

Розвиток технології виробництва теплоізоляційних матеріалів для використання в металургії та машинобудуванні

Розглянуто задачі металургійних, машинобудівних, ливарних підприємств України щодо теплозбереження в зазначених галузях промисловості у воєнний і повоєнний періоди та на перспективу. Показано, що можливості розвитку тепло- та енергозбереження в металургії і машинобудуванні за рахунок поширення використання ефективних теплоізоляційних матеріалів із мулітокремнеземистого волокна повною мірою на практиці не реалізовані. Перспективною сферою застосування теплоізоляційних виробів є будівництво, реконструкція та модернізація діючих металургійних агрегатів у доменному, сталеплавильному, прокатному перетинах. Розроблено і реалізовано на практиці технологію виробництва сучасних теплоізоляційних матеріалів із мулітокремнеземистого волокна, які є працездатними при температурах до 1600 °С, іноді навіть вище. Показано можливості змінювати температуру експлуатації виробів із мулітокремнеземистих матеріалів (вати, повсті, плит, фетру, картону тощо) шляхом варіювання вмістом сполук алюмінію, хрому, цирконію у шихті для виплавлення мулітокремнеземистого матеріалу. Запропоновано конкретні технічні рішення щодо економії енергії, які дозволяють за рахунок використання теплоізоляції із мулітокремнеземистого волокна забезпечити зменшення витрат на обігрів печей на ~ (40...45) %. Викладено досвід заводу ТОВ «СИНТИЗ» щодо реалізованих заходів у напрямі модернізації руднотермічної печі СКБ 6098. В результаті удосконалення системи управління пичю витрати електроенергії зменшилися на ~ (5...15) %. Напрямок подальшої модернізації виготовлення мулітокремнеземистого волокна полягає в об'єднанні окремих локальних систем управління технологічним процесом в єдину замкнуту автоматизовану систему управління виробництвом цієї продукції. Актуальними є також науково-дослідні роботи у напрямі удосконалення технології виробництва теплоізоляційних матеріалів і виробів з них на основі використання природної сировини.

Ключові слова: теплозбереження, теплоізоляція, металургія, машинобудування, теплоізоляційні і мулітокремнеземисті матеріали.

Вступ. Металургійні, машинобудівні, ливарні підприємства мають зіграти вирішальну роль у відновленій інфраструктурі України у воєнний та повоєнний періоди. При цьому слід очікувати посилення вимог до енергозбереження у зазначених галузях важкої промисловості.

Відомо [1—3 та ін.], що ефект від використання прогресивних теплоізоляційних матеріалів у промислових об'єктах металургійних підприємств перевершує можливості зниження енерговитрат завдяки вибору раціональних режимів технологічних процесів, наприклад режимів виплавки сталі чи вибору обтисків на листових і сортових станах. На металургійних і машинобудівних заводах України темі теплоенергозбереження приділяється увага. Зокрема — зниженню енерговитрат на нагрівання і термообробку металевих виробів. Сказане значною мірою стосується усіх металургійних агрегатів доменного, сталеплавильного, прокатного перетинів. Цей напрям металургійного виробництва має великий та нереалізований потенціал і перспективи подальшого

розвитку.

На металургійних і машинобудівних заводах у різних нагрівальних пристроях, нагрівальних колодязях і термічних печах, димоходах, інших агрегатах в якості робочого незахищеного шару футеровки і проміжного, захищеного шару традиційно застосовують цегляну вогнетривку кладку для ізоляції обладнання від впливу високих температур. Але застосування цегляної кладки для теплоізоляції і теплозбереження в металургійному виробництві пов'язано з добре відомими складнощами (збільшенням габаритів і вартості агрегатів, високою теплоємністю кладки з вогнетривкої цегли за порівняно неефективної теплоізоляції, тепловою й температурною інерційністю кладки, витратами енергії на її нагрівання до температур експлуатації тощо). Цегляна вогнетривка кладка застосовується, як правило, в умовах, де є безпосередній контакт футеровки з рідким металом або там, де кладка може піддаватися ударним навантаженням. У нагрівальних пристроях прокатних цехів, зокрема у термічних

печах, де небезпека ударів по кладці зведена до мінімуму, цегла поступово витісняється пористими або волокнистими вогнетривкими матеріалами.

Виконані дослідження засвідчили [1—4], що перевагами сучасних волокнистих матеріалів, до яких насамперед належать матеріали та вироби вогнетривкі теплоізоляційні мулітокремнеземисті (алюмосилікатні) скловолокнисті, є: порівняно невелика щільність (рулонного матеріалу не більше 200 кг/м^3 , мулітокремнеземистих виробів складної конфігурації з уявною щільністю не більше 500 кг/м^3), низька теплопровідність (у 5—6 разів нижча, ніж у вогнетривкої цегли), практично необмежена термостійкість, зокрема здатність витримувати циклічні зміни температури під час періодичного нагріву й охолодження футеровки, відсутність небезпеки її руйнування, мала теплоємність, що дає змогу за потреби швидко здійснювати розігрівання й охолодження нагрівальних систем, агрегатів, зокрема термічних печей. До переваг вогнетривких матеріалів і виробів на основі мулітокремнеземистого волокна належить також розмаїття видів цієї продукції (вата, рулонний матеріал, повсть, плити, фетр, картон), що зумовлює зручність їх застосування в промисловості. Крім того, варіюючи хімічним складом (вмістом сполук алюмінію, хрому, цирконію), можна впливати на в'язкість розплаву мулітокремнеземистих матеріалів при виплавленні та на їх властивості. Наприклад, змінювати максимально можливу температуру експлуатації виробів з них.

Відповідно до чинних стандартів, теплоізоляційні вогнетривкі мулітокремнеземисті скловолокнисті матеріали та вироби з них призначені для застосування за температур до 1350°C як теплоізоляційний компенсаційний матеріал при теплоізоляції термічних, нагрівальних, вертикально-секційних, циліндричних печей та інших типів, нагрівальних колодязів, різних теплових агрегатів.

В результаті досліджень [1—8 та ін.], виконаних на заводі «Синельниківська теплоізоляція», були знайдені рішення, які підвищили температуру використання зазначених виробів до $1500\text{—}1600^\circ\text{C}$ і тим самим розширили сферу їх експлуатації. Встановлено, що така волокниста футеровка особливо ефективна для використання у термічних печах листопрокатних і сортопрокатних цехів. У методичних нагрівальних печах цехів гарячої прокатки футеровку рекомендовано виконувати з керамоволокнистих блоків (плит, виробів складної форми) «торців» верхніх зон, печей, а з волокнистого рулонного матеріалу і матів (повсті, фетру) — ізоляцію гісажних і опорних труб, ущільнення стін, склепіння і пальникових вузлів. В обтискних прокатних цехах найбільший ефект забезпечує заміна цегляної футеровки кришок нагрівальних колодязів волокнистими вогнетривкими матеріалами.

Найширше волокнисті вогнетривкі мулітокремнеземисті матеріали використовують для футерування стін та склепіння ковпакових печей у листопрокатному виробництві. В результаті застосування такого теплоізоляційного матеріалу знижується тепловий потік через стіни і склепіння печі, зменшується

теплоємність футеровки. Це забезпечує зменшення витрат палива, збільшення продуктивності печі завдяки скороченню циклу розігріву та охолодження агрегату.

За даними Українського науково-дослідного інституту вогнетривів імені А.С. Бережного [9], заміна вогнетривкої цегляної кладки на волокнисту футерівку для однієї термічної печі з викочуваним подом площею 27 м^2 дає змогу зменшити витрату палива у 20 разів. Тому в термічних печах різного типу (камерних зі стаціонарним і висувним подом, вертикальних, конвеєрних, з крокувальними балками або подом тощо) склепіння і стіни рекомендується повністю виконувати з волокнистих вогнетривких матеріалів. У загальному випадку в металургії та машинобудуванні 1 т вогнетривких волокнистих матеріалів замінює від 10 до 23 т традиційних вогнетривів (вогнетривкої цегли).

Аналіз виробничого досвіду засвідчив, що особливо ефективним є застосування волокнистих вогнетривких матеріалів в електропечах періодичної дії. При використанні волокнистих вогнетривких матеріалів на $1/3$ зменшуються втрати тепла і, відповідно, витрати електроенергії. В агрегатах такого типу волокнисті вогнетриви використовуються для виконання всіх елементів футеровки за винятком завантажувального вікна і пода печей. При цьому для виготовлення пода печі і завантажувального вікна можна використовувати вироби з волокнисто-глиняного матеріалу ШПГТ-450. Волокнисті теплоізоляційні матеріали, з огляду на їхній високий тепловий опір, дають змогу виконати енергозберігаючу реконструкцію діючих печей і будівництво більш економічних теплових агрегатів. Огороджувальні конструкції, виконані з мулітокремнеземистих матеріалів, мають низку переваг перед вогнетривкою цегляною кладкою: по-перше, малу масу волокнистої футерівки пічних агрегатів через невелику удавану щільність високопористої теплоізоляції, і, по-друге, незначну акумуляцію тепла. У печах, що періодично працюють, теплові втрати, зумовлені акумуляцією тепла кладкою з волокнистих матеріалів, менші на 20—40 %, ніж за цегляного футерування. У печах, що працюють у безперервному режимі, економія теплової енергії внаслідок зменшення теплового потоку через стінки печі може досягати 8—10 %. У безперервно працюючих нагрівальних штовхальних або з крокуючими балками печах прокатних цехів втрати тепла через кладку можуть бути зменшені на 2—5 %. Проте абсолютні величини економії енергії за високої продуктивності печей для нагріву заготовок виявляються вельми суттєвими.

Підкреслимо, що використання розглянутих вогнетривких матеріалів спрощує і полегшує металокопії (масу металокаркасів на 15—20 %) для запроєктованих нових печей, прискорює процес нагріву металу і спрощує його регулювання. Витрати вогнетривів зменшуються в 10—12 разів, а трудові витрати на монтаж кладки — в 2—3 рази. Волокнисті мулітокремнеземисті матеріали і вироби з них використовуються також в ізоляційних шарах футеровок

печей в комбінації з цегляною і бетонною кладками. Вироби з волокнистих матеріалів, які допускають більш високі максимальні температури застосування (до 1600 °С), дають змогу досягати більшого ефекту завдяки можливості використання їх у робочому шарі теплового огородження печей.

Слід підкреслити, що задача теплозбереження актуальна не тільки в металургії та машинобудуванні. «М'які» вогнетриви із мулітокремнеземистого волокна мають широке застосування і в інших галузях промисловості. Подальше завдання полягає у розширенні асортименту високотемпературних вогнетривких виробів із мулітокремнеземистого волокна, призначених для використання в агрегатах, обладнанні підприємств хімічної галузі, що працюють при високих температурах [6—8].

Звернемо увагу металургів і на задачі збереження високої температури рідкого чавуну за рахунок використання волокнистих мулітокремнеземистих вогнетривів. Збереження високої температури рідкого чавуну забезпечує його стабільну якість і, в цілому, сприяє покращенню техніко-економічних показників виробництва металопродукції. Результати дослідів, представлених у дисертаційній роботі [9], засвідчили, що акумулюючі властивості робочого шару футеровки визначаються величиною коефіцієнта акумулюючої здатності:

$$\sqrt{\lambda c \rho}, \quad (1)$$

де λ — коефіцієнт теплопровідності Вт/м · °С; c — теплоємність, кДж/кг · °С; ρ — щільність, кг/м³. Вироби з мулітокремнеземистого волокна мають значно менший коефіцієнт акумулюючої здатності, ніж щільні вогнетриви. Зменшення величини цього коефіцієнта на ~ 20 % надає можливість скоротити втрати температури чавуном у ковші приблизно на 5 °С і у жолобах ливарного двору на ~ 4 °С. Для зниження втрат тепла рекомендовано [9] між кожухом і цегляною кладкою футеровки чавунного ківша використовувати теплоізоляційний шар товщиною 0,02 м із волокнистого вогнетрива марки МКРПГ-400.

Досліди щодо підвищення ефективності виробництва та покращення якості вогнетривких теплоізоляційних мулітокремнеземистих матеріалів і виробів з них на заводі ТОВ «СИНТИЗ» (м. Синельникове Дніпропетровської області) продовжуються. Показово, що безпосередньо на цьому заводі блоками з мулітокремнеземистого волокна розмірами 300 x 300 x 70 мм зафутерували частину робочого простору прохідної тунельної печі завдовжки 120 м, призначеної для випалу виробів за температури 1000 °С. У результаті витрати теплоносіїв на обігрів печі скоротилися на ~ 45 %. Названа тунельна піч подібна до печей, що експлуатуються на металургійних і машинобудівних заводах та призначені для нормалізації (термічної обробки) гарячекатаних товстих листів.

У процесі виконання науково-дослідних робіт, націлених на модернізацію обладнання і технології виробництва мулітокремнеземистого волокна на заводі ТОВ «СИНТИЗ», в першу чергу було удоско-

налено¹ систему управління руднотермічною піччю СКБ-6098. А саме систему управління автоматичним переміщенням електродотримувачів зазначеної дугової електропечі. Система управління побудована на сучасній електронній базі із застосуванням контролера та периферійних модулів та вузлів українського виробництва. У процесі модернізації були замінені застарілі електричні блоки та елементи управління, які на сьогоднішній момент важко піддаються профілактиці та ремонту, оскільки виробили свій ресурс. Виконані дослідження засвідчили, що застосування панельного контролера дає оператору на екрані монітора більше інформації про стан вузлів системи керування та режим ведення плавки. Модернізація системи управління забезпечила оптимальні режими ведення процесу плавки мулітокремнеземистого матеріалу в електропечі. Внаслідок реалізації зазначених рішень економія з витрат електроенергії складає від 5 до 15 % залежно від режимів експлуатації печі.

У процесі роботи модернізованої системи управління піччю стабілізується тепловий баланс у ванні електропечі, що призводить до більш рівномірного прогріву шихтових матеріалів, які подаються в піч, та забезпечується їх рівномірне змішування і стабілізація об'ємної кількості розплаву, що зливається через випускний отвір. Подальша модернізація полягає в об'єднанні окремих локальних систем в єдину автоматизовану систему управління технологічним процесом (АСУТП) виробництва мулітокремнеземистого волокна.

Незважаючи на певні успіхи у розробці зазначеної теми, деякі матеріалознавчі питання щодо наукового обґрунтування режимів виплавлення мулітокремнеземистого волокна залишаються нез'ясованими. Потребують подальшого дослідження і розвитку науково-технічні питання прогнозування в'язкості розплаву мулітокремнеземистого волокна, подібно тому, як це запропоновано у статті [10]. Необхідно розробити і реалізувати на практиці рішення щодо підвищення температури використання, розширення сортаменту і сфери застосування виробів з мулітокремнеземистого волокна. Все вищевикладене актуалізує тематику науково-дослідних робіт у зазначеному напрямі.

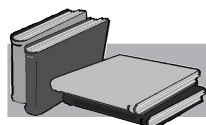
Висновки

На воєнний та повоєнний періоди активізувалася задача енерго- і теплозбереження в чорній та кольоровій металургії. У цій сфері значний потенціал мають теплозберігаючі заходи, які передбачають використання ефективних вогнетривів з волокнистого мулітокремнеземистого волокна. Можливості теплозбереження за рахунок розширення застосування мулітокремнеземистих волокнистих матеріалів на всіх металургійних перетинах повною мірою не реалізовані. Показано, що вогнетривкі вироби із сучасних мулітокремнеземистих волокон спроможні працювати без втрати своїх теплоізолюючих властивостей за температур до 1600 °С, а в певних

¹ За участю в.о. директора ТОВ «СИНТИЗ» Асташонка Є.С. і приватного підприємця Романова В.Г.

умовах навіть вище. Теплопровідність виробів із мулітокремнеземистого волокна у 5—6 разів нижча, ніж теплопровідність вогнетривкої цегли. Футеровка з мулітокремнеземистого волокна особливо ефективна у металургійних печах періодичної дії. Застосування волокнистих мулітокремнеземистих матеріалів для футерування електропечей періодичної дії дозволяє зменшити приблизно в 1/3 рази витрати палива на обігрів таких печей. Мулітокремнеземисті волокнисті вогнетриви мають перспективи для розширення застосування на об'єктах, працюючих при високих температурах, у кольоровій металургії, хімічній промисловості тощо. Дослідження щодо удо-

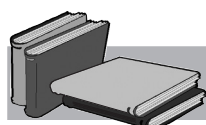
сконалення технології виробництва вогнетривів з мулітокремнеземистого волокна передбачають розвиток системи управління технологією виплавлення волокна. Також виробництва мулітокремнеземистих волокон із природної сировини взамін глинозему і кварцового піску, які використовуються нині.



ЛІТЕРАТУРА

1. Мазур В.Л., Рябов А.И., Мазур В.В. Энергосбережение, теплоизоляция, «мягкие» огнеупоры. *Металл и литье Украины*. 2009. № 6. С. 27—34.
2. Мазур В.Л., Рябов А.И., Мазур В.В. Проблемы теплосбережения и теплоизоляции в металлургии и пути их решения. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2007. № 1. С. 68—71.
3. Мазур В.Л., Рябов А.И., Мазур В.В. «Мягкие» огнеупоры — эффективный путь тепло- и энергосбережения в металлургии. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2008. № 2. С. 82—86.
4. ВАТ «Український науково-дослідний інститут вогнетривів імені А.С. Бережного» — 75 років. Харків: Прапор. 2002. 272 с.
5. Мазур В.Л., Рябов А.И., Мазур В.В. Развитие производства эффективных огнеупорных материалов. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2005. № 6. С. 65—67.
6. Мазур В.Л., Рябов А.И., Мазур В.В. Решение проблемы теплосбережения и теплоизоляции в металлургии. *Новые огнеупоры*. 2005. № 4. С. 51—56.
7. Мазур В.Л., Рябов А.И., Мазур В.В. Тепло- и энергосбережение в металлургии: задачи, решения, перспективы. *Экология и промышленность*. 2008. № 2. С. 51—55.
8. Мазур В.Л., Рябов А.И., Мазур В.В. Новый этап развития производства огнеупорных волокон. *Хімічна промисловість України*. 2005. № 5 (70). С. 66—67.
9. Дубовкина М.Ю. Совершенствование технологии подготовки чугуна к конверторной плавке. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 — Черная металлургия. Приазовский государственный технический университет. Мариуполь, 2004. 21 с.
10. Приходько Э.В., Мазур В.Л., Хамхотья А.Ф., Мазур В.В. Прогнозирование вязкости расплавов горных пород. *Металл и литье Украины*. 2006. № 1. С. 94—98.

Надійшла 10.11.2023



REFERENCES

1. Mazur, V.L., Ryabov, A.I., Mazur, V.V. (2009). Energy economy, thermal insulation, “soft” refractories. *Metal and Casting of Ukraine*, 6, 27-34 [in Russian].
2. Mazur, V.L., Ryabov, A.I., Mazur, V.V. (2007). Problems of heat saving and thermal insulation in metallurgy and ways of their solution. *Metallurgical and Mining Industry*, 1, 68-71 [in Russian].
3. Mazur, V.L., Ryabov, A.I., Mazur, V.V. (2008). “Soft” refractories are an effective way of heat and energy saving in metallurgy. *Metallurgical and Mining Industry*, 2, 82-86 [in Russian].
4. OJSC “Ukrainian Research Institute of Refractories named after A.S. Berezhnyi” — 75 years (2002). Kharkiv: Prapor, 272 p. [in Ukrainian].
5. Mazur, V.L., Ryabov, A.I., Mazur, V.V. (2005). Development of production of effective refractory materials. *Metallurgical and Mining Industry*, 6, 65-67 [in Russian].
6. Mazur, V.L., Ryabov, A.I., Mazur, V.V. (2005). Solution of the problem of heat saving and thermal insulation in metallurgy. *New refractories*, 4, 51-56 [in Russian].
7. Mazur, V.L., Ryabov, A.I., Mazur, V.V. (2008). Heat and energy saving in metallurgy: problems, solutions, prospects. *Ecology and Industry*, 2, 51-55 [in Russian].

8. Mazur, V.L., Ryabov, A.I., Mazur, V.V. (2005). A new stage of development of refractory fibre production. *Chemical industry of Ukraine*, 5(70), 66-67 [in Russian].
9. Dubovkina, M.Yu. (2004). The improvement of hot metal quality increase methods during transfer to the steelmaking unit. Extended abstract of candidate's thesis on a speciality 05.16.02 — Ferrous metallurgy. Priazovsky State Technical University. Mariupol, 21 p. [in Russian].
10. Prikhodko, E.V., Mazur, V.L., Khamkhotko, A.F., Mazur, V.V. (2006). Prediction of viscosity of rock melts. *Metal and Casting of Ukraine*, 1, 94-98 [in Russian].

Received 10.11.2023

Summary

V.V. Mazur, Postgraduate student, e-mail: mazur0709@gmail.com

*Iron and Steel Institute of Z.I. Nekrasov of the NAS of Ukraine
(Dnipro, Ukraine)*

Development of technology for the production of heat-insulating materials for use in metallurgy and mechanical engineering

The article considers the tasks of metallurgical, machine-building, and foundry enterprises of Ukraine regarding heat saving in these industries during the war and post-war periods and in the future. It is shown that the possibilities of developing heat and energy saving in metallurgy and machine building through the widespread use of effective heat-insulating materials made of multisilica fibre have not been fully realised in practice. A promising area of application of heat-insulating products is the construction, reconstruction and modernisation of existing metallurgical units in blast furnace, steelmaking and rolling sections. The technology for the production of modern heat-insulating materials made of multisilica fibre, which are efficient at temperatures up to 1600 °C, sometimes even higher, has been developed and put into practice. Possibilities of changing the operating temperature of products made of multisilica materials (cotton wool, felt, plates, felt, cardboard, etc.) by varying the content of aluminium, chromium, zirconium compounds in the charge for smelting multisilica materials are shown. Specific technical solutions to save energy are proposed, which allow reducing the cost of heating furnaces by ~ (40...45) % by using thermal insulation made of multisilica fibre. The experience of the SINTIZ LLC plant regarding the measures taken to modernise the SKB 6098 ore-thermal furnace is presented. As a result of the improvement of the furnace control system, electricity consumption decreased by ~ (5...15) %. The direction of further modernisation of multisilica fibre production is to combine separate local process control systems into a single closed automated control system for the production of this product. Research and development activities aimed at improving the technology for the production of heat-insulating materials and products based on the use of natural raw materials are also relevant.

Keywords

Heat saving, heat insulation, metallurgy, mechanical engineering, heat-insulating and multisilica materials.