

Influence of technological parameters of heat treatment on the characteristics of pearly perlite microcells

K.P. Kostogryz¹, A.M. Tsupyashuk¹, Yu.I. Khvastukhin¹, S.M. Roman¹, V.V. Kolesnik²

¹ - *The Gas Institute of the NAS of Ukraine, str. Degtyarivska, 39, Kyiv, 03113, Ukraine*

Tel.: +380444560324

E-mail: tspgas@ukr.net

² - *State University of Infrastructure and Technology, Kiev Institute of Water Transport Hetman Petras Konashevich-Sagaidachny, Department of Electrical Equipment and Automation, str. Kyrylivska, 9, Kyiv, 04071, Ukraine*

Tel.: +380443791062

E-mail: uliazinchenko1@gmail.com

Article info: received 21.06.2018, revised 25.06.2018, accepted 29.06.2018

Kostogryz, K.P., Tsupyashuk, A.M., Khvastukhin, Yu.I., Roman, S.M., Kolesnik, V.V. (2018) Influence of technological parameters of heat treatment on the characteristics of pearly perlite microcells 2(39), doi: 10.26909/csl.2.2018.3

In this paper we have investigated the possibility of obtaining a micro-pelle filler from perlite of various deposits and the influence of technological parameters on the characteristics of the finished product.

Pearlite is made of porous heat-insulating filler, which was previously widely used in the construction industry, but recently, due to the relatively high cost of production, inferior to the popularity of foamed organic fillers - foam. Pearl cones are also used in agriculture as a substrate and sorbent.

The possibility of production hollow microballoons of perlite from various deposits of the world was investigated. The research was performed on the samples of material from five deposits. The dependence of characteristics of hollow microballoons on the modes of thermal treatment in the fluidized bed and dependence of their expansion coefficient on temperature, fractional composition of the material and the amount of structural water in the material were defined. The description of stands for carrying out the researches, experimental technique, microphotos of obtained microballoons were provided. It was exhibited that the preliminary thermal treatment for control to structural water in the material more significantly affects the characteristics of the finished material than the temperature of the expansion. The largest expansion coefficient $K = 18$ was obtained for expansion of sample of the material from the Turkish deposit after its preliminary thermal treatment with objective to reduce the structural water from 3,8 to 3,1 %.

Experimental studies on the perlite swelling of five deposits from different countries of the world have proven the possibility of obtaining from them a microcellular aggregate - vermicular microcells. Studies carried out on two different laboratory facilities showed that the change in the technological modes of flooding significantly affects the characteristics of the final material. The most significant influence on the properties of the resulting material is the amount of bound water in the material.

Results for materials of different fields are significantly different. This indicates the need for an individual approach and comprehensive research on each material from each individual field for the production of high-quality light microscopes - a fine-dispersed filler, with the possibility of its application in many industries.

Key words: hollow microballoons, fluidized bed apparatus, thermal insulation material, volcanic glass, perlite.

Вплив технологічних параметрів термообробки на характеристики порожньотілих перлітових мікрокульок

К.П. Костогриз¹, А.М. Цюпяшук¹, Ю.І. Хвастухін¹, С.М. Роман¹, В.В. Колесник²

¹ - *Інститут газу НАН України, Київ, Україна*

² - *Державний університет інфраструктури та технологій, Київський інститут водного транспорту ім. гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного, кафедра електрообладнання та водного транспорту, Київ, Україна*

Досліджено можливість отримувати порожнотілі мікрокульки з перліту різних родовищ світу. Дослідження проводились на зразках матеріалу п'яти родовищ. Визначено залежності характеристик порожнотілих мікрокульок від режимів їх термічної обробки у псевдозрідженому шарі, залежності коефіцієнту спучування від температури, фракційного складу матеріалу та кількості зв'язаної вологи у матеріалі. Наведено опис стендів для проведення досліджень, методики проведення експерименту, мікрофотографій отриманих мікрокульок. Показано, що попередня термообробка з метою регулювання зв'язаної залишкової вологи у матеріалі більш суттєво впливає на характеристики готового матеріалу, ніж температура спучування.

Найбільший коефіцієнт спучування $K = 18$ досягнуто при спучуванні зразків матеріалу турецького родовища після попередньої його термообробки з метою зменшення зв'язаної вологи з 3,8 до 3,1 %.

Умовні позначення та скорочення

K – коефіцієнт спучування; $t_{\text{сп}}$ – температура спучування, °C; $\rho_{\text{нас1}}$ – насипна густина до спучування, кг/м³; $\rho_{\text{нас2}}$ – насипна густина після спучування, кг/м³; $d_{\text{фр}}$ – діаметр частинок визначеної фракції, м; ПШ – псевдозріджений шар.

Вступ

Порожнотілі алюмосилікатні мікрокульки та скляні мікрокульки мають багато галузей застосування і попит на цей матеріал зростає. В першу чергу вони застосовуються як наповнювачі у спеціальних виробках, у виробництві сферопластиків, полегшених тампонажних матеріалах, у бурових розчинах, спеціальних теплоізоляційних і полегшених кераміках, теплоізоляційних безвипалювальних матеріалах, емульсійних вибухових речовинах та багатьох інших високотехнологічних матеріалах. Огляд властивостей цих матеріалів, способів їх видобутку чи виробництва та існуючих галузей застосування наведено у роботі [1]. Одним з перспективних напрямків застосування цього матеріалу є використання його в якості заповнювача у керамічних виробках. Наприклад, для полегшення керамічної плитки чи інших керамічних виробів. Але через високу вартість існуючих на ринку мікрокулькових заповнювачів, вони майже не застосовуються для товарів загального призначення.

Висока собівартість мікрокулькових заповнювачів пояснюється, в першу чергу, складністю одержання сирцевого матеріалу для виготовлення мікрокульок. Для його одержання необхідно створити скловидну масу певного хімічного складу, після чого здійснити її подрібнення та розподілити на фракції. Скловидну масу отримують перемішуванням твердих компонентів з наступною варкою у скловарній печі.

Що до високої вартості мікрокульок, які виділяють з зольних відвалів ТЕС, то причиною тут є обмеженість цього ресурсу і відсутність можливості впливати на збільшення його кількості [2].

Суттєво зменшити собівартість мікрокульок можливо, якщо використовувати в якості сирцевого матеріалу не штучно створене спеціальне скло, а природні мінерали з аналогічними властивостями.

Таким мінералом може бути широко відомий у будівельній галузі матеріал вулканічного походження – перліт. Перліт – це гідратоване водою вулканічне скло. Вода, котра міститься у склі, знаходиться у хімічно зв'язаній формі. Оскільки, перліт є продуктом вулканічної діяльності, родовища цього матеріалу широко розповсюджені у світі. Широко відомі родовища у Туреччині, Греції, Грузії та Вірменії. Є родовища перліту також і в Україні.

З перліту виготовляють пористий теплоізоляційний заповнювач, який раніше широко використовувався в будівельній галузі, але останнім часом, через відносно високу вартість виробництва, поступається за популярністю спіненим органічним заповнювачам – пінопластам [3 - 5]. Використовують спучений перліт також у сільському господарстві в якості субстрату та сорбенту.

В даній роботі нами проведено дослідження можливості одержання мікрокулькового заповнювача з перліту різних родовищ та вплив технологічних параметрів на характеристики готового продукту. Роботи в цьому напрямку ведуться в Інституті газу НАН України вже декілька років, основні технологічні та конструктивні рішення захищено патентами [6, 7, 8].

Матеріали та методи дослідження

В якості агрегату для обробки сирцевого перліту було вибрано апарат з псевдозрідженим шаром інертного матеріалу. На підставі аналізу літературних даних зроблено висновки, що псевдозрідження частинок інертного матеріалу для спучування в таких апаратах має бути розвиненим та забезпечувати інтенсивне перемішування [4, 9 - 11]. Швидкість газів в апараті для розвиненого псевдозрідження складає $1,1 \div 1,4$ м/с.

Експериментальне дослідження кінетики дегідrataції перліту проводили на лабораторних установках з ПШ інертного носія КС-03 та КС-04 спро-

ектованих та виготовлених в Інституті газу НАН України. Технічні характеристики установок представлено в табл. 1.

Установка КС-03 (рис. 1) з псевдозрідженим шаром (ПШ), складається з корпусу 1, газорозподільного пристрою 2, електронагрівача 3, зовнішньої теплоізоляції 4. Над газорозподільним пристроєм знаходиться шар інертного матеріалу 5. Розмір часток інертного матеріалу d_{in} обраний так, щоб забезпечувати їх стійке псевдозрідження при робочих режимах, але разом з тим вони не виносилися з шару. Повітря в апарат подається від газодувки 6 по трубопроводу з регулюючим краном і витратоміром 7. Напруга до електронагрівача подається від мережі змінного струму через регулюючий трансформатор 8, який дозволяє регулювати температуру нагрівання шару в апараті. Вихідний термодігтовлений матеріал подається

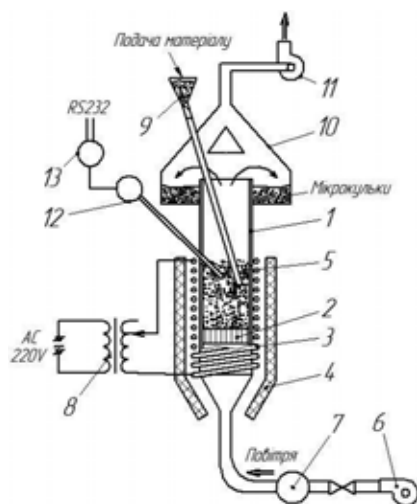


Рис. 1. Схема лабораторної установки КС-03:

1 – корпус; 2 – газорозподільний пристрій; 3 – електронагрівач; 4 – зовнішня теплоізоляція; 5 – шар інертного матеріалу; 6 – газодувка; 7 – витратомір; 8 – регулюючий трансформатор; 9 – завантажувальний пристрій; 10 – осаджувальна камера; 11 – димосос; 12 – термопара ХА (-200...+1100 °С); 13 – реєстратор даних «ПВІ-0298».

Таблиця 1.

Основні технічні дані та характеристики установок

Продуктивність за вихідним матеріалом, кг/год.	0,02 – 0,10
Розмір частинок матеріалу, мкм	0,0 – 1500
Потужність електронагрівача (для КС-03), кВт	0 – 3
Витрати пропан-бутанової суміші (для КС-04), м ³ /год.	0 – 1,3
Витрата зріджуючого агента, м ³ /год.	0 – 15
Температура в псевдозрідженому шарі, °С	0 – 1000

через завантажувальний пристрій 9 в шар, а термооброблений продукт осаджується (вловлюється) в осаджувальній камері 10. Відпрацьований теплоносій відводиться димососом 11. Контроль температури термообробки ведеться термопарою хромель-алюмелевою (ХА) 12 (-200 ... +1100 °С). Сигнал з термопари перетворюється інтелектуальним вимірювачем «ПВІ-0298» 13 і передається по каналу зв'язку RS232 на персональний комп'ютер для реєстрації.

Установка працює таким чином. Газодувка подає зріджуючий агент (повітря) в апарат ПШ. Витрата регулюється за допомогою регулюючого вентиля і контролюється за витратоміром. Проходячи через газорозподільний пристрій потік повітря утворює ПШ з інертного матеріалу, який знаходиться на газорозподільному пристрої. Нагрівання ПШ здійснюється за допомогою електричного нагрівального елемента через стінки корпусу. Вихідний матеріал подається в розігрітий зріджений шар через завантажувальний пристрій. Від контакту з розігрітими частинками інертного шару та стінками апарату матеріал розігрівається, спучується і виноситься в осаджувальну камеру де уловлюється.

Установка КС-04 (рис. 2) складається з корпусу камери спучування 1, вставлену в кінцеву частину газорозподільного пристрою 7. Газорозподільний пристрій складається з конусу та нижньої частини камери спучування, заповнених керамічним зернистим матеріалом розмірами 2 ÷ 5 мм (газорозподільна засипка). На газорозподільній засипці, в камері спучування, знаходиться шар інертного матеріалу з розміром часток 0,4 ÷ 0,6 мм. Газ – пропан-бутанова суміш та повітря через ротаметри 3, 5 та витратні крани 4, 6 подавали в кінцеву частину газорозподільного пристрою.

Спучений матеріал виносився газовим потоком та накопичувався в осаджувальній камері 9. Температуру ПШ вимірювали потенціометром з ХА термопарою та фіксували за допомогою інтелектуального вимірювача «ПВІ-0298». Для компенсації втрат тепла в навколишнє середовище кварцову

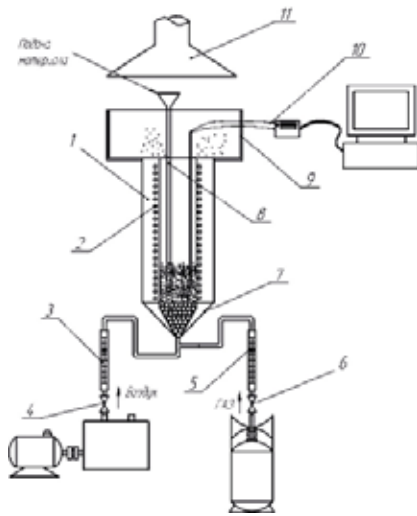


Рис. 2. Схема лабораторної установки КС-04:

1 – корпус (кварцова труба); 2 – електронагрівач; 3, 5 – ротаметри; 4, 6 – крани; 7 – конічна частина газорозподільного пристрою; 8 – завантажувальний пристрій; 9 – осаджувальна камера; 10 – реєстратор даних «ПВІ-0298»; 11 – зонти витяжний.

трубу обігрівали ззовні електронагрівачем 2, з регулюючим автотрансформатором напруги.

Вузьку фракцію вихідної сировини піддавали попередній термопідготовці в муфельній печі. Час і температура термообробки підбиралася таким чином, щоб знизити вміст хімічно зв'язаної води у вихідному матеріалі з початкового значення 3,5 ÷ 7,8 % для різних перлітів до заданого значення 1,5 ÷ 3,5 %. Визначення кількості зв'язаної вологи X в термопідготовленому матеріалі здійснювалося за [12]. Проби термопідготовленого матеріалу прожарювали у муфельній печі при температурі 1000 °С протягом 40 хвилин. Після чого проводи-

лося їх зважування на лабораторних аналітичних вагах 2 кл. точності моделі ВЛА-200г-М. Залишкова вологість визначалася за формулою:

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m_1} 100\% \quad (1)$$

де m_1 і m_2 – маса матеріалу до і після прожарювання, відповідно.

Далі вимірювали насипну густину $\rho_{\text{нас1}}$ термопідготовленого матеріалу за [13]. Після чого термопідготовлений зразок з певною кількістю зв'язаної вологи рівномірно подавали в розігрітий до заданої температури ПШ інертного матеріалу через завантажувальний пристрій. У шарі матеріал розігрівався, спучувався і виносився з потоком зріджуючого агента у осаджувальну камеру. В осаджувальній камері готовий продукт вловлювали, а газовий потік відводився на очистку через циклон за допомогою димососу. Температура в ПШ підтримували постійною та регулювали зміною теплової потужності електронагрівача і подачею сировини.

Потім вимірювали насипну густину $\rho_{\text{нас2}}$ готового матеріалу, вловленого в осаджувальній камері, відповідно до [13] та фотографували за допомогою приєднаної до оптичного мікроскопу цифрової камери.

Розрахунок умовного коефіцієнта спучування проводили за формулою:

$$K = \frac{\rho_{\text{нас1}}}{\rho_{\text{нас2}}} \quad (2)$$

Коефіцієнт K з достатнім ступенем точності характеризує зміну середнього діаметра частинок оброблюваної фракції матеріалу.

Досліди проводилися з використанням матеріалу п'яти різних родовищ перліту з різних країн [14], характеристики яких наведено в табл. 2.

Таблиця 2.

Хімічний склад перлітів

Родовище	Хімічний склад, %										Густина рм, кг/м ³	Пористість %
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	в.п.п		
Арагацьке Вірменія	74,15	11,9	0,71	0,1	1,72	0,13	0,27	4,02	4,4	3,52	1820	22,6
Турція	72,3	12,76	0,85	0,11	0,83	0,4	0,01	3,9	5,4	3,4	1980	16,2
Параванське Грузія	70,57	13,65	1,0	0,1	0,98	0,3	0,23	5,11	3,65	4,43	1570	33,2
Берегівське Україна	74,38	12,93	1,36	0,14	1,17	0,08	0,03	1,56	2,91	5,5	1510	36,6
Мухор – Талліннське РФ	70,7	12,45	1,1	0,2	2,13	0,33	-	0,7	4,8	8,63	1510	36

Результати та їх обговорення

Всі перліти мають різні особливості, на кшталт домішок у вигляді алюмосилікатних глин (у берегівському перліті) та кількості початкової зв'язаної вологи. Оскільки найсуттєвішим показником, який впливає на собівартість заповнювачів є його насипна густина, цьому параметру та впливу на нього технологічних параметрів процесу приділено найбільшу увагу.

Мікрофотографії готового матеріалу з сировини різних родовищ наведено на рис 3. Фактично, цей матеріал є спученим перлітом, але його загальний вигляд і властивості близькі до алюмосилікатних мікрокульок.

На рис. За видно, що мікрокульки з українського перліту берегівського родовища мають неправильну форму, проте володіють закритою пористістю і легкістю ($\rho_{\text{нас2}} = 140 \text{ кг/м}^3$). На рис. 3б мікрокульки з турецького перліту, які мають кульку подібну форму, білий колір, високу прозорість та закриту пористість, а також малу насипну густину ($\rho_{\text{нас2}} = 90 \text{ кг/м}^3$). Мікрокульки з грузинської сировини параванського родовища (рис. 3в) мають близькі характеристики до турецького перліту, але значно більшу насипну густину ($\rho_{\text{нас2}} = 210 \text{ кг/м}^3$). Мікрокульки з російського перліту мухор-галлінського родовища (рис. 3г), відрізняються від інших полікомірковою структурою, що пов'язано з великою кількістю зв'язаної вологи $X = 7,8 \%$ у сировині, матеріал має закриті пори та насипну густину $\rho_{\text{нас2}} = 150 \text{ кг/м}^3$. Мікрокульки з вірменського перліту арагацького родовища (рис. 3д) подібні за характеристиками до турецького, мають закриту пористість і насипну густину $\rho_{\text{нас2}} = 110 \text{ кг/м}^3$.

На підставі отриманих даних побудовано графічні залежності (рис. 4 – 9), аналізуючи які можна встановити теплообмінні та газодинамічні характеристики процесів термообробки дрібнодисперсних матеріалів у ПШ інертного матеріалу, визначити їх вплив на технологічні параметри процесу спучування та на якісні характеристики мікрокульок, а також визначити оптимальні режими роботи печі спучування з ПШ інертного носія для термообробки та спучування перлітів різних родовищ.

Як видно на рис. 4 турецький перліт має найвищі показники за усіма властивостями, навіть при великій початковій вологості $X = 3,8 \%$ було отримано високий коефіцієнт спучування $K = 14,1$. Фракція матеріалу $d_{\text{фр}} = 200 \div 250 \text{ мкм}$ спучена при температурі $t_{\text{сп}} = 960 \text{ }^\circ\text{C}$ мала насипну густину $\rho_{\text{нас2}} = 72 \text{ кг/м}^3$, одержані мікрокульки мають округлу форму, але невелику міцність.

Великий коефіцієнт спучування $K = 11$ показав також перліт арагацького родовища, при кількості зв'язаної води $X = 3,6 \%$ у фракції $d_{\text{фр}} = 160 \div 200 \text{ мкм}$

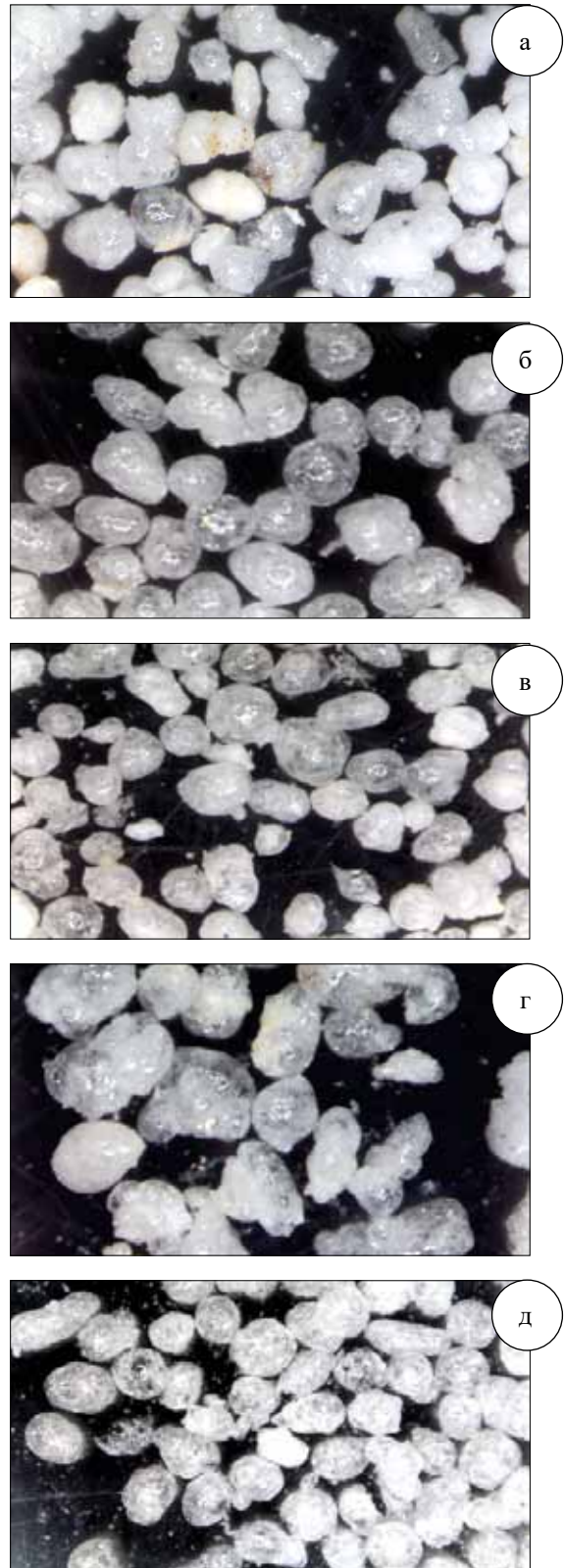


Рис. 3. Мікрокульки з перліту, вихідний матеріал фракції $d_{\text{фр}} = 100 \div 160 \text{ мкм}$: а) берегівського; б) турецького; в) параванського; г) мухор-галлінського; д) арагацького.

спученої при температурі $t_{\text{сп}} = 980$ °С одержано мікрокульки з насипною густиною $\rho_{\text{нас2}} = 85$ кг/м³. Ці мікрокульки мають кулеподібну форму, білого кольору, прозорі але містять і залишки розірваних частинок.

Параванський перліт спучується при $t_{\text{сп}} = 940$ °С та має $K = 9$ для $d_{\text{фр}} = 500 \div 600$ мкм і насипну густиною $\rho_{\text{нас2}} = 100$ кг/м³, одержані мікрокульки кулеподібні, білого кольору та прозорі, мають дещо вищу міцність в порівнянні матеріалом отриманим з турецького та арагацького перліту.

Перліт берегівського родовища має найгірші властивості в порівнянні з попередніми перлітами. Максимальний коефіцієнт спучування $K = 7,5$ досягнуто при $t_{\text{сп}} = 940$ °С і розмірі вихідної фракції $d_{\text{фр}} = 300 \div 400$ мкм. Отримані мікрокульки мали $\rho_{\text{нас2}} = 120$ кг/м³, кулеподібну форму, білий колір з включеннями темного кольору та низьку прозорість частинок, що пояснюється неякісною сировиною з наявністю небажаних домішок. Низький коефіцієнт спучення можна також пояснити малим вмістом легкоплавких оксидів лужних металів $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 4,47$ % (хімічних сполук, що відповідають за процес розм'якшення оболонки частинки у період спучування) в порівнянні з перлітами інших родовищ.

Дуже цікавим фактом є те, що дрібні частки мухор-галлінського перліту до $d_{\text{фр}} = 200$ мкм при початковій вологості 7,8 % майже не спучуються $K = 1,5 \div 2,5$, в більших фракціях присутня значна кількість зруйнованого матеріалу. Зниження зв'язаної води дає можливість отримати непоганий ма-

теріал з усіх фракцій. Для перлітів інших родовищ, які мають значно меншу кількість зв'язаної води, можливо отримувати мікрокульки з вихідного матеріалу без термopідготовки лише для дрібних фракцій – до $d_{\text{фр}} = 200$ мкм. Для більш крупного матеріалу необхідно проводити термopідготовку, видаляючи при цьому, надмірну кількість зв'язаної води, що наглядно видно з рис. 5, 6.

На рис. 5 показано залежність коефіцієнта спучування від розміру вихідної фракції турецького термopідготовленого та нетермopідготовленого перліту. Перліт різних фракцій без попередньої термopідготовки (графік 1) з кількістю зв'язаної води $X = 3,8$ % спучували при $t_{\text{сп}} = 960$ °С. Максимальний коефіцієнт $K = 14,1$ було отримано для фракції $d_{\text{фр}} = 200 \div 250$ мкм, насипна густина якої складала $\rho_{\text{нас2}} = 72$ кг/м³, однак з подальшим ростом розміру вихідного матеріалу коефіцієнт спучування знижується до $K = 11$. Одержана «полічка» на графіку свідчить про зростання кількості розірваних частинок, насипна маса яких із ростом розмірів вихідної фракції матеріалу не змінюється.

Для одержання більшого коефіцієнту спучування для часток з більшим розміром було проведено термopідготовку зі зниженням частки зв'язаної води до $X = 3,1$ % (графік 2). Процес спучування проводили при $t_{\text{сп}} = 960$ °С, в результаті чого було досягнуто $K = 18,1$ при $d_{\text{фр}} = 316 \div 400$ мкм, одержані мікрокульки мали $\rho_{\text{нас2}} = 64$ кг/м³. З подальшим зростанням розміру вихідної фракції матеріалу коефіцієнт спучування почав різко знижуватись, а

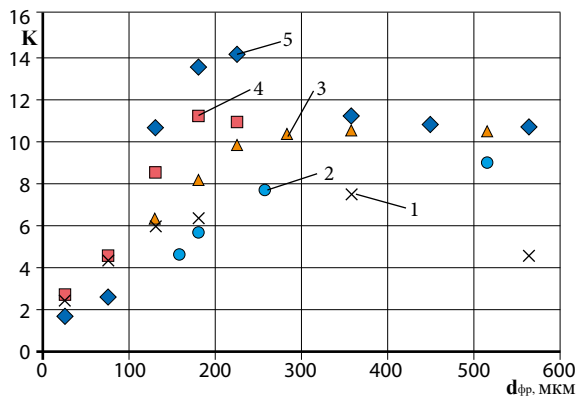


Рис. 4. Залежність коефіцієнта спучування від розміру фракції перліту різних родовищ при початковій вологості (температура спучування $t_{\text{сп}} = 940 \div 1000$ °С):

- 1 – перліт берегівський ($X = 5,2$ %);
- 2 – перліт параванський ($X = 3,9$ %);
- 3 – перліт мухор-галлінський ($X = 3,0$ %);
- 4 – перліт арагацький ($X = 3,6$ %);
- 5 – перліт турецький ($X = 3,8$ %).

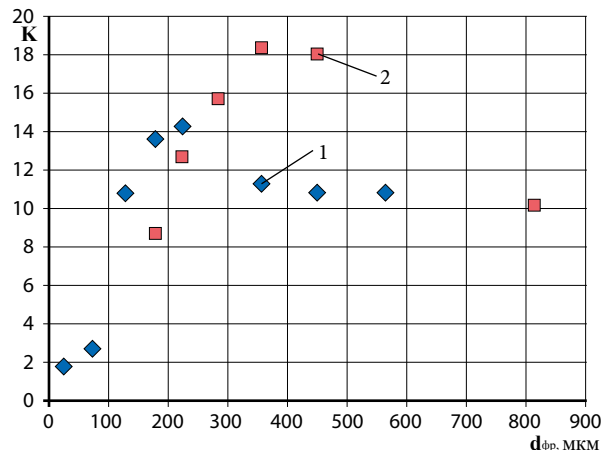


Рис. 5. Залежність коефіцієнта спучування від розміру фракції турецького перліту (температура спучування $t_{\text{сп}} = 960$ °С):

- 1 – перліт турецький нетермopідготовлений ($X = 3,8$ %);
- 2 – перліт турецький термopідготовлений ($X = 3,1$ %).

мікрокульки розриватися, що свідчить про необхідність ще більш глибокої термopідготовки, з метою подальшого зниження кількості зв'язаної вологи для одержання якісних легких мікрокульок із закритою пористістю.

На рис. 6 показано вплив термopідготовки на властивості берегівського перліту. За рахунок зниження кількості зв'язаної вологи з $X = 5,2\%$ до $X = 3,0\%$, вдалося підняти коефіцієнт спучування берегівського перліту для фракції $d_{\text{фр}} = 316 \div 400$ мкм з $K = 7,5$ до $K = 10,5$ із покращенням його властивостей: зменшення кількості мікрокульок з відкритою пористістю, а також зниження його насипної густини з $\rho_{\text{нас2}} = 120$ кг/м³ до $\rho_{\text{нас2}} = 84$ кг/м³, процес проходив при $t_{\text{сн}} = 940$ °С. В даному випадку термopідготовка вихідного матеріалу дозволила підвищити коефіцієнт спучування перліту для одного і того ж розміру фракції та забезпечити закриту пористість мікрокульок.

Однак зменшення зв'язаної вологи при термopідготовці нижче певної величини, призведе до зменшення коефіцієнта спучування (рис. 7), причому з вихідної гранули мікрокулька взагалі не сформується.

Так в результаті термopідготовки арагацького перліту фракції $d_{\text{фр}} = 200 \div 250$ мкм кількість зв'язаної вологи знизилась з $X = 3,6\%$ до $X = 1,7\%$, що виявилось недостатнім для спучування з формуванням мікрокульок. Отриманий матеріал мав достатньо великий коефіцієнт спучування $K = 8$ при температурі $t_{\text{сн}} = 950$ °С, та $\rho_{\text{нас2}} = 120$ кг/м³, але зовнішнім виглядом це був звичайний перліт білого

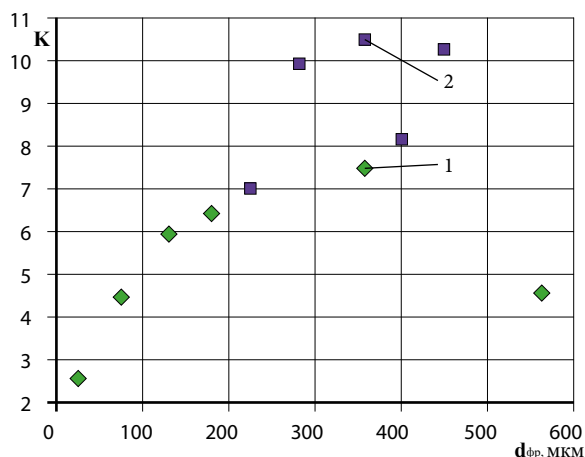


Рис. 6. Залежність коефіцієнта спучування від розміру фракції берегівського перліту (температура спучування $t_{\text{сн}} = 940$ °С):

- 1 – перліт берегівський нетермopідготовлений ($X = 5,2\%$);
- 2 – перліт берегівський термopідготовлений ($X = 3,0\%$).

кольору, не прозорий. Проте цей матеріал мав високу міцність.

На рис. 8 показано узагальнену залежність коефіцієнта спучування перлітів фракції $d_{\text{фр}} = 160 \div 200$ мкм різних родовищ без термopідготовки (окрім мухор-таллінського, в якому зв'язану вологу знизили з 7,8 до 3 %). З ростом температури коефіцієнт спучування підвищується. Найвищі показники має турецький перліт з початковою вологістю $X = 3,8\%$, коефіцієнт спучування росте від $K = 5,6$ при $t_{\text{сн}} = 900$ °С до $K = 12,1$ при $t_{\text{сн}} = 1000$ °С. Український перліт берегівського родовища показав найнижче зростання коефіцієнта спучування від $K = 3,5$ при $t_{\text{сн}} = 900$ °С до $K = 6,4$ при $t_{\text{сн}} = 1000$ °С, що пов'язано з домішками, які присутні у сировинному матеріалі, а також високою кількістю зв'язаної вологи $X = 5,2\%$, котра при її надлишку негативно впливає на процес спучування.

На рис. 9 показано узагальнену залежність коефіцієнта спучування від кількості зв'язаної вологи у матеріалі, з якого видно що зменшення зв'язаної вологи збільшує коефіцієнт спучування лише до певного значення, подальше зменшення вологи призводить до суттєвого зменшення коефіцієнту спучування. Найвищий коефіцієнт спучування спостерігається у турецького перліту $K = 18$, фракції $d_{\text{фр}} = 400 \div 500$ мкм спученого при температурі $t_{\text{сн}} = 960$ °С з кількістю зв'язаної вологи $X = 3,1\%$. Для берегівського перліту найвищий коефіцієнт спучування $K = 7,4$ спостерігався при кількості зв'язаної вологи $X = 3,5\%$ і фракції $d_{\text{фр}} = 200 \div 250$ мкм.

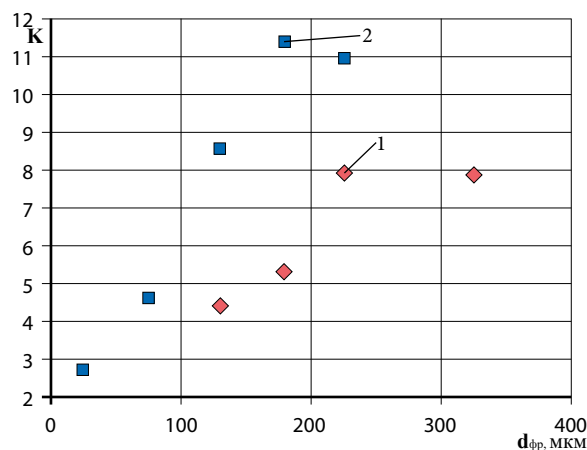


Рис. 7. Залежність коефіцієнта спучування від розміру фракції арагацького перліту (температура спучування $t_{\text{сн}} = 950$ °С):

- 1 – перліт арагацький нетермopідготовлений ($X = 3,6\%$);
- 2 – перліт арагацький термopідготовлений ($X = 1,7\%$).

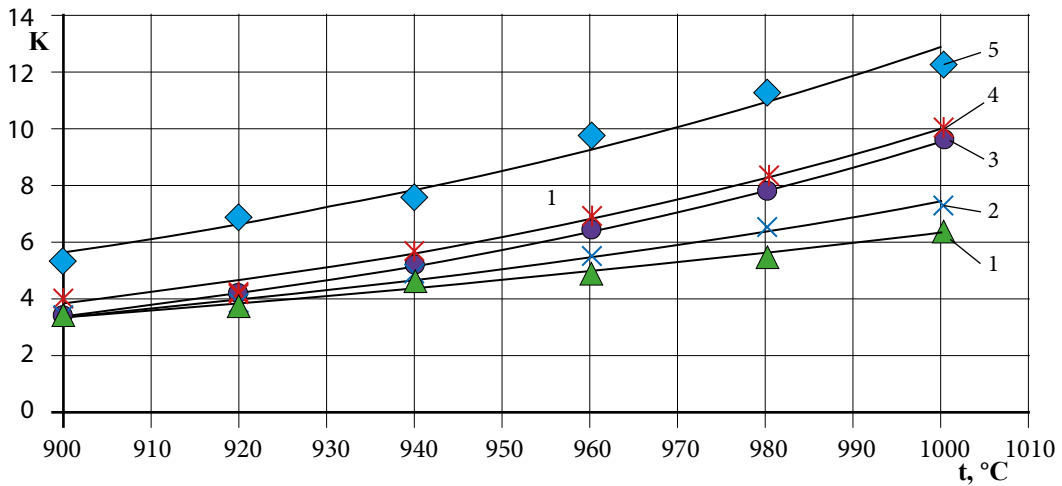


Рис. 8. Залежність коефіцієнта спучування від температури термообробки перліту різних родовищ (розмір фракції вихідного матеріалу $d_{\text{фр}} = 160 \div 200$ мкм):

- 1 – перліт берегівський ($X = 5,2\%$);
- 2 – перліт параванський ($X = 3,9\%$);
- 3 – перліт мухор-таллінський ($X = 3,0\%$);
- 4 – перліт арагацький ($X = 3,6\%$);
- 5 – перліт турецький ($X = 3,8\%$).

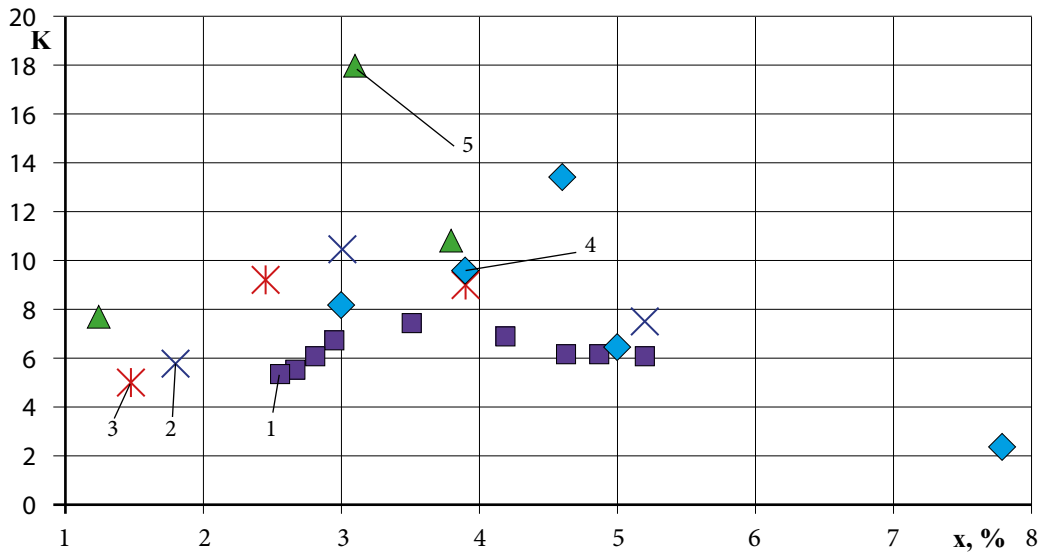


Рис. 9. Залежність коефіцієнта спучування від кількості зв'язаної води (температура спучування $t_{\text{сп}} = 960 \div 980$ °C):

- 1 – перліт берегівський ($d_{\text{фр}} = 200 \div 250$ мкм);
- 2 – перліт берегівський ($d_{\text{фр}} = 316 \div 400$ мкм);
- 3 – перліт параванський ($d_{\text{фр}} = 400 \div 630$ мкм);
- 4 – перліт мухор-таллінський ($d_{\text{фр}} = 100 \div 200$ мкм);
- 5 – перліт турецький ($d_{\text{фр}} = 400 \div 500$ мкм).

Висновки

Експериментальні дослідження із спучування перліту п'яти родовищ різних країн світу довели можливість одержання з них мікрокульового заповнювача – порожнотілих мікрокульок. Дослідження проведені на двох різних лабораторних установках показали, що зміна технологічних режимів спучування суттєво впливає на характеристики кінцевого матеріалу. Найбільш суттєвий вплив на властивості отриманого матеріалу здійснює кількість зв'язаної води у матеріалі. Найбільший коефіцієнт спучування $K = 18$ досягнуто при термообробці зразків матеріалу турецького родовища після попередньої його термopідготовки з метою зменшення зв'язаної вологи з 3,8 % до 3,1 %, при цьому насипна густина готового матеріалу склала $\rho_{\text{нас2}} = 64 \text{ кг/м}^3$. Перліт мухор-галліїнського родовища без зниження кількості зв'язаної вологи у вихідному матеріалі майже не спучувався, а зниження цієї вологи шляхом термopідготовки, дозволило одержати якісний матеріал з насипною густиною $\rho_{\text{нас2}} = 150 \text{ кг/м}^3$.

Результати для матеріалів різних родовищ суттєво відрізняються. Це вказує на необхідність індивідуального підходу та проведенні комплексних досліджень по кожному матеріалу з кожного окремого родовища для одержання високоякісних легких мікрокульок – дрібнодисперсного заповнювача, з можливістю його застосування у багатьох галузях промисловості.

References

1. *Костогриз, К.П.* Поле микросферы. Получение, свойства и использование. (Обзор) – Эко-технологии и ресурсосбережение. – 2012. – № 5. – С. 60-65.
2. *Кизильштейн, Л.Я., Дубов, И.В., Штицглюз, А.Л., Париды, С.Г.* Компоненты зол и шлаков. – ТЭС М.: Энергоатомиздат. – 1995. – 176 с.
3. *Некрасов, К.Д., Масленникова, М.Г.* Легкие жаростойкие бетоны на пористых заполнителях. – М., Стройиздат. – 1982. – 152 с.
4. *Кривенко, П.В., Пушкарева, К.К., Кочевих, М.О.* Заповнювачі для бетону. – К. – 2001. – 400 с.
5. *Титова, Г.* Штучні заповнювачі для бетону як альтернатива природній сировині. – Вісник корпорації Укрбудматеріали. – 2004. – № 4. – С. 26.
6. Пат. 97065 України, МКИ C03B 19/10; C04B 14/14, 20/06. Спосіб виготовлення заповнювача будівельних матеріалів у вигляді мікрокульок. Ю.І. Хвастухін, К.П. Костогриз, С.М. Роман. – № а 2011 00966; заявл. 28.01.2011 р.; опубл. 26.12.11, бюл. № 24. – 4с.
7. Пат. 87352 України, МКИ F27B 15/00, C04B 14/00, 20/00. Апарат для термообробки мінеральних матеріалів. Ю.І. Хвастухін, К.П. Костогриз, С.М. Роман, А.М. Цюпляшук. – № u 2013 07076. 05.06.2013 р.; опубл. 10.02.14, бюл. № 3. – 4с.
8. *Хвастухин, Ю.И., Костогрыз, К.П., Собченко, В.В., Цюпляшук, А.Н.* Энергоэффективные технологии получения пористых неорганических заполнителей для теплоизоляционных материалов в аппаратах с псевдооживленным слоем. – Материалы международной научно-технической конференции «Энергоэффективность - 2014». – Минск, Республика Беларусь. – 2014. – С. 131-132.
9. *Онацкий, С.П.* Производство керамзита. – М. – 1987. – 336 с.
10. *Сажин, Б.С.* Основы техники сушки. – М.: Химия. – 1984. – 320 с.
11. *Лыков, М.В.* Сушка в химической промышленности. – М.: Химия. – 1970. – 429 с.
12. ГОСТ 23673.6-79 Доломит для стекольной промышленности. Метод определения потери массы при прокаливании. – Москва, Министерством промышленности строительных материалов СССР. – Введ. 01.01.1981.
13. ДСТУ Б В.2.7-157:2011 Пісок і щебінь перлітові случені. Технічні умови. – Київ, НДІБМВ. – Введ. 01.05.2011.
14. *Алексеева, Л.В.* Технологические особенности производства вспученного перлита из сырья различных месторождений. – Строительные материалы и изделия. – 2005. – № 6(34). – С. 25-29.