

УДК 621.793

В.Б. УСТЬЯНОВ, В.В. ІВАЩЕНКО

СТАТИЧНЕ ТА ВІБРАЦІЙНЕ ФОРМУВАННЯ ЯЧЕЇСТОЗАПОВНЕНИХ ВОГНЕТРИВІВ

Известны способы повышения термостойкости плотных огнеупоров, состоящие в ослаблении связи наполнителя (шамота) с матрицей. Для этого шамот покрывали слоем вещества (парафин), которое выпаривается и выгорает при обжиге, или имеет меньший модуль упругости (некоторые соли и окиси). В обоих случаях это обеспечивает уменьшение объемных напряжений в циклах «нагрев-охлаждение» и предотвращает возникновение и развития магистральных трещин. В работе разработан и исследован класс композиционных материалов с оригинальной структурой, составляющей пенообразный (ячеистый) каркас, полости которого заполнены другим веществом. Такие материалы получают статической или вибрационной формовкой из гранул двуслойных или многослойных (капсулированных). Предложенная макронеоднородная структура, открывает новые возможности в материаловедении. Установлено, что в зоне ниже 1000°C вспученный перлит в ячейках каркаса выполнял свои теплоизоляционные функции. Оптимальным по прочности и плотности является состав с объемом каркаса (10±20)% и диаметром гранул 5÷10 мм. Ячеистозаполненная структура обеспечивает эксплуатацию огнеупоров до 1300°C. Огневое сокращение легкоплавких ядер вспученного перлита и дальнейшее их полное расплавление не приводил к разрушению огнеупора, поскольку ячеистый огнеупорный каркас «держит форму».

Ключевые слова: огнеупоры, ячеистозаполненная структура, прессование, виброимпульсное формование.

Відомі способи підвищення термостійкості щільних вогнетривів, що полягають в послабленні зв'язку наповнювача (шамоту) з матрицею. Для цього шамот вкривають шаром речовини (парафін), яка випаровується і вигоряє під час випалювання, або має менший модуль пружності (деякі солі та окиси). В обох випадках це забезпечувало зменшення об'ємних напружень в циклах «нагрівання–охолодження» і запобігало виникненню і розвитку магистральних тріщин. В роботі розроблений та досліджений клас композиційних матеріалів з оригінальною структурою, що становить піноподібний (ячеїстий) каркас, порожнини якого заповнені іншою речовиною. Такі матеріали отримують статичним або вібраційним формуванням із сировинних гранул двохшарових чи багатшарових (капсульованих). Запропонована макронеоднорідна структура відкриває нові можливості в матеріалознавстві. Встановлено, що в зоні нижчих за 1000°C спучений перліт в ячейках каркасу виконує свої теплоізоляційні функції. Оптимальним, щодо міцності і щільності, є склад з об'ємом каркасу (10±20)% і діаметром гранул 5÷10 мм. Ячеїстозаповнена структура забезпечує експлуатацію вогнетривів до 1300°C. Вогневе скорочення легкоплавких ядер спученого перліту і подальше їх повне розплавлення не призводить до руйнування вогнетриву, оскільки ячеїстий вогнетривкий каркас «тримав форму».

Ключові слова: вогнетриви, ячеїстозаповнена структура, пресування, віброімпульсне формування.

There are known methods for increasing the heat resistance of dense refractories, which consist in weakening the bond between the filler (chamotte) and the matrix. To do this, the chamotte was covered with a layer of matter (paraffin), which evaporates and burns during roasting, or has a smaller modulus of elasticity (some salts and oxides). In both cases, this reduces the volumetric stresses in the heating-cooling cycles and prevents the occurrence and development of main cracks. A class of composite materials with an original structure constituting a foam-like (cellular) skeleton with cavities filled with another substance has been developed and studied. Such materials are obtained by static or vibrational molding from bilayer or multilayer granules (encapsulated). The proposed macro-inhomogeneous structure opens up new possibilities in materials science. It was found that in the zone below 1000° C the expanded perlite in the cells of the framework fulfilled its thermal insulation functions. The optimum strength and density is the composition with the carcass volume (10±20)% and the granule diameter 5÷10 mm. The honeycomb-filled structure provides operation of refractories up to 1300°C. The fire reduction of the fusible cores of expanded perlite and their further complete melting did not lead to the destruction of the refractory, since the cellular refractory skeleton «keeps the shape».

Keywords: refractories, cellular structure, pressing, vibropulse molding.

Вступ. Відомі способи підвищення термостійкості щільних вогнетривів, що полягають в послабленні зв'язку наповнювача (шамоту) з матрицею (спечена глина). Для цього шамот вкривали шаром речовини, яка випаровується і вигоряє під час випалювання (парафін), або має менший модуль пружності (деякі солі та окиси). В обох випадках це забезпечувало зменшення об'ємних напружень в циклах «нагрівання–охолодження» і запобігало виникненню і розвитку магистральних тріщин.

Актуальність. В роботі розроблений, досліджений і запатентований клас композиційних матеріалів з оригінальною структурою, що становить піноподібний (ячеїстий) каркас, порожнини якого заповнені іншою речовиною. Такі матеріали отримували статичним або вібраційним формуванням із сировинних гранул двох- чи багатшарових (капсульованих). Запропонована макронеоднорідна структура, що відкриває нові можливості в матеріалознавстві [1].

Методика досліджень. Для виготовлення щільного вогнетриву ми формували з глини на шнековому вакуумпресі з перфорованою решіткою джгути діаметром 2÷5 мм, під'ялювали і досушували

їх, обкочуючи у розчиномішалці вільного падіння. Наприкінці висушування на поверхню удовжених гранул («вермишелек»), що утворились при руйнуванні джгутів, накатували шар роз'єднуючого матеріалу (деревне або вугільне борошно, глинозем, молотий пісок тощо), а потім шар молотої глини. З отриманих гранул пресували лабораторні зразки – циліндри діаметром і довжиною 50 мм і повнотілу цеглу при тиску 20÷30 МПа. Дослідження проводили на циліндрах. При цьому змінювали діаметри «вермишелек», товщини роздільного шару і матеріалу оболонки (капсули). Для порівняння властивостей одночасно досліджували такі ж циліндри з традиційної глиношамотної суміші і зразки пластичного формування (кількість шамоту зменшили, а глини збільшили). Випалювали при температурі 1400°C. Під час пресування гранули пластично деформувалися і їхні оболонки об'єднувалися, утворюючи просторовий ячеїстий каркас (матрицю). Ядра гранул слугували наповнювачем і склали основний об'єм (80÷95%) матеріалу. По аналогії з ячеїстими (ніздроватими) бетонами і ячеїстою керамікою такі матеріали отримали назву «ячеїстозаповненими».

Термовитривалість визначали запропонованим нами методом – нагрівачи верх циліндрів протягом 2÷3 хвилин ацетиленовою горілкою до оплавлення і зішттовхуючи їх у воду. Кількість циклів нагрівання-охолодження до появи руйнуючих тріщин слугувала показником термовитривалості.

Для дослідження шлакостійкості ми запропонували доступний, у наших умовах, метод – у невипалених циліндрах висвердлювали (на половину висоти) вісьове заглиблення діаметром 10 мм, в яке після випалювання зразків вкладали сталеву підшипникову кульку і засипали доверху молотим доменим шлаком. Зразок декілька разів нагрівали в індукційній печі протягом 2÷3 хвилин для розплавлення шлаку і після кожного нагрівання охолоджували на повітрі. Такий жорсткий режим дозволяв оцінювати також і термовитривалість. Паралельно зі шлаком досліджували зразки з віконним склом, до якого додали 30% каустичної соди (для збільшення агресивності розплаву).

Мета досліджень. Створення щільних та полегшених шамотних вогнетривів.

Результати досліджень. На рис. 1 наведено фото структури шамотної цегли з гранул діаметром 5 мм. У якості роздільного шару деревне борошно. Помітний зазор між ядрами і ячеїстим каркасом.



Рис. 1 – Структура щільного шамотного ячеїсто заповненого вогнетрива

Дослідження показали, що за міцністю при стисканні на першому місці – зразки пластичного формування, на другому – традиційні шамотні, а ячеїстозаповнені – на останньому. При цьому звернули увагу на некрихкий (змінання) характер початку руйнування ячеїстозаповненої кераміки. За термовитривалістю – все навпаки. За стійкістю до руйнування шлаком зразки ячеїстозаповнені і пластичного формування були на рівних і перевищували традиційні шамотні, а розплав скла виявився менш агресивним. Хоч міцність на стискання вогнетривів не є важливим показником якості, на це питання ми теж звернули увагу.

Тому продовжили дослідження, намагаючись об'єднати переваги різних вогнетривів. Для цього готували суміші традиційної шамотної шихти з додаванням різної кількості «вермішелек» різних розмірів. Дослідження виявило, що найкращі результати за всіма показниками були у зразків з 20% гранул діаметром 3 мм.

Під час висушування гранул обкачуванням на краях «вермішелек» формувалися гантелеподібні потовщення. Такі гранули защемлювалися в глиношамотній матриці і підвищували міцність виробів при згинанні, тобто армували черепок.

Локальна повітряна і вогнева усадка гранул, а також наявність послабленого проміжного шару сприяли утворенню мікрощілин, які релаксували об'ємні напруження під час термічних циклів і гальмували розвиток магістральних тріщин [2, 3].

При цьому технологія виробництва вогнетривів суттєво не змінювалась, оскільки формувальні властивості глиношамотної суміші з добавкою армуючих капсульованих гранул були задовільними. Вважаємо, що покращення якості вогнетривів через додавання капсульованих гранул може бути першим етапом запровадження ячеїстозаповнених матеріалів у виробництво. Можливо, подальше зменшення діаметрів гранул і пошук оптимальних розмірів щілин між ядрами і каркасом дозволять виготовляти вогнетриви без попереднього випалювання глини «на шамот», тобто з чистої глини. Вакуумне формування джгутів та їх максимальна повітряна усадка забезпечена повільною сушкою при обкачуванні і співударяннях, надає великої міцності і щільності напівфабрикату. А вогнева усадка ядер призводить до формування зазорів між ядрами і каркасом і компенсує вогневу усадку виробів. Тобто, вогнева усадка цегли буде мінімізована, що дуже важливо для одержання точних розмірів вогнетривів.

Другим напрямком дослідження було отримання полегшених вогнетривів з ячеїстозаповненою структурою. Промисловість виготовляє теплоізоляційні матеріали для температур до 900°C на основі спученого перліту. Це штучна порошкоподібна речовина, яку отримують спучуванням при температурі 1100÷1200°C подрібненого природного вулканічного скла (перліту, обсідіану, попелу). Насипна вага його у межах 80-120 кг/м³. Вироби виготовляють пресуванням у формах перліту на зв'язці (глиняний шлікер, розчин рідкого скла, фосфогель). Температура їх використання обмежена розплавленням перліту, що веде до великої усадки та повного руйнування ізоляції.

Для підвищення температури експлуатації виробів ми формували обкачуванням гранули зі спученого перліту. Зв'язкою слугували водні розчини крохмалю і сульфітно-спиртової барди (ССБ). Діаметр гранул в межах 3÷30 мм. Під кінець обкачування на поверхню гранул наносили шар глиношамоту в кількості (5÷20) % від об'єму гранул. Глиношамотну суміш готували сумісним вібропомолом наповнювача (шамот, глинозем) з глиною. З цих капсульованих гранул статичним пресуванням (тиск 1÷2 МПа) чи віброформуванням з підвантаженням формували плити розміром від 100x100x10 мм до 300x300x100 мм і цеглу. Випалювали при 1000°C. Щільність отриманих виробів (400÷600) кг/м³. Міцність при стисканні 1÷2 МПа. Ячеїстозаповнена структура забезпечувала експлуатацію вогнетривів до 1300°C. Вогневе

скорочення легкоплавких ядер спученого перліту і подальше їх повне розплавлення не призводило до руйнування вогнетриву, оскільки ячеїстий вогнетривкий каркас «тримав форму».

На рис. 2 наведені структури цегли з гранул різних діаметрів. Цеглу випалювали при різних температурах і випробовували на різних режимах. Можна бачити поступове спікання ядер перліту, навіть до його повного плавлення.

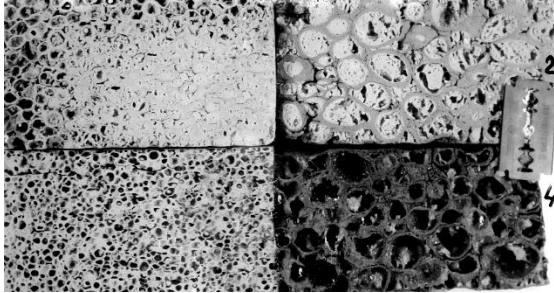


Рис. 2 – Структура ячеїстозаповнених легковагових вогнетривів

На рис. 3 цегла, що більше місяця щодня односторонньо (суміжні сторони цеглин) нагрівалася до 1100°C і охолоджувалася до кімнатної температури. Вона не дала усадки і не розтріскалася через градієнт температур (1100-80°C на протилежних ложках цеглини) і термоцикли.

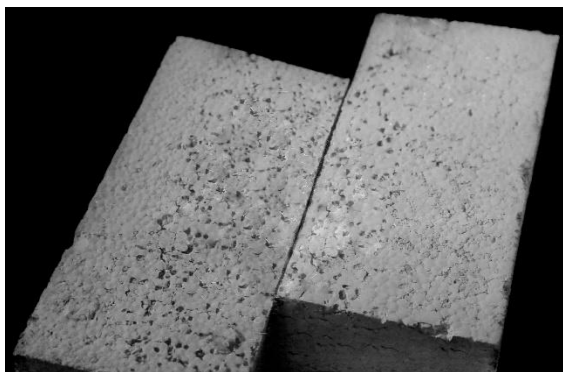


Рис.3 – Легковаговий ячеїстозаповнений вогнетрив після експлуатації при 1250°C (суміжні боки)

В зоні нижчих за 1000°C температур спучений перліт в ячейках каркасу виконував свої теплоізоляційні функції. Оптимальним, щодо міцності і щільності, ми вважаємо склад з об'ємом каркасу (10±20)% і діаметром гранул 5÷10 мм [4,5].

Висновки. Віброімпульсне формування, як найефективніший спосіб рівнощільної укладки поліфракційних порошкових систем використовують для формування виробів складної конфігурації і великих розмірів [6].

Ми вжили цей метод у поєднанні з інерційним довантаженням, оскільки він дозволяв формувати вироби з крихких гранул, не руйнуючи їхньої цілостності.

Список литературы

1. В.Б. Устьянов, В.В. Иващенко Ячеїстозаполненные материалы, тенденции и перспективы. «Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века», № 2, 2014, с 18-20.
2. В.Б. Устьянов, В.В. Иващенко и др. Шамотный огнеупор с ячеїстозаполненной структурой. Огнеупоры. 1988, № 12.
3. V.B. Ust'yanov, V.V. Ivashchenko, D. I. Chagin, B. A. Savinov, V. S. Obnrikhin Refractories and Industrial Ceramic, November–December, 1988, Volume 29, Issue 11-12, p. 711-712.
4. В.Б. Устьянов, В.В. Иващенко Новая технология легковесных огнеупоров. «Формование порошковых материалов» (краткие тезисы докладов). Ленинград, 1979.
5. В.Б. Устьянов, В.В. Иващенко и др. Виброформование огнеупорных изделий из гранулированных материалов. «Формование порошковых материалов» (краткие тезисы докладов). Ленинград, 1979.
6. В.В. Иващенко Віброімпульсне формування виробів із порошків – унікальна технологія для нових матеріалів. «Прогресивна техніка і технологія». «Машинобудування, приладобудування і зварювальне виробництво». Праці міжнародної науково-технічної конференції. 1998.

Bibliography (transliterated)

1. V.B. Ustianov. V.V. Ivashchenko. Yacheїstozapolnennyye materialy. tendentsii i perspektivy. «Stroitelnyye materialy. oborudovaniye. tekhnologii KhKhI veka». No 2. 2014. p/ 18-20.
2. V.B. Ustianov. V.V. Ivashchenko i dr. Shamotnyy ogneupor s yacheїstozapolnenoй strukturoy. Ogneupory. 1988 No 12.
3. V.B. Ust'yanov, V.V. Ivashchenko, D. I. Chagin, B. A. Savinov, V. S. Obnrikhin. Refractories and Industrial Ceramic, November–December, 1988, Volume 29, Issue 11-12, p. 711-712.
4. V.B. Ustianov. V.V. Ivashchenko. Novaya tekhnologiya legkovesnykh ogneuporov. «Formovaniye poroshkovykh materialov» (kratkiye tezisy dokladov). Leningrad. 1979.
5. V.B. Ustianov. V.V. Ivashchenko i dr. Vibroformovaniye ogneupornykh izdeliy iz granulirovanykh materialov. «Formovaniye poroshkovykh materialov» (kratkiye tezisy dokladov). Leningrad. 1979.
6. V.V. Ivashchenko. Vibroimpulsne formuvannya virobiv iz poroshkiv – unikalna tekhnologiya dlya novikh materialiv. «Progresivna tekhnika i tekhnologiya». «Mashinobuduvannya. priladobuduvannya i zvaryvalne virobnitstvo». Pratsi mizhnarodnoї naukovo-tekhnichnoї konferentsii. 1998.

Поступила (received) 28.11.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Статическая и вибрационная формовка ячеїстозаполненных огнеупоров / В.Б. Устьянов, В. В. Иващенко // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Инновационные технологии и оборудование обработки материалов в машиностроении и металлургии. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2017. – № 43 (1265). – С. 68–71. – Библиогр.: 6 назв– ISSN 2519-2671.

Статичне та вібраційне формування ячеїстозаповнених вогнетривів / В.Б. Устьянов, В. В. Иващенко // Вестник НТУ «ХПИ». Серия: Инновационные технологии и оборудование обработки материалов в машиностроении и металлургии. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2017. – № 43 (1265). – С. 68–71. – Библиогр.: 6 назв– ISSN 2519-2671.

Static and vibratory molding of cellular filled refractories / V. Ustyanov, V. Ivashchenko // Bulletin of NTU "KhPI". Series: Innovative technologies and equipment for processing materials in engineering and metallurgy. – Kharkov: NTU "KhPI", 2017. – No43 (1265). – P. 68–71. – Bibl: 6. – ISSN 2519-2671.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Устьянов Володимир Борисович – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник кафедри механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського». Адреса: 02166, вул. Курчатова, 15, кв. 34. Тел. 097-590-13-12, e-mail: svetaharsiki@gmail.com.

Устьянов Владимир Борисович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры механики пластичности материалов и ресурсосберегающих процессов НТУУ «КПИ им. И. Сикорского». Адрес: 02166, Киев, ул. Курчатова, 15, кв. 34, тел. Тел. 097-590-13-12. e-mail: svetaharsiki@gmail.com.

Ustyanov Volodymyr – candidate of technical sciences, senior researcher at the department of Mechanics of plasticity of materials and resource-saving processes, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”. Contact details: Phone: +38097-590-13-12 e-mail: svetaharsiki@gmail.com.

Іващенко Віталій Вадимович – кандидат технічних наук, доцент кафедри механіки пластичності матеріалів та ресурсозберігаючих процесів НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського». Адреса: 03110, Київ, вул. Олексіївська, 5, кв.30. Тел. 096-216-58-59, e-mail: vivashchenko@ukr.net.

Иващенко Виталий Вадимович – кандидат технических наук, доцент кафедры механики пластичности материалов и ресурсосберегающих процессов НТУУ «КПИ им. И. Сикорского». Адрес: 03110, Киев, ул. Алексеевская, 5, кв. 30. Тел. 096-216-59-58, e-mail: vivashchenko@ukr.net.

Ivashchenko Vitaliy – candidate of technical sciences, lecturer at the department of Mechanics of plasticity of materials and resource-saving processes, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”. Contact details: Phone: +38096-216-59-58, e-mail: vivashchenko@ukr.net.