки з позначеннями «а», «б» і т.д. Всі рисунки повинні мати порядковий номер і посилання на них в тексті. Якість рисунків повинна забезпечувати можливість їхнього поліграфічного відтворення без додаткової обробки. Фізична розподільча здатність рисунка в файлі рукопису при цьому має бути не нижче 300 ppi. Всі позначення на рисунках супроводжуються поясненнями в тексті або в підписах до малюнків.

Таблиці. Кожна таблиця повинна бути чітко розграфлена, мати порядковий номер, на який попередньо надається посилання в тексті.

Перелік посилань (літературні джерела) наводиться в кінці тексту. Їх список складається в порядку згадування цитованого джерела в тексті. У матеріалах статті посилання вказуються в прямих дужках після згадуваних запозичених даних.

Кожне джерело слід оформляти згідно діючого ДСТУ 8302:2015 «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання». Бібліографічні посилання потрібно вказувати транслітерацією латинськими символами.

До рукопису додаються:

- **оригінал акта експертизи** про можливість опублікування статті в пресі для громадян України, що завірений круглою печаткою організації, де проводилася експертиза;
- **зовнішня рецензія** про актуальність роботи і відповідність її тематичній спрямованості журналу з обов'язковим зазначенням наукового ступеня і вченого звання рецензента, що завірена печаткою організації, яку представляє рецензент;
- **відомості про авторів** (Прізвище Ім'я По-батькові, ORCID, науковий ступінь, вчене звання, посада, організація, **адреса, контактні телефони та e-mail**).

Матеріали рукопису з усіма додатками можуть бути надіслані поштою, e-mail або доставлені особисто автором за адресою до редакції.

Редакція залишає за собою право проводити скорочення і несуттєві редакційні правки статей. Орієнтовний термін публікації статті встановлює відповідальний секретар редакції.

Відповідальний секретар: д.т.н., с.н.с. Недбайло Олександр Миколайович.
Адреса редакції: вул. Булаховського, 2, корпус 2, м. Київ, 03164, ДП «ІЦ «Сушка»», Україна.
Тел. +380444240279, тел./факс +380444243283.
E-mail: icsushka@gmail.com

Requirements for registration of articles in international scientific and industrial journal «CERAMICS: Science and Life»

Thematic orientation of journal: state and problems of modern science and industry in the development, manufacturing and introduction of energy-saving innovative technologies in the production of ceramic products.

All material items, for further work with them, must be submitted to the editors necessarily identical print and electronic forms.

Articles published in the specialized journal should contain the **following elements in the Ukrainian and English:**

- Title of the article (without use of abbreviations)
- Author(s): Initials and Surname, ORCID
- Full official name of the organization(s), town(s), country(ies), which the author(s)
- Abstract (Summary)
- References
- Text of the article, which should follow the structure of an example:
  - **Introduction**
    (Statement of the problem in general and its connection with important scientific or practical tasks, analysis of recent research and publications in which a solution of this problem, and which is based on the author)
  - **Objective**
    (Formulation of the problem, highlighting unsolved aspects of the problem, which is devoted to this article)
  - **Materials & methods**
  - **Results & discussion**
    (The basic material of research with full justification of scientific results)
  - **The Conclusions (or outputs)**
  - **List of references (literary sources)**
  - **Prospects for further research**

Manuscripts should not exceed 20 A4 pages of material (210x297 mm). This includes: the main text, formulas, tables, figures and captions, list of references.

It is strongly recommended to use for decoration materials text editors MS Word (file extension *.doc, *.docx) for Windows any version, Times New Roman font size 12 pt, half spacing between lines of text with fields: haute, bottom and right – 1,5 cm, left – 2,5 cm.

When using units must adhere to international system of units (SI). Formula should be separated from the main text and are numbered from the right in parentheses. Latin characters to be printed in italics, the Greek lines.

To submit to the editor the original manuscript of the text to be printed on a laser or inkjet printers is not less than 600 dpi with a resolution of one side of the sheet on white paper A4 format, as follows:

On the first page of the article:

1. **Title of the article** (in the middle of the page).
2. **Name(s) & Surname(s)** the author(s) of article, ORCIDs, *name(s), organization(s)* that performed the study or work.

3. **Abstract in Ukrainian and English (not less than 1800 printed characters).** Authors are responsible for the adequacy and quality of the translation. Summary should be concise.

All symbols and abbreviations, if necessary, are removed from the text to the list of designations. Symbols are arranged in alphabetical order: first in Latin, then Greek, the upper and lower symbols and indices. When using abbreviations in the text must provide their decryption listed.

Figures. The article may be submitted **up to 10 figures (photos)**, including fragment with the notation «a», «b», etc. All figures must be numbered and references to them in the text. Graphics quality should be capable of printing reproduction without additional processing. The physical resolution of the picture in the file of the manuscript is not less than 300 ppi. All symbols in figures accompanied by an explanation in the text or in the figure captions.

Tables. Each table should be clearly, have the serial number, which previously referred to in the text.

The list of **references** (literature sources) is provided at the end of the text. The list drawn up in order of mention in the text of the quoted source. The materials of the article links are indicated in square brackets after mentioning the borrowed data.

Each source should be submitted according to the current State Standard Ukraine 8302:2015. Bibliographic references should be indicated by transliteration in English letters.

The manuscript included:

- **the original of the examination** of the possibility of the publication of articles in the press for the citizens of Ukraine certified by the round seal of the organization where the examination was carried out;
- **external review** of the relevance of the work and relevance to the thematic focus of the journal with the obligatory indication of the scientific degrees and academic status of the reviewer, the seal of the organization that represents the reviewer;
- **information about the authors** (Full name, ORCID, science degree, academic rank, position, organization, address, **contact phone numbers and e-mail**).

Materials manuscript with all applications can be sent by mail, e-mail or personally delivered by the author at the editorial office.

The editors reserve the right to make cuts and changes insignificant editorial articles. The approximate date of publication of article sets the executive secretary of the editorial board.

Executive Secretary: Sc.D., Senior Scientist Alexander Nedbailo.
Editorial address: The SE «EC «Drying», Bulakhovskogo str., 2, Bldg. 2, Kiyv, 03164, Ukraine.
Tel. +380444240279, Tel./Fax +380444243283.
E-mail: icsushka@gmail.com

Міжнародний науково-виробничий журнал
«КЕРАМІКА: наука і життя»
Зміст випуску затверджений на засіданні вченої ради ІТТФ НАН України.
Протокол №19 від 24.03.2021 р.
Підписано до друку 30.03.2021 р.