

© Ожогін В.В.¹, Ковалевський І.А.², Тарасюк Л.І.³, Семакова В.Б.⁴**СПОСІБ І УСТАНОВКА ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ЗАЛІЗОВМІСНИХ ВІДХОДІВ
МЕТАЛУРГІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА**

Огляд і аналіз публікацій у сфері утилізації подрібнених залізовмісних металургійних відходів, зокрема пилу, шламів і ін., дозволив виявити сформовану тенденцію їхньої переробки. Оскільки ці відходи містять значну кількість шкідливих домішок, їх утилізація в основному виробництві приводить до нагромадження шкідливих речовин, що негативно позначається на роботі металургійних агрегатів. У цей час признана доцільною їх переробка в окремих установках. Перші установки мали високі капітальні й поточні витрати. Створення печей із обертовим подом дозволило істотно знизити поточні витрати, однак капітальні залишалися високими. До того ж зростання цін на газоподібне паливо для умов України робить впровадження таких установок нерентабельним. На порядку денному стало питання про кардинальне зниження ваги таких установок і поточних витрат на їхню експлуатацію. Комплекс досліджень, що був виконаний, дозволив розробити спосіб і установку, яка реалізує цей спосіб. Так, головними відмінностями даного способу від відомих є спільне додрібнення шихти до мікронного рівня, використання бішофіту $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ як сполучного і флюсів, попереднє ущільнення шихти в бігунах і застосування для металізації спеціальної багатозонної індукційної печі. Сукупність мір, здійснюваних за даним способом, підвищує ступінь металізації заліза з 90%, що отримують за відомими способами, до 99,6% і скорочує цикл відновлення в 4-8 разів, тобто з 1-2 год до 0,25 год. Це також дозволяє поліпшити екологічну обстановку і скоротити загальні втрати метала на 3-5%. Установка розроблена в мобільному варіанті, для чого обладнання компонується в ряд автономних вузлів, що встановлюються на зварених рамах. Установка розроблена з урахуванням використання устаткування, яке виробляється в Україні, і не залежить від закордонних поставок комплектуючих і сполучних, що значно знижує її вартість.

Ключові слова: залізовмісні відходи, утилізація, спосіб, установка, переробка, спільне стирання, брикетування, відновлення.

Ожогин В.В., Ковалевский И.А., Тарасюк Л.И., Семакова В.Б. Способ и установка для переработки железосодержащих отходов металлургического производства. Обзор и анализ публикаций в сфере утилизации измельченных железосодержащих металлургических отходов, в частности, пыли, шламов и др., позволил выявить сложившуюся тенденцию их переработки. Поскольку эти отходы содержат значительное количество вредных примесей, их утилизация в основном производстве приводит к накоплению вредных веществ, что отрицательно сказывается на работе металлургических агрегатов. Признана целесообразной их переработка в отдельных установках. Первые установки имели высокие капитальные и текущие расходы. Создание печей с вращающимся подом позволило существенно снизить текущие расходы, однако капитальные оставались высокими. К тому же рост цен на газообразное топливо для условий Украины делает внедрение таких установок нерентабельным. На повестке дня стал вопрос о кардинальном сниже-

¹ канд. техн. наук, ст. наук. співр., ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Мариуполь

² канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Мариуполь, i_koval@ukr.net

³ канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Мариуполь, sssts@list.ru

⁴ канд. техн. наук, доцент, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Мариуполь, semakova-v@ukr.net

ниш веса таких установок и текущих затрат на их эксплуатацию. Выполненный комплекс исследований позволил разработать способ и установку, которая реализует этот способ. Так, главными отличиями данного способа от известных является совместное доизмельчение шихты до микронного уровня, использование бихофита $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ как связующего и флюсов, предварительное уплотнение шихты в бегунах и применения для металлизации специальной многозонной индукционной печи. Совокупность мер, осуществляемых данным способом, повышает степень металлизации железа с 90%, которые получают по известным способам, до 99,6% и сокращает цикл восстановления в 4-8 раз, то есть с 1-2 ч до 0,25 ч. Это также позволяет улучшить экологическую обстановку и сократить общие потери металла на 3-5%. Установка разработана в мобильном варианте, для чего оборудование комплектуется в ряд автономных узлов, устанавливаемых на сваренных рамах. Установка разработана с учетом использования оборудования, которое производится в Украине, и не зависит от зарубежных поставок комплектующих и связующих, что значительно снижает ее стоимость.

Ключевые слова: железосодержащие отходы, утилизация, способ, установка, переработка, общее истирание, брикетирование, восстановление.

V.V. Ozhogin, I.A. Kovalevskiy, L.I. Tarasyuk, V.B. Semakova. Procedure and installation for processing iron-containing metallurgical waste. The review and the analyses of publications in the domain of recycling crushed iron containing metallurgical waste, including dust, slam, etc., has made it possible to determine the generated tendency of their processing. As this waste contains a significant amount of harmful admixtures, their recycling in the basic manufacture process results in accumulation of harmful substances that negatively affect the operation of metallurgical units. Therefore their processing in insulated installations is strongly recommended nowadays. The first installations had high capital and current expenditures. Creation of rotary-hearth kilns has allowed to lower essentially current expenditures, however capital expenditures remaining high. Besides the rise in prices for heating gas under the conditions of Ukraine made the installations unprofitable. That is why there arises a problem of cardinal reduction of such installations employment as well as current expenditures for their maintenance. The executed investigations have made it possible to develop both the procedure and the installation realizing this procedure. So, the principal differences of the given procedure from the known ones are simultaneous crushing of the charge to micron level, the use of bichofit $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ as the connector and the flux, preliminary consolidation of the charge material in the runners and application of a special multizonal induction furnace for metallic coating. The set of the measures realized on the given procedure, raises the degree of metallic coating of iron from 90%, realized according to the known procedure, up to 99,6% and reduces the restoration cycle by 4-8 times, i. e. from 1-2 h. to 0,25 h. It also allows to improve ecological environment and to reduce the total metal loss by 3-5%. The installation has been developed as a mobile variant for which the equipment is arranged as separate units fixed on welded frames. The installation has been developed with regard to the equipment fabricated in Ukraine, and does not depend on the deliveries of the component parts and the connectives from abroad; it considerably reducing its cost.

Keywords: iron containing metallurgical waste, recycling, a procedure, an installation, processing, a simultaneous crushing, briquetting, restoration.

Постановка проблеми. Забруднення природного середовища техногенними відходами чорної металургії завдає серйозної шкоди життєдіяльності людини. Значна частина такої шкоди наноситься подрібненими залізовмісними відходами металургійного виробництва. Зокрема, на великих металургійних підприємствах повного циклу при виробництві 1 т прокату створюється до 160 кг шламів і пилу [1, с. 85].

Для вирішення даної проблеми на металургійних підприємствах організована переробка цих відходів. Однак вони, як правило, містять значну кількість шкідливих домішок, перш за

все, цинк, кадмій, свинець, луги та інші шкідливі та отруйні речовини, які, концентруючись в обігу, суттєво погіршують техніко-економічні показники головного процесу. Зокрема, цинк, що накопичується в доменній печі, може призводити до руйнування футеровки, а при випуску чавуну – до тяжких отруєнь робітників.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Літературний огляд і аналіз існуючого стану в сфері утилізації відходів металургійного виробництва, виконаний в 2017-2019 рр., встановив, що на металургійних підприємствах повного циклу, які мають у своєму складі аглофабрики, великих проблем із утилізацією дрібних відходів, як правило, не виникає [1].

Однак на переробних і металургійних підприємствах неповного циклу, що переробляють металобрухт, утилізація залізовмісного пилю, шламу, вторинної окалини і інших видів відходів пов'язана зі значними труднощами. Ці відходи окускуюють окатуванням або брикетуванням на установках невеликої одиничної потужності та повертають в електропечі, що переплавляє металобрухт [2, с. 25, 29]. При цьому в оборотному продукті накопичуються шкідливі домішки, через що процес утилізації доводиться переривати, а такий шлам виводити з обігу і захоронювати або складувати для можливої реалізації підприємствам кольорової металургії, що незавжди можливо, безпечно та ефективно.

За кордоном вважається ефективним такі відходи вловлювати, виводити з обігу і паралельно головному процесу переробляти на спеціальних установках у металізований напівпродукт, який може довго зберігатися, реалізовуватися на сторону або використовуватися у власному виробництві як замітник металобрухту.

Для цих цілей англійська фірма «Тетронікс» виготовляє плазмові печі [3], а в Японії розроблено процес рідкофазного відновлення для рециклінгу металургійного пилю з отриманням чавуну в шахтній печі з коксової насадкою [4]. НДТУ «МІСіС» спільно з НЛМК розроблено печі рідкофазного відновлення, що використовує як джерело тепла і відновника вугілля [5]. Перевагою цих печей є використання електрики або вугілля. До недоліків печей подібного типу можна віднести отримання напівпродукту у вигляді рідкого чавуну, який слід піддавати негайному використанню або розливанню, що ускладнює і здорожує переробку відходів цими способами.

Більш прийнятною з цієї точки зору є переробка відходів у напівпродукт у печах типу «Хіт фаст» (швидке нагрівання) з обертовим подом. Так, фірмою «Інметко» розроблено однойменні технологічні модулі продуктивністю 10-50 тис. т відходів на рік, що дозволяють переробляти весь обсяг відходів поточного виходу.

Спосіб переробки залізовмісних відходів в установках «Інметко» полягає в наступному. Брикетти або окатиші, отримані зі залізовмісних відходів металургійного виробництва (шлам, пил, окалина та ін.) з добавкою відновника (вугілля, кокс, нафтовий кокс і ін.), завантажують у сирому вигляді в печі з обертовим подом діаметром 16,7-18 м, опалювальну природним газом. При обертанні пода печі матеріал проходить через чотири стадії обробки – сушіння, нагрівання, відновлення і охолодження. Тривалість відновлення при 1200-1350°C до ступеня відновлення 90% становить 1 год, витрата енергії – 10,9 ГДж (2,6 Гкал) на 1 т продукту [6].

Істотним недоліком даного способу та установки, що реалізує цей спосіб, є те, що на опалення печі з обертовим подом потрібна значна кількість природного газу, вартість якого неухильно зростає. Це надмірно збільшує поточні витрати. Великі й капітальні витрати, які становлять 150-200 дол./т готової продукції на рік (у цінах 1983 р.). В умовах нерегулярної роботи установки, яка властива переробним металургійним підприємствам, організувати рентабельну переробку залізовмісних відходів досить складно.

Для зниження витрат на природний газ в ДВНЗ «ПДТУ» розроблено ефективний спосіб прямого відновлення, що знижує його витрату [7]. Однак це призводить до суттєвого ускладнення процесу. В НМетАУ також працюють над вдосконаленням методів прямого отримання заліза [8].

Патентний огляд показав, що в останні роки за кордоном значно зросла кількість робіт, пов'язаних з організацією переробки відходів у печах з обертовим подом, проте в цілому до поліпшення ситуації з утилізацією відходів це не призвело.

Мета статті – з використанням вищенаведених передових досягнень у сфері металургійних технологій та результатів виконаних досліджень [9] удосконалити спосіб переробки залізовмісних відходів у металізований напівпродукт і адаптувати його до умов розробленої установ-

ки, що реалізує цей процес [10].

Виклад основного матеріалу. Для досягнення високої ефективності розроблюваного способу і установки переробки відходів спосіб відновлення має володіти порівняно з досягнутим рівнем [6, 7] наступними перевагами:

- споживати не тільки традиційні види дрібних залізо- і вуглецевмісних відходів (пил, шлам, окалину, антрацитовий штиб і ін.), а й нетрадиційні (пил зачистки металу, шлами вуглезабагачення, сажу та ін.), а також первинну сировину (концентрат, залізородний пил та ін.);
- як енергоносії використовувати електрику;
- тривалість відновлення має бути скорочена з 1-2 до 0,25 год, тобто в 4-8 разів;
- ступінь відновлення (металізації) заліза становити вище 99%;
- мати низькі питомі капітальні та поточні витрати порівняно з аналогами.

Спосіб, який у максимальній мірі реалізує задані умови, зображений на рис. 1.

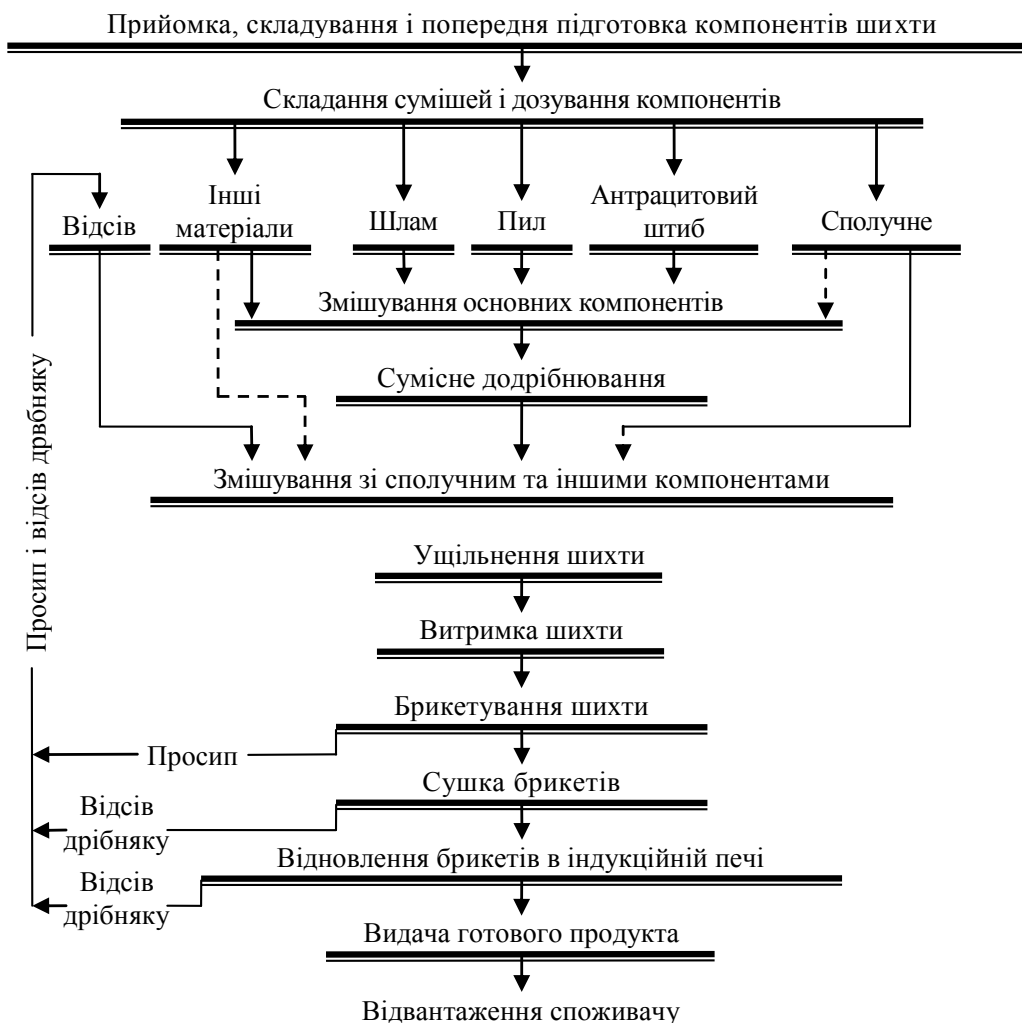


Рис. 1 – Спосіб отримання відновлених брикетів

Спосіб отримання відновлених брикетів включає етапи з виконання наступних видів робіт.

Приймання, складування і попередня підготовка компонентів шихти відбувається в звичайному порядку. Зокрема, перезволожені сталеплавильні шлами висушують у природних умовах до вологості менше 16%, що забезпечує їм необхідну сипкість і дозованість.

Складання сумішей здійснюють з урахуванням наявності тих чи інших видів відходів, потреби у відновлених брикетах і завантаження установки. В разі зростання потреби в металобрухті та нестачі власних залізовмісних відходів вони можуть бути замінені дрібним концен-

тратом, який зберігають у групі інших матеріалів як резерв підшихтовки.

Дозування і змішування основних компонентів за даним способом здійснюють на звичайному обладнанні, однак дозування повинно бути точним, а змішування – якісним, тобто забезпечувати високу однорідність суміші, регульовану тривалістю змішування.

Необхідність спільного додрібнення (стиранням), здавалося, і так вже дрібних компонентів (шлам, пил, концентрат, антрацитовий штиб) шихти, пояснюється тим, що в них є великі включення, особливо в антрацитовому штибі (табл.), які внаслідок швидкоплинності процесу металізації не встигають прореагувати, що призводить не тільки до недобору ступеня металізації, а й до збільшення тривалості відновлення (див. табл.).

Таблиця

Гранулометричний склад сировини та матеріалів, %

Назва сировини	Класи (фракції), мм						Середній розмір частинок, мм
	> 8,0	8,0-3,0	3,0-1,6	1,6-0,4	0,4-0,05	< 0,05	
1. Пил сталеплавильний	-	-	-	5,6	13,9	80,5	0,1074
2. Те ж, додрібнений	-	-	-	0,5	8,8	90,7	0,0475
3. Концентрат залізорудний	-	-	-	0,2	60,7	39,1	0,1484
4. Те ж, додрібнений	-	-	-	-	12,3	87,7	0,0496
5. Антрацитовий штиб	-	1,9	26,8	32,8	32,4	6,1	1,1233
6. Те ж, додрібнений	-	-	-	0,5	11,3	88,2	0,0525
7. Залізовуглецевий брикет (для умов [6])							0,363
8. Залізовуглецевий брикет (розроблюваний варіант)							0,048

Із табл. випливає, що перед введенням сполучного частинки треба подрібнювати до середнього розміру 0,048 мм, який забезпечує зниження циклу відновлення до 0,25 год. Якщо додрібнювання з тієї чи іншої причини неможливо, рекомендується використовувати порошковий відновник – лігнін, який при звичайних умовах забезпечує ступінь металізації 92,9-98,4% [11].

Змішування зі сполучним та іншими компонентами, наприклад, з додатковими матеріалами, що поліпшують ті чи інші властивості брикетів, або активаторами потрібних реакцій, здійснюють у звичайному порядку. Як сполучне краще використовувати бішофіт $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ у кількості 9-11%. Разом з тим його використання має суттєві особливості.

Так, в брикеті бішофіт служить в якості сполучного та магнезого флюсу. Його характеристики міцності високі та не поступаються рідкому склу. Істотним недоліком бішофіту є його активне поглинання води, в результаті чого брикети після тривалого вилежування втрачають міцність. Але якщо їх протягом 1 доби після сушіння подавати у відновну піч або зберігати без доступу повітря, негативних явищ не настає.

Попереднє ущільнення в бігунах або в рифлених вальцях додрібнює великі частинки, які збереглися, підвищує щільність шихти і видавлює затиснене між частинками повітря, що приводить до розшарування брикетів після зняття тиску пресування. Як наслідок, створення тіснішого контакту між частинками забезпечує їм більш високу реакційну здатність. У цілому це покращує процес брикетування і надає брикетам більш високу щільність і міцність [12, с. 241].

Витримка шихти зі сполучним бішофітом перед брикетуванням є важливим фактором підвищення міцності брикетів та їх відновлюваності тому що, припустимо, він може бути активатором реакцій, які сприяють збільшенню кількості рідких фаз, що беруть участь у процесах дифузії атомів окислювача і відновника. Оптимальна тривалість витримки шихти з бішофітом становить 0,5-1,5 год.

Брикетування суміші не викликає принципових ускладнень, якщо воно здійснюється з урахуванням особливостей, виявлених у роботі [12].

Сушку брикетів доцільно здійснювати в стрічковій печі газами і/або електричними нагрівачами при температурі 250-350°C протягом 0,5 год.

Відновлення залізовуглецевих брикетів у індукційній печі до металу (металізація) протікає досить швидко і має багато особливостей типу «ноу-хау», які потребують детального опрацювання і патентного захисту. Зокрема, вихрові магнітні та електричні потоки, що виникають в індукційній печі, сприяють прискоренню ходу реакцій відновлення і діють подібно [12, с. 223-224]. Один з варіантів процесу відновлення в індукційній печі представлено в [13]. Як варіант, альтернативою залізовуглецевим брикетам можуть виступати залізовуглецеві окатиші, спосіб отримання яких також патентується.

Важливим фактором ефективності даного способу є температура відновлення. Вона знаходиться в складній залежності від багатьох техніко-економічних показників процесу. Зокрема, чим вище температура, тим менша тривалість відновлення. Однак така інтенсифікація процесу викликає перевитрату енергоносіїв і знос футеровки відновного агрегату. В цілому, помірною температурою відновлення економічніша. Низкою заходів її вдається знизити до 1100-1200°C при одночасному скороченні тривалості металізації.

Комплекс заходів, які проводяться за даним способом, дозволяє підвищити ступінь відновлення заліза з 90%, що досягається за способами [6, 7], до 99,6% і скоротити повний цикл відновлення в 4-8 разів, тобто з 1-2 до 0,25 год. [9]. Також це дозволить поліпшити екологічну обстановку і знизити загальні втрати металу на 3-5%.

Спосіб відновлення залізовуглецевих брикетів (рис. 1) здійснюється в установці [10], представлений на рис. 2.

Установка складається з вузлів і включає забезпечений навісом майданчик 1, на якому розташований склад для сировини і матеріалів: *a* – сталеплавильний пил і шлам; *b* – окалина первинна та вторинна; *c* – флюс; *d* – антрацитовий штиб або його замітники; *e* – резерв місця для інших матеріалів, зокрема концентрату; *f* – сміття для сполучного.

У вузлі дозування компонентів шихти встановлено в технологічній послідовності бункери 2 для компонентів шихти (*v* – повернення, тобто відсіву дрібняку, що створюється на різних етапах процесу обробки сировини; *a* – сталеплавильного пилу і/або шламу; *b* – окалини; *c* – флюсу; *d* – антрацитового штибу або його заміників; *e* – резервний бункер для інших матеріалів, зокрема концентрату та ін.) з улаштованими під ними дозаторами 3 і збірний конвеєр 4, що має реверс.

Вузол підготовки компонентів шихти включає дезінтегратор 5, бігуни сухого подрібнення 6 або рифлені вальці (на рис. 2 не показано), двовальний лопатевий змішувач 7 і бак для сполучного 8, забезпечений мішалкою (на рис. 2 не показано) і дозатором 9.

Вузол брикетування включає накопичувальний бункер брикетованої шихти 10 зі встановленим на ньому вібратором 11, брикетний валковий прес 12 і решето 13.

Вузол сушки включає стрічкову електричну піч 14 для сушіння брикетів, яка може нагріватися і гарячими газами, решето 15 і закритий майданчик 16 для резервного запасу брикетів, який може розташовуватися на складі 1 для зберігання сировини і матеріалів.

Вузол відновлення включає піч 17 для відновлення брикетів, забезпечену засипним пристроєм 18, пристроєм видачі брикетів 19 зі склізом 20, решетом 21, контейнерами 22 для готової продукції та газоочисткою 23.

Зображені на рис. 2 тонкі суцільні лінії зі стрілками позначають основний напрямок руху оброблюваного матеріалу, відходів і газу, а пунктирні – можливе, резервне, прийняте залежно від властивостей сировини і обраного варіанту обробки. Рух матеріалів від агрегату до агрегату здійснюється пересипанням у разі їх вертикального розташування, конвеєрами – при горизонтальному, а в разі крутих кутів підйому – елеваторами (на рис. 2 не показано). Для забезпечення мобільності обладнання компонується в ланцюг автономних вузлів, що встановлюються на зварних рамах.

Установка розроблена з урахуванням використання обладнання, виробленого на підприємствах України, і не залежить від зарубіжних поставок комплектуючих або сполучних, що значно знижує вартість установки.

Зовнішній вигляд відновлених брикетів фракції 25-30 мм, які одержані на експериментальному пристрої, представлений на рис. 3.

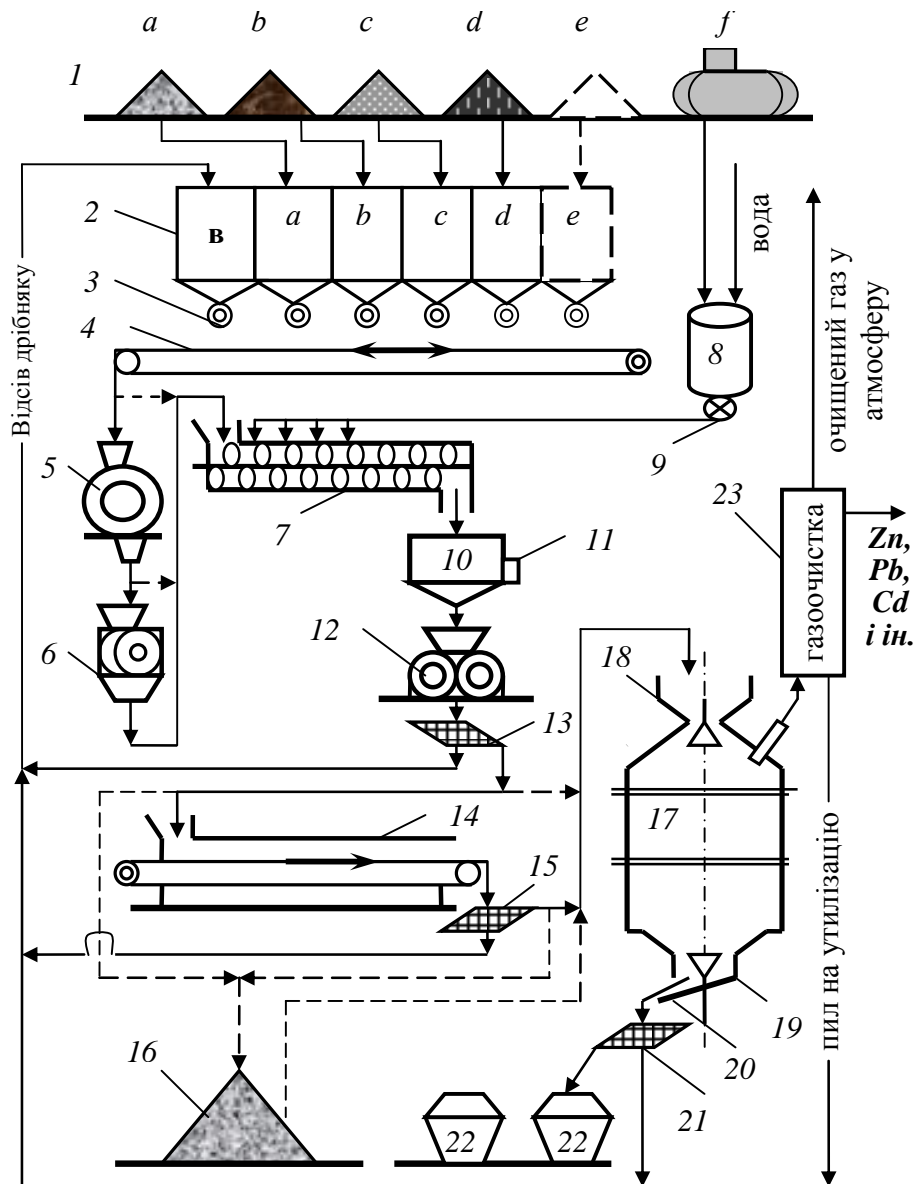


Рис. 2 – Схема установки для отримання відновлених брикетів



а

б

Рис. 3 – Зовнішній вигляд металізованих брикетів: а – брикети фракції 25-30 мм після охолодження, білі плями на поверхні верхнього ряду – метал, що з'явився після випадкового видалення монооксиду; б – аншліф брикету фракції 30 мм

Висновки

Розроблені спосіб і установка відрізняються нескладним принципом дії, компактністю, мобільністю і високою продуктивністю, тому можуть застосовуватись для переробки дрібних залізовмісних відходів безпосередньо на місцях їх утворення.

Проектування, будівництво та експлуатація таких установок, зокрема на умовах лізингу, які можна буде легко доставляти до місця роботи і також легко демонтувати, дозволить вирішити проблему утилізації відходів на переробних металургійних заводах.

Подальші дослідження слід вести у напрямку розширення можливостей установки з метою її переведення на обробку сирих залізвуглецевих окатишів і брикетів, використання явищ аутогезії замість дорогих сполучних, а також її роботи на газоподібних відновниках.

Перелік використаних джерел:

1. Ожогин В.В. Теория и технология использования отходов в аглодоменном производстве : монография : в 2 т. Т. 1. Теория и практика утилизации измельчённых металлургических отходов (современное состояние и перспективы развития) / В.В. Ожогин, В.Б. Семакова, В.П. Русских. – Мариуполь : ПГТУ, 2018. – 350 с.
2. Ожогин В.В. Теория и практика переработки сталеплавильных шламов и других видов металлургических отходов : монография : в 2 т. Т. 2. Теория и практика утилизации измельчённых металлургических отходов (современное состояние и перспективы развития) / В.В. Ожогин, Л.И. Тарасюк, И.А. Ковалевский. – Мариуполь : ПГТУ, 2019. – 384 с.
3. Cowx P.M. Refusing of a waste of steel-smelting production in the plasma furnace of firm «Tetronics» / P.M. Cowx, C.P. Heanley // Extr. Met. 85. Pap. Symp. (9-12 September 1985; London). – London, 1985. – Pp. 593-606.
4. Hasegawa Shinij. Development of a smelting reduction process for recycling steelmaking dust / Hasegawa Shinij, Kokubu Haruo, Hara Yoshiaki // Kawasaki Steel Techn. Report. – 1998. – № 38. – Pp. 32-37.
5. Возможности использования процесса Ромелт при модернизации завода полного металлургического цикла / В.А. Роменец [и др.] // Сталь. – 1995. – № 11. – С. 64-67.
6. Грант Р.Т. Прямое восстановление металлургических пылей и железной руды по способу «Инметко» / Р.Т. Грант, Д.К. Паргетер, Д.А. Мак-Доугелл // Чёрные металлы. – 1983. – № 9. – С. 3-5.
7. Пат. 89602 Україна, МПК С 21 В 13/02. Спосіб одержання губчастого заліза в шахтній печі / О.А. Томаш, О.В. Жерліцина, В.В. Ожогін, С.Г. Чернова. – № а200904413; заявл. 05.05.2009; опубл. 10.02.2010, Бюл. №3. – 5 с.
8. Коробейников Ю.Ю. Анализ безкоксовых методов получения железа / Ю.Ю. Коробейников, В.И. Шатоха // Университетская наука-2009 : тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. / ПГТУ. – Мариуполь, 2009. – Т. 1. – С. 43-44.
9. Ожогин В.В. Микротехнологии в подготовке металлургического сырья / В.В. Ожогин, И.А. Ковалевский, Л.И. Тарасюк // Вісник Приазовського державного технічного університету : Зб. наук. пр. / ДНВЗ «ПДТУ». – Мариуполь, 2018. – Вип. 36. – С. 15-21. – (Серія : Технічні науки).
10. Пат. 132369 Україна, МПК С 21 В 13/02, С 22 В 5/10. Комплекс для прямого відновлення заліза / В.В. Ожогін, Л.І. Тарасюк, І.А. Ковалевський, В.В. Суглобов, О.І. Алексеєнко. – № u201809230; заявл. 10.09.2018; опубл. 25.02.2019, Бюл. № 4.
11. Пат. 80234 Україна, МПК С 22 В 1/242. Залізовмісний брикет для металургійного виробництва / В.В. Ожогін, І.А. Ковалевський, О.В. Жерліцина, Г.М. Євдокимова, В.В. Ісаєва, М.О. Адарюкова, І.О. Романов, С.Г. Чернова. – № а200610274; заявл. 26.09.2006; опубл. 27.08.2007, Бюл. № 13. – 3 с.
12. Ожогин В.В. Основы теории и технологии брикетирования измельчённого металлургического сырья : монография / В.В. Ожогин. – Мариуполь : ПГТУ, 2010. – 442 с.
13. Пат. 131676 Україна, МПК С 22 В 1/22, F 27 В 14/00. Піч для отримання металізованих матеріалів / В.В. Ожогін, Л.І. Тарасюк, І.А. Ковалевський, В.В. Суглобов, В.Б. Семакова, В.І. Бондар. – № u201808118; заявл. 23.07.2018; опубл. 25.01.2019, Бюл. № 2.

References:

1. Ozhogin V.V., Semakova V.B., Russky V.P. *Teoriia i praktika utilizatsii izmel'chennykh metallurgicheskikh otkhodov (sovremennoe sostoianie i perspektivy razvitiia). Tom 1: Teoriia i tekhnologiia ispol'zovaniia otkhodov v aglodomennom proizvodstve* [Theories and practice of recycling of the crushed metallurgical waste (state-of-the-art and development perspectives). Vol. 1 : Theory and technique of use of a waste in aggro-blast-furnace production]. Mariupol, PSTU Publ., 2018. 350 p. (Rus.)
2. Ozhogin V.V., Tarasyuk L.I., Kovalevsky I.A. *Teoriia i praktika utilizatsii izmel'chennykh metallurgicheskikh otkhodov (sovremennoe sostoianie i perspektivy razvitiia). Tom 1: Teoriia i praktika pererabotki staleplavil'nykh shlamov i drugikh vidov metallurgicheskikh otkhodov* [Theories and practice of recycling of the crushed metallurgical waste (state-of-the-art and development perspectives). Vol. 2: Theory and practice of processing of steel-smelting slams and other aspects of a metallurgical waste]. Mariupol, PSTU Publ., 2019. 384 p. (Rus.)
3. Cowx P.M., Heanley C.P. Refusing of a waste of steel-smelting production in the plasma furnace of firm «Tetronics». *Extr. Met. 85. Pap. Symp.*, London, 1985, pp. 593-606.
4. Nasegawa Shinij, Kokubu Naruo, Nara Yoshiaki. Development of a smelting reduction process for recycling steelmaking dust. *Kawasaki Steel Teshn. Report*, 1998, no. 38, pp. 32-37.
5. Romenets V.A., Usachyov A.B., Balasanov A.V., Churgel' V.O., Verein V.G., Panov E.M. *Vozmozhnosti ispol'zovaniia protsessa Romelt pri modernizatsii zavoda polnogo metallurgicheskogo tsikla* [Possibilities of use of process of Romelt at modernizing of a factory of a complete metallurgical cycle]. *Stal' – The Steel*, 1995, no. 11, pp. 64-67. (Rus.)
6. Grant R.T., Pargeter D.K., Mak-Dougell D.A. Priamoe vosstanovlenie metallurgicheskikh pylei i zheleznoi rudy po sposobu «Inmetko» [Direct restoration metallurgical dust and a campanile on a methods «Inmetko»]. *Chernye metally – Ferrous metals*, 1983, no. 9, pp. 3-5. (Rus.)
7. Tomash O.A., Zherlitsina O.V., Ozhogin V.V., Chernova S.G. *Sposib oderzhannia gubchastogo zaliza v shakhtnii pechi* [Method production strong iron in schachten blast furnace]. Patent UA, no. 89602, 2010. (Ukr.)
8. Korobejnikov Ju.Ju., Shatoha V.I. Analiz bezkoksovykh metodov polucheniiia zheleza. *Tezi dopovidney Mizhn. nauk.-techn. konf. «Universitetskaia nauka – 2009»* [Analysis coke less methods of deriving of iron. Proceedings of Int. Sci.-Pract. Conf. «University science-2009»]. Mariupol, 2009, vol. 1, pp. 43-44. (Rus.)
9. Ozhogin V.V., Kovalevsky I.A., Tarasyuk L.I. *Mikrotekhnologii v podgotovke metallurgicheskogo syr'ia* [Micro theology in opening-up of metallurgical raw materials]. *Visnik Priazovskogo Derzhavnogo Tekhnichnogo Universitetu. Seriya: Tekhnichni nauki – Reporter of the Priazovskyi State Technical University. Section: Technical sciences*, 2018, vol. 36, pp. 15-21. (Rus.)
10. Ozhogin V.V., Tarasyuk L.I., Kovalevsky I.A., Suglobov V.V., Alekseenko O.I. *Kompleks dlia priamogo vidnovlennia zaliza* [Complex for direct restoration iron]. Patent UA, no. 132369, 2019. (Ukr.)
11. Ozhogin V.V., Kovalevsky I.A., Zherlitsina O.V., Evdokimova G.M.; Isaeva V.V., Adariukova M.O., Romanov I.O., Chernova S.G. *Zalizovmishnii briket dlia metalurgiynogo virobnitstva* [Iron-carbon a briquette for metallurgical production]. Patent UA, no. 80234, 2007. (Ukr.)
12. Ozhogin V.V. *Osnovy teorii i tekhnologii briketirovaniia izmel'chennogo metallurgicheskogo syr'ia: monografiia* [Osnovy of the theory and techniques of crowding of the crushed metallurgical raw materials: monographic]. Mariupol, PSTU Publ., 2010. 442 p. (Rus.)
13. Ozhogin V.V., Tarasyuk L.I., Kovalevsky I.A., Suglobov V.V., Semakova V.B., Bondar V.I. *Pich dlia otrimannia metalizovanikh materialiv* [Blast-furnace for production metalizes materials]. Patent UA, no. 131676, 2019. (Ukr.)

Рецензент: В.О. Маслов

д-р техн. наук, проф., ДВНЗ «ПДТУ»

Стаття надійшла 24.07.2019