

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА МЕТАЛУРГІЇ ЧОРНИХ МЕТАЛІВ
І ЛИВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до випускної кваліфікаційної роботи**

**зі спеціальності 136 – Металургія
за освітньо-професійною програмою – Металургія чорних металів**

**Тема роботи: «Розробка технології брикетування залізовмісних
шламів металургійного виробництва»**

Виконав:

Здобувач вищої освіти
групи ЗМТ-21-1

_____ Дмитро ПОТАПЕНКО

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ Сергій САВЕЛЬЄВ

Нормоконтролер

_____ Сергій САВЕЛЬЄВ

Завідувач кафедри

_____ Сергій САВЕЛЬЄВ

Кривий Ріг
2025 р.

РЕФЕРАТ

до випускної кваліфікаційної роботи на тему:

**Розробка технології брикетування залізовмісних шламів
металургійного виробництва**

Пояснювальна записка: 50 с., 12 табл., 11 рис., 22 джерела

Об'єкт дослідження: технологія виробництва брикетів з залізовмісних шламів.

Предмет дослідження: технологія виробництва брикетів з залізовмісних шламів методом жорсткої вакуумної екструзії.

Мета роботи: пошук оптимального способу брикетування та дослідження характеристик міцності брикетів із залізовмісних шламів при їх тривалому зберіганні.

Методи дослідження: лабораторні дослідження, аналіз, синтез.

Результати роботи: на основі отриманих в ході досліджень даних виявлені закономірності міцності брикетів, отриманих методом жорсткої вакуумної екструзії від часу (тривалості) їх зберігання, проаналізовані характеристики міцності з точки зору подальшого їх використання в шихті доменної плавки.

**ТЕХНОГЕННІ ВІДХОДИ, БРИКЕТУВАННЯ, ВІБПРОПРЕС, ВАЛКОВИЙ
ПРЕС, ЖОРСТКА ВАКУУМНА ЕКСТРУЗІЯ**

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Окусування техногенних відходів шляхом брикетування	10
1.2 Основні матеріали брикетування в металургійному виробництві	10
1.2.1 Техногенні відходи виробництва агломерату та окатишів.....	11
1.2.2 Техногенні відходи доменного виробництва	12
1.2.3 Техногенні відходи сталеплавильного виробництва.....	13
1.2.4 Техногенні відходи прокатного виробництва	14
1.2.5 Сполучні речовини в процесі брикетування	15
1.2.5.1 Цементи.....	16
1.2.5.2 Вапно	17
1.3 Основні промислові брикетні технології в чорній металургії.....	19
1.3.1 Брикетування методом вібропресування	19
1.3.2 Брикетування з використанням валкових пресів	21
1.3.3 Брикетування методом жорсткої вакуумної екструзії.....	25
1.4 Висновки за Розділом 1 та постановка задач досліджень	27
РОЗДІЛ 2. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ	30
2.1 Методика проведення досліджень	30
2.1.1 Мета досліджень.....	31
2.1.2 Обладнання	31
2.1.3 Сировинні матеріали	31
2.1.4 Хід виконання досліджень	32
2.1.5 Обробка результатів експерименту	33
2.1.6 Результати та їх аналіз	34
2.1.7 Висновки	36
2.2 Технологічний процес окусування техногенної сировини методом жорсткої вакуумної екструзії.....	37

2.2.1 Підготовка шихтових матеріалів для брикетування методом жорсткої вакуумної екструзії.....	37
2.2.2 Технологія брикетування методом жорсткої вакуумної екструзії....	39
2.2.3 Транспортування та зберігання сирих брексів.....	43
2.3 Практичний досвід використання брексів в доменній плавці	44
ВИСНОВКИ.....	47

ВСТУП

В сучасному світі щорічно спостерігається тенденція до переходу до відповідального відношення до оточуючого середовища, як зі сторони окремих людей, так і зі сторони промислових підприємств. Разом з цим посилюються міжнародні екологічні нормативи до металургійного виробництва, що також впливає на Україну, яка входить в першу десятку світових виробників металургійної продукції.

Раціональне використання ресурсів є головним фактором екологічної стратегії на промислових підприємствах, реалізація якої полягає в переході від контролю за забрудненням до запобігання забрудненню, тобто переходу до більш чистого виробництва.

За оцінками авторів [1], кількість твердих техногенних відходів в Україні складає більше 1,0 млрд. т., які розташовуються в накопичувачах загальним об'ємом 25 млрд. т., при цьому, в деяких випадках, на складування відходів виробництва витрачається до 20% собівартості продукції.

Найбільший внесок в утворення техногенних відходів належить підприємствам гірничо – металургійної галузі, а саме 120 млн. т. на рік. та розподіляються наступним чином: гірничорудні підприємства – до 70%, металургійні – 25%, коксохімічні – 3%, феросплавні – 1,5%, інші – 0,5% [2].

Рівень утилізації відходів на підприємствах гірничо – металургійного комплексу України складає в середньому 40% від їх утворення, інша частина складається в накопичувачах, в той же час Європейський союз, США та Японія утилізують 60 – 80% техногенних відходів.

З метою покращення ситуації з утилізацією техногенних відходів на гірничо – металургійних підприємствах України треба впроваджувати технології, що зменшують матеріалоємність виробництва, а також процеси переробки техногенних відходів. При цьому процес переробки відходів має бути достатньо простим, компактним, легко вбудовуватися в технологічний цикл підприємства. Готовим варіантом для вирішення цієї проблеми може стати – процес брикетування відходів металургійного виробництва.

Брикетування є найбільш дешевим та компактным методом окусування сировини, тому є економічно доцільним окусовувати відходи виробництва саме цим методом. В зв'язку з компактністю брикетного устаткування, його можна розмістити безпосередньо на ділянках, де утворюється відходи виробництва, що є зручним та максимально доцільним.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Окусування техногенних відходів шляхом брикетування

Брикетування, як метод безвипального окусування залізорудної сировини, має значну перевагу перед випальними методами, такими як агломерація та виробництво окатишів. Перевага полягає у відсутності високотемпературної обробки і пов'язаних з цим викидами шкідливих речовин, а також значними енергетичними витратами. При цьому, основним фактором, що стримує глобальний розвиток брикетування в області чорної металургії, є невелика продуктивність брикетного устаткування.

1.2 Основні матеріали брикетування в металургійному виробництві

Дрібнодисперсні матеріали техногенного походження, які можуть бути використані в якості шихти для брикетування, утворюються на всіх етапах металургійного виробництва — від спікання агломераційної шихти до прокатного виробництва.

1.2.1 Техногенні відходи виробництва агломерату та окатишів

Дисперсні матеріали агломераційного виробництва та виробництва окатишів, що можуть бути використанні в процесі брикетування, утворюються при подрібненні, перевантаженні та транспортуванні шихтових матеріалів і готової продукції – це пил, шлами та відсів агломерату (окатишів). У кількісному вираженні утворення пилу від агломераційних машин становить близько 10 - 24 кг/т, випальних машин – 7 - 9 кг/т., разом з цим, на тракті з підготовки шихти утворюється від 7 до 16 кг/т залізовмісних відходів.

Шлами виробничого процесу складаються з часток агломерату (окатишів) та шихтових матеріалів. Хімічний склад шламів агломераційного виробництва представлений в таблиці 1.1 [3].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад агломераційних шламів

Хімічний склад, %								
Fe	FeO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	P	S	C
22-58	3-22	2-21	4-10	1,5-3	1-6	0,02-0,27	0,14-0,78	1,78-12,06

Більша половина агломераційних шламів має розмір +0,05 мм.

Відсів агломерату (фракція готового агломерату мінус 5 мм), що утворюється при подрібненні та грохоченні готового агломерату, а також завантажені в скіп доменної печі, має хімічний склад подібний готовому агломерату.

Відсів випалених окатишів утворюється на етапі транспортування, сортування та складування. Крупність відсіву окатишів має наступний вигляд: фракція плюс 6,3 мм – 8%, фракція +0,15 -6,3 мм – 60%, фракція мінус 0,15 мм – 32%. Вміст заліза загального у відсві окатишів складає в середньому 65%.

1.2.2 Техногенні відходи доменного виробництва

До залізовмісних матеріалів доменного виробництва, що використовуються в брикетуванні, відносяться: колошниковий пил, шлами вологої очистки газів, шлами та пил підбункерних приміщень.

Колошниковий пил утворюється при русі шихти в доменній печі та виноситься з доменними газами через колошник печі. Шлами доменного виробництва утворюються в результаті транспортування та перевантаження компонентів доменної шихти, а також в результаті гідравлічного прибирання систем очистки газів та підбункерних приміщень.

Загальна кількість колошникового пилу та шламів, що утворюється при виробництві однієї тони чавуну складає в середньому 64 кг. Вміст заліза коливається в межах 40 – 50% і залежить від властивостей компонентів шихти та їх витрат. Важливою особливістю колошникового пилу є наявність в його складі вуглецю (більше 30% по масі).

Шлами доменного виробництва мають в своєму складі залізо в межах 40 – 55%, а також небажані домішки у вигляді цинку та свинцю. Хімічний склад доменних шламів представлено в таблиці 1.2 [3].

Таблиця 1.2 – Хімічний склад доменних шламів

Хімічний склад, %								
Fe	FeO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	P	S	C
40-55	5-9	4-10	6-11	2-4	1-3	0,03-0,23	0,2-0,9	6-26

Гранулометричний склад шламів наближений до складу пилу агломераційних фабрик.

1.2.3 Техногенні відходи сталеплавильного виробництва

В процесі виплавки сталі в кисневих конверторах та електродугових печах утворюються дисперсні матеріали, що можуть бути використані в якості шихтових матеріалів для брикетування.

В конверторних газах міститься до 50 г/куб.м., а подекуди до 150 г/куб.м. пилу, основними компонентами якого є магнетит, вюстит. Хімічний склад шламів конверторного виробництва наведено в таблиці 1.3 [3].

Таблиця 1.3 – Хімічний склад конверторних шламів

Хімічний склад, %								
Fe	FeO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	P	S	C
41-67	5-67	3-20	1,4-2,9	0,11-0,36	0,15-1,48	0,04-0,18	0,04-0,32	0,7-4,32

Конверторний пил має вигляд порошку чорного кольору з частками сферичної форми розміром 0,08 мкм. В конверторних шламах, що утворюються при мокрій газоочисці, формуються шламові гранули на поверхні яких утворюється трикальцієвий силікат ($3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$) зерниста структура якого негативно впливає на міцне зчеплення гранул зі сполучними речовинами при брикетуванні і призводить до низької механічної міцності брикетів. Надання необхідної міцності брикету з конверторного шламу досягається шляхом збільшення витрат цементної сполучної речовини, що негативно впливає на економічні показники процесу.

Питомий вихід пилу електросталеплавильних печей складає 8-10 кг/т сталі і може досягати 20 кг/т сталі при продувці киснем. Пил являє собою пари металу, що утворюється в зоні дуг та конденсується в холодних частинах вентиляційного тракту, а також часточки шихти, що виносяться з ванни потоками газів. Хімічний склад електросталеплавильних шламів наведено в таблиці 1.4 [3].

Таблиця 1.4 – Хімічний склад електросталеплавильних шламів

Хімічний склад, %								
Fe	FeO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	P	S	C
30-55	-	1,5-17	2-12	0,3-10	5-27	0,02-0,25	0,2-0,5	0,5-3,0

Часточки пилу електросталеплавильних печей мають сферичну форму і розмір від 0,2 до 20 мкм [4]. Ці особливості структури пилу створюють труднощі при її брикетуванні методом вібропресування зі зв'язуючим цементом, так як маючи значну величину питомої поверхні частинок, яка призводить до зневоднення брикету і не дає можливості якісного твердіння цементного каменю, що впливає на міцності готового брикету. Але ця особливість пилу не є перешкодою для використання її в брикетуванні валковим пресом та методом жорсткої вакуумної екструзії.

1.2.4 Техногенні відходи прокатного виробництва

В процесі гарячої прокатки на поверхні металу утворюється окалина. Середній вихід окалини прокатного виробництва складає біля 2,0% від маси готового прокату. Частки окалини мають лускату форму розміром 0,2 мм і трьохшарову структуру [4]. Тонкий та пористий зовнішній шар (0,1 мм), щільний середній шар (0,5 мм) та нижній шар з крупними порами (0,5 мм). За хімічним складом окалина наближена до чистого магнетиту з вмістом заліза 65 - 72%.

Окалина здебільшого має забруднення мастилами через витікання мастила з систем змащування прокатних станів. Наявність мастила формує високу гідрофобність частинок на поверхні окалини, що знижує ефективність застосування цементу в якості сполучника при брикетуванні. Знемаслена окалина може використовуватися для виробництва промивних брикетів для

видалення коксового дріб'язку, що накопичився в горні доменної печі і ускладнює випуск рідких продуктів плавки.

Різноманіття побічних продуктів виробництва, що можуть бути використані в процесі брикетування не обмежується наведеними вище матеріалами, але описані матеріали мають широке застосування на практиці в якості компонентів для брикетуються в чорній металургії.

1.2.5 Сполучні речовини в процесі брикетування

Одним з найбільш вагомих матеріалів для брикетування є сполучна речовина. З практики промислового брикетування витікає, що найбільш розповсюдженими в чорній металургії є наступні сполучні речовини: цементи, гашене вапно та деякі різновиди органічних сполучних речовин (крохмаль, лігносульфонати, тощо).

В наш час процеси брикетування залізорудних концентратів та рудно – паливних шихт відбувається як зі сполучними речовинами так і без них. Без додавання сполучної речовини брикетуються руди та промислові відходи, що мають в своєму складі компоненти зі сполучними властивостями, або руди з дрібнодисперсним складом, що пресуються під великим тиском. На практиці, в брикетуванні застосовуються неорганічні сполучні речовини.

Сполучні речовини, що використовуються в брикетуванні руд, концентратів та відходів виробництва чорних металів мають задовольняти наступним вимогам:

- мати високу здібність до цементації;
- не виступати баластом;
- не бути дорогим та дефіцитним продуктом;
- не бути складним у застосуванні;

- забезпечувати достатню механічну міцність, водостійкість, термічну стійкість брикетів;
- відповідати санітарно – гігієнічним вимогам та нормам;
- не вносити шкідливих домішок, що можуть вплинути на якість готової продукції;
- не знижувати вміст заліза в брикетах;
- не знижувати відновлюваність руд і концентратів в брикетах;
- не збільшувати витрати флюсів при плавці брикетів.

1.2.5.1 Цементи

В якості сполучних речовин використовуються різні види цементів, наприклад, портландцемент, гідралічний, бокситовий, рудний, шлакопортландцемент та інші.

Портландцемент – це гідралічна сполучна речовина на основі силікатів кальцію (до 80%), який отриманий шляхом мілкового подрібнення клінкеру з невеликою кількістю гіпсу. Клінкер отримують в результаті випалу суміші, що складається з вапняку, глини та інших матеріалів схожого складу з достатньою активності. Хімічний склад клінкеру представлено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Хімічний склад клінкеру портландцементу

Хімічний склад, %						
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	P ₂ O ₅	SO ₃
63,0-66,0	21,0-24,0	4,0-8,0	2,0-4,0	0,5-5,0	0,1-0,3	0,3-1,0

Щільність портландцементу складає 3,2 г/куб.см. Збільшення вмісту CaO в складі портландцементу сприяє збільшенню швидкості цементації і кінцевої міцності при незначному зниженні водостійкості.

Шлакопортландцемент складається з подрібненого клінкеру портландцементу, шлаку та гіпсу. За своїми властивостями цей тип цементу споріднений з портландцементом, але має більш високу термостійкість, меншу щільність 2,8 г/куб.см і більш низьку вартість (дешевше на 15-20%).

Витрати шлакопортландцементу складають 3,5-6,0% при екструзійному брикетуванні та 10 - 12% при вібропресуванні, для якого цемент є єдиним можливим сполучником.

Звичайні цементи мають обмежене застосування для брикетування залізних руд (концентратів) та колошникового пилу через високий вміст кремнезему, час твердіння і низьку міцність при зберіганні на відкритому повітрі.

Серед відомих типів цементів найбільш перспективним для брикетування є глиноземний цемент [5], що складається з бокситів та вапняку, які мають високі сполучні властивості. В залежності від вмісту глинозему виділяють звичайний (до 55% Al_2O_3) та високоглиноземний (до 70% Al_2O_3), але він не отримав широкого розповсюдження через високу вартість.

Основними недоліками цементів, як сполучної речовини є відносно довгий період цементування і твердіння сирих брикетів, а також високий вміст кремнезему.

1.2.5.2 Вапно

Вапно є найбільш розповсюдженою сполучною речовиною в брикетуванні. Ключовою перевагою вапна є те, що воно не вносить порожніх домішок в склад шихти і є флюсом при плавці, а також має відносно невелику вартості.

Вапно – це продукт, що отримується шляхом випалу вапняку при температурі 900 - 1200 °C і протікає за реакцією $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$ - 42,5 ккал/кг.

Основною реакцією, що супроводжує процес брикетування є реакція: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$. Ця реакція протікає при зберіганні брикетів на відкритому повітрі або спеціальній обробці газами.

Використання в якості сполучної речовини вапна дозволяє брикетувати залізорудні матеріали з підвищеною вологістю, так як вапно вбирає частину вологи. При цьому виникають ризики того, що в склад шихти можуть потрапити частки невивпаленого вапна або перевивпаленого, що послаблює структуру брикету і відчутно впливає на механічну міцність. Отже, необхідною умовою отримання високоміцних брикетів є повне завершення процесу гасіння вапна до початку його використання в брикетуванні.

Зміцнення брикетів з використанням вапна протікає за схемою гідратаційного твердіння. В процесі гідратації окису кальцію утворюється колоїдна структура $\text{Ca}(\text{OH})_2$, що поступово коагулює в гідрогель, який має склеюючу здібність. В момент випаровування вологи гідрогель ущільнюється і внаслідок термодинамічної нестабільності колоїдно – дисперсних систем самовільно кристалізується. Цей процес лежить в основі зміцнення брикетів з використанням вапна.

Витрати вапна при валковому способі брикетування складають 10% при тиску пресування 35 - 40 МПа і знижується до 5% при збільшенні тиску пресування до 85 - 100 МПа. Оптимальним часом термообробки брикетів при температурі 250°C є 2 - 3 години, при температурі 500 °C - лише 30 хвилин. Механічна міцність брикетів підвищується при використанні в брикетуванні матеріалів з великим вмістом кремнезему і дрібного вапна. При екструзійному брикетуванні витрати вапна складають 5-6%.

В практиці брикетування також знайшли місце для застосування різні органічні матеріали, а саме кам'яновугільний пек, нафтовий бітум, крохмали, а також полімерні зв'язуючі та розчини на їх основі.

1.3 Основні промислові брикетні технології в чорній металургії

1.3.1 Брикетування методом вібропресування

В основі технології брикетування шляхом вібропресування є поняття тиксотропія. Тиксотропія - це зниження в'язкості при механічному впливі та згущення в стані спокою. Ефект тиксотропії можна спостерігати при вібраційному ущільненні бетонів [6]. Під впливом вібрацій відбувається перехід цементного гелю в золь, що покращує зближення твердих частинок наповнювача під впливом власного тяжіння. Ті ж самі процеси відбуваються при вібраційному брикетуванні з використанням в якості сполучної речовини – цементу, в результаті чого повітря витискається при зближенні частинок. В зв'язку з цим, майже всі вібропресувальні брикетні фабрики в якості сполучної речовини використовують цемент. Саме цьому, одним із важливіших параметрів брикетування вібропроцесом є волога шихти. Її кількості має бути достатньо для утворення цементного гелю та подальшого гідраційного твердіння цементу.

Вологість шихти в процесі брикетування методом вібропресування коливається в межах від 8 до 10%. Цикл вібраційного ущільнення триває 3 – 40 сек., але цього не вистачає для зчеплення цементу. Саме тому сирі брикети мають низьку механічну міцність, яка не дозволяє їх подальше транспортування та штабелювання. З огляду на це, на всіх вібропресувальних брикетних фабриках передбачаються механізми транспортування та зберігання готових брикетів на піддонах.

Значною перевагою цього методу брикетування є можливість окускування шихтових матеріалів крупністю до 10 мм, що не можливо при валковому брикетуванні, де крупність матеріалу не має перевищувати 5 мм. Іншою перевагою є рівномірність розподілу основних компонентів брикетної шихти та

зерен цементу. Інакше кажучи, вібропресування дозволяє формувати достатньо щільну структуру брикету з незначною пористістю.

На якість готових брикетів, окрім фізико – механічних властивостей, вологості і гранулометричного складу компонентів шихти і сполучної речовини великий вплив мають параметри вібрації (тривалість, амплітуда та частота). Низька інтенсивність вібрацій може унеможлилювати появу тиксотропії, велика – призвести до стратифікації брикетної маси і погіршенню щільності готового брикету.

Згідно з результатами роботи [7], процес віброуцільнення може бути поділений на два етапи: Перший – перекомпоновка крупних частинок суміші та створення її макроструктури, другий – формування тиксотропії цементного гелю та мікроструктури.

Одним із найбільших виробників обладнання для виробництва брикетів методом вібраційного пресування є компанія Masa Group [www.masa-group.com]. Загальний вигляд автоматичної лінії представлено на рисунку 1.1.

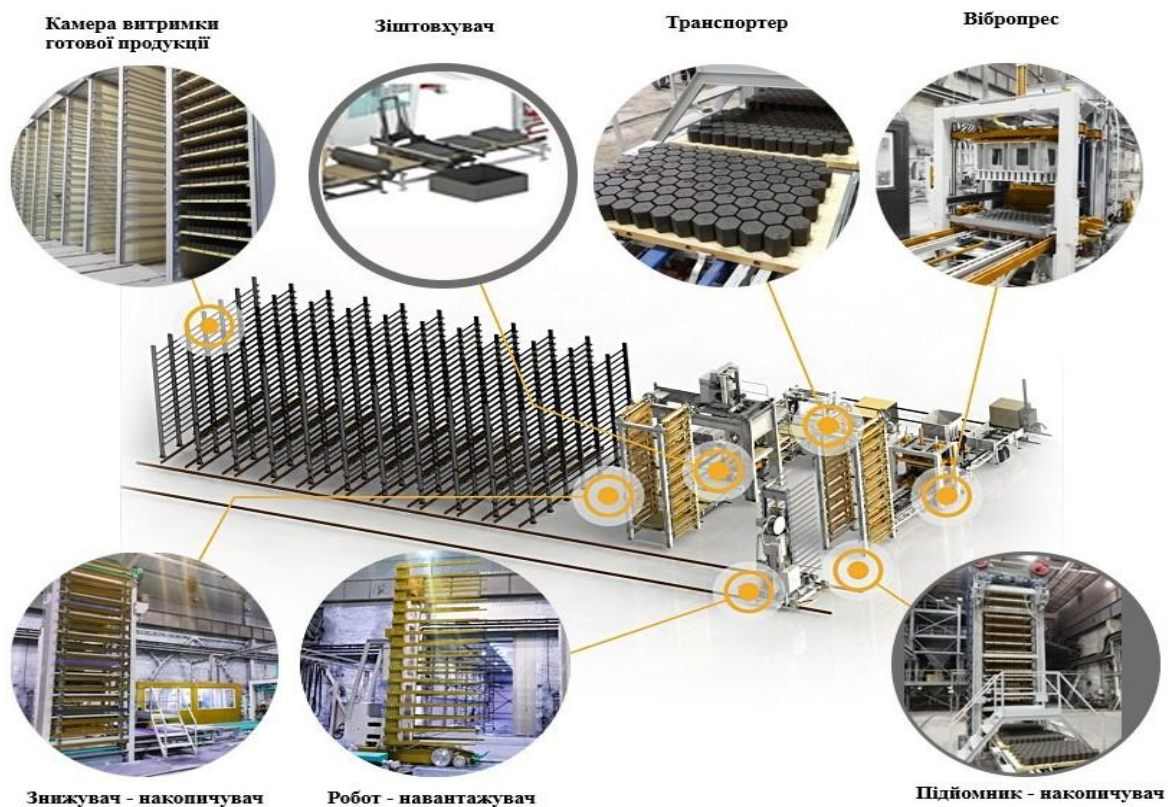


Рисунок 1.1 - Автоматична лінія брикетування компанії Masa Group

Компанія поставляє на ринок автоматичні лінії брикетування, які складаються з вібропресів та спеціального устаткування для транспортування піддонів з сирими брикетами в зону теплової обробки і вже готових брикетів до місця їх відвантаження споживачам.

1.3.2 Брикетування з використанням валкових пресів

В загальному вигляді валковий процес брикетування відбувається на устаткуванні, що представляє собою станіну з однією або двома парами валків зі сталевими бандажами на яких в шаховому порядку розміщені комірки у вигляді півформ брикетів. Принцип дії таких пресів полягає в тому, що брикетна суміш завантажується в проміжок між двома валками, що обертаються на зустріч один одному. При обертанні валків відбувається зближення комірок в які потрапляє шихта для подальшого стискання. Шихта обтискається валками з двох сторін для більш рівномірного розподілення в об'ємі комірки. Далі при обертанні валків комірки розходяться і брикет під власною вагою випадає з комірки. Для більш ефективного пресування на валкових пресах використовують дозатори – підпресовувачі для попереднього ущільнення шихти з метою збільшення тиску пресування на валках та підвищення продуктивності устаткування.

Процеси, які відбуваються з шихтою у валковому пресі, можуть бути описані методами загальної теорії пресування і описані трьома стадіями ущільнення. Перша стадія – переорієнтація часток в об'ємі без зміни їх форми та розмірів. Друга стадія – деформація м'яких і руйнування крихких частинок матеріалу. Третя стадія – пластичне змінення структури матеріалу і його ущільнення.

Міцність готових брикетів залежить від наступних факторів: гранулометричного та компонентного складу шихти, значення зусилля

пресування, вологості шихти, тривалості процесу пресування, форми і розміру комірок та коефіцієнту тертя.

Фактором, що знижує ефективність ущільнення брикетного матеріалу є наявність повітря, що запресовується при стисненні та вивільняється при знятті зовнішнього навантаження. Вивільнення повітря після зняття навантаження призводить до руйнуванням брикету. Кількість повітря, що може бути запресованим коливається в межах 30-70% від первинного. Ефективне видалення повітря може бути досягнуто шляхом збільшенням часу пресування шихти, що збільшує час виходу повітря з пір. Також витисненню повітря сприяє багатофракційність шихтових матеріалів, оскільки в цьому випадку простір між крупними часточками займають більш дрібні матеріали.

Як зазначалося раніше, при брикетуванні пухкої шихти застосовують попереднє підпресування, що дозволяє збільшити тиск основного пресу до 70 – 690 МПа [8]. В результаті впливу високого тиску структура брикету містить багато великих тріщин, які є наслідком пружного розширення після виходу готового брикету з комірки.

Однією з головних особливостей валкового брикетування є обмеження по вологості шихти - не більше 10%. Це обмеження призводить до необхідності включення в склад фабрик брикетування діляниць зневоднення та/або сушки. Вимоги до вологості шихти також призводить до обмежень у використанні сполучних речовин – цементів.

На міцність брикетів значний вплив здійснює тривалість процесу пресування. До прикладу, тривалість пресування для валків діаметром 1,1 м. при частоті обертання 8 - 11 об/хв складає лише 0,29-0,38 сек..

Витримка брикетів під тиском дозволяє не лише витіснити повітря з пір без утворення «повітряних карманів», але й зменшити значення пружної деформації, що призводить до розміцнення готових брикетів. Збільшення часу пресування здійснюється шляхом зменшення швидкості обертання валків. Так для залізрудних брикетів рекомендована швидкість обертання складає 6 -

8 об/хв [8]. Зміна швидкості обертання валків безпосередньо впливає на продуктивність брикетної установки.

Форма і розмір брикетів мають важливе значення для подальшого складування, транспортування та використання в металургійному переділі. На рисунку 1.2 зображені найбільш розповсюджені форми геометрії комірок бандажів валкових пресів.

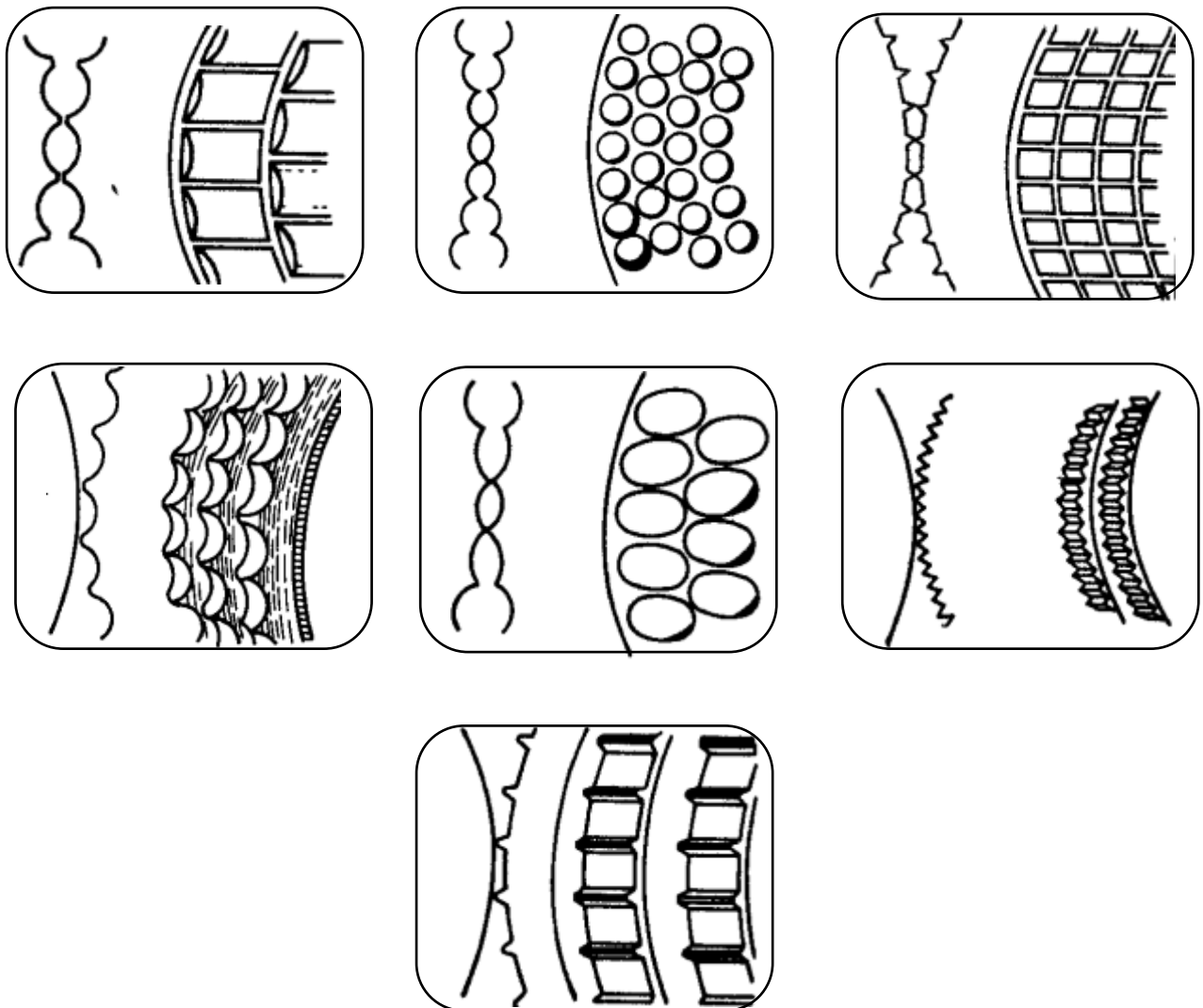


Рисунок 1.2 – Форми комірок бандажів валкового пресу.

Практичний досвід використання валкових пресів із стандартними формами комірок свідчить, що результатом зміщення комірок є асиметрія

сирих брикетів, а міцність зони контакту половинок брикету складає лише 10 – 20% міцності загальної маси брикету. Внаслідок неповного закриття комірок утворюється до 30% звороту при використанні валків зі стандартними формами.

Одним з основних виробників валкових пресів, що використовуються для брикетування природної та техногенної сировини в чорній металургії є компанія Koeppern [<https://www.koeppern-international.com/>], яка за період з 1950 року по теперішній час виготовила та реалізувала більше 150 валкових пресів для холодного брикетування та 140 пресів для виробництва гарячебрикетованого заліза. Загальний вигляд валкового пресу для брикетування зображено на рисунку 1.3 [9].

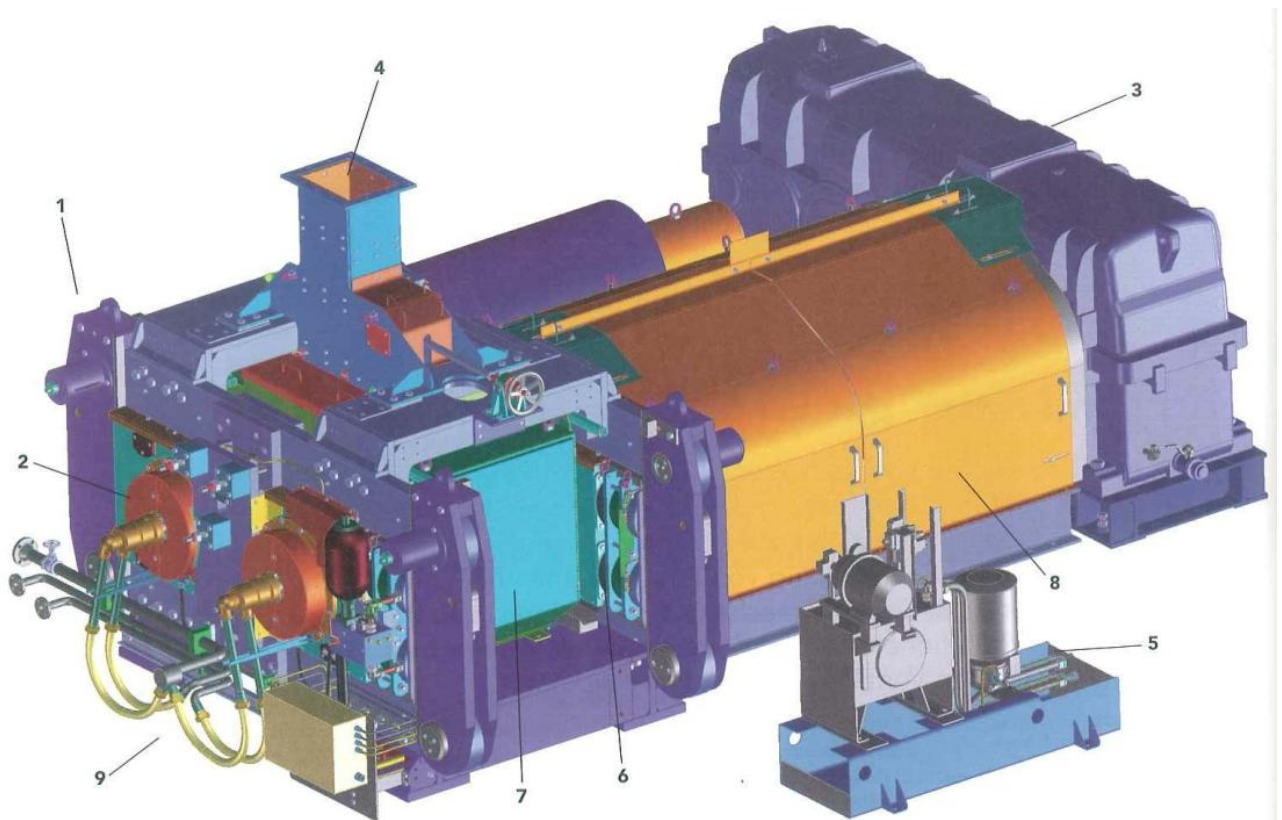


Рисунок 1.3 – Валковий прес для брикетування (загальний вигляд).

1 – рама пресу, 2 – прес-валки з підшипниками та корпусами підшипників, 3 – головний привід з редуктором, 4 – система завантаження матеріалу, 5 – система

консистентної змазки, 6 – гідравлічна система, 7 – корпус валкового пресу, 8 – захисний кожух, 9 – водяна система охолодження.

Загальний вигляд збірки валків для брикетування зображено на рисунку 1.4 [10].

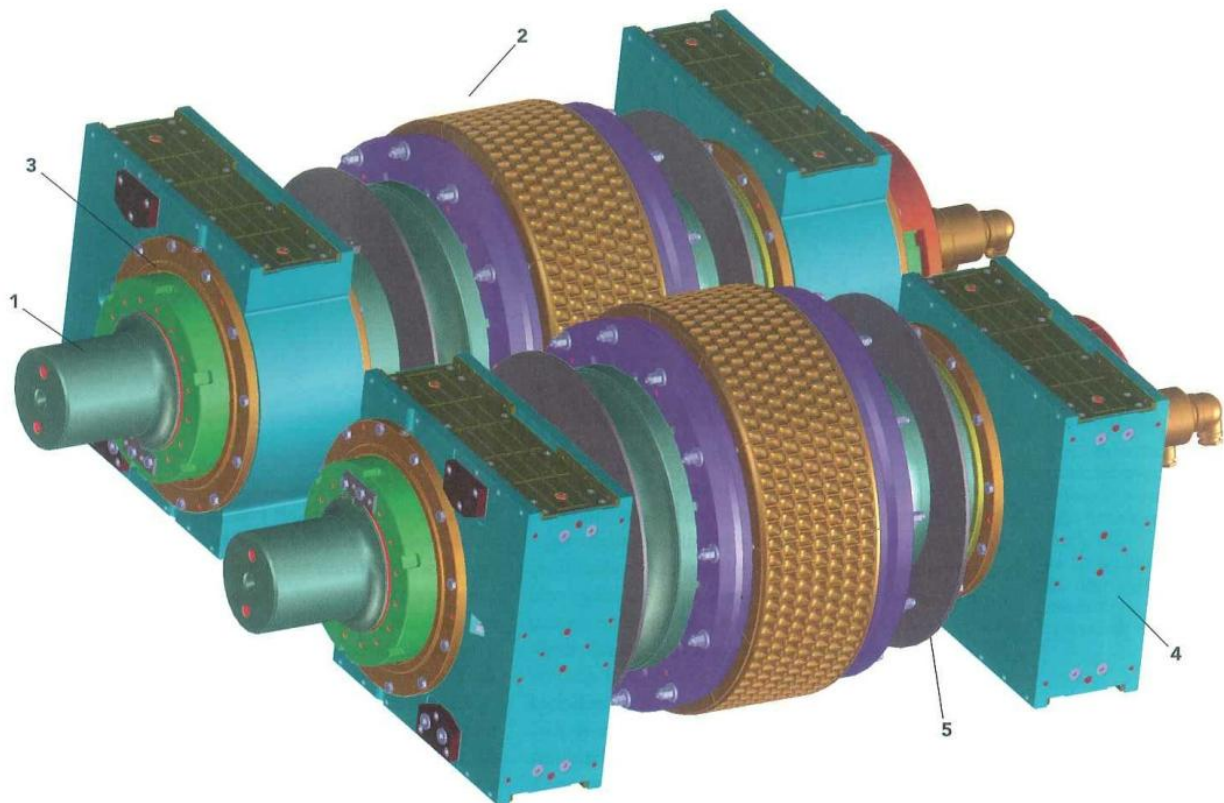


Рисунок 1.4 – Загальний вигляд збірки роликів:

1 – серцевина роликів, 2 – бандаж, 3 – система стабілізації валків, 4 – система утримання валків, 5 – ущільнення системи утримання валків.

1.3.3 Брикетування методом жорсткої вакуумної екструзії

Брикетування методом жорсткої вакуумної екструзії (далі в тексті - ЖВЕ) бере свій початок у промисловості з виробництва керамічної цегли. Ця

технологія використовується в більш ніж 60 країнах світу, включно з США, Великою Британією, Німеччиною, Південною Кореєю, ПАР та ін. [11,12].

За класифікацією, що прийнята у керамічній галузі, екструзія в залежності від тиску поділяється на три типи. Класифікація типів екструзії наведено в таблиці 1.6 [13].

Таблиця 1.6 – Класифікація типів екструзії в керамічній галузі

Тип екструзії	М'яка	Напівжорстка	Жорстка
Вологість, %	10-27	15-22	12-18
Тиск, МПа	0,4-1,2	1,5-2,2	2,5-4,5

В теперішній час, технологія жорсткої вакуумної екструзії знайшла своє застосування в багатьох галузях промисловості. Так, з 1889 року компанія J.C. Steele & Sons Inc. [<https://jcsteele.com>], впровадила та успішно використовує цю технологію в гірничо – металургійному комплексі [14].

Головним критерієм матеріалу, що може бути використаний в технології ЖВЕ, є можливість досягнення матеріалом стану пластичності, яка необхідна для продавлювання його через фільтр (пластина з отворами на кінці екструдера). Для переходу в стан пластичності, матеріал має відповідати належному гранулометричному складові та мати відповідну вологість. З огляду на цей фактор, для використання деяких матеріалів необхідна їх попереднє подрібнення.

На відміну від інших методів брикетування в ЖВЕ головну роль відіграє зсувне напруження.

З даних роботи [15] видно, що пористість брикетів при різних методах брикетування вища при комбінованому пресуванні (при умові однакового тиску). Так, при всебічному стисненні, значна частина енергії витрачається на пружне деформування, в той час, коли при зсувному навантаженні зближення частинок на відстань активації поверхневих сил відбувається більш

ефективніше. Інакше кажучи, в умовах всебічного стиснення, часточки матеріалу торкається лише з сусідніми часточками, а при зсуві – часточки шарів підпадають під стираючий вплив, що сприяє їх подрібненню, розкриттю нових поверхонь та, відповідно, росту числа контактів частинок шихти.

Основними особливостями жорсткої вакуумної екструзії є [16]:

1. Висока механічна міцність сирих брикетів, що досягається наявністю в екструдері вакуумної камери, яка дозволяє видалити більше 90% повітря з сирих брикетів;
2. Можливість виготовлення брикетів різних розмірів та форм;
3. Висока міцність готових брикетів, яка дозволяє транспортувати брикети з утворенням мінімальної кількості дріб'язку (звороту);
4. Можливість ефективно брикетувати матеріали з високою вологістю (до 20%), позбавляючись витрат на сушку компонентів шихти;
5. Низькі витрати енергії на брикетування при робочому тиску до 3,5 МПа.

1.4 Висновки за Розділом 1 та постановка задач досліджень

1. Брикетування залізовмісних пилоподібних відходів металургійного виробництва при відносно невеликих об'ємах утворення пилу є найбільш ефективний спосіб окускування, ніж виробництво окатишів або агломерація.
2. Валкові преси дозволяють брикетувати широкий клас техногенних матеріалів, але, разом з тим, відсутність механічного регулювання питомого тиску пресування на валках не дозволяє отримувати брикети заданої якості при зміні кількості подачі шихти, а також її щільності.
3. Брикетування шляхом вібропрасування здійснюється за рахунок вібрації з частотою 50 Гц, які руйнують зв'язки між часточками суміші, а в

поєднанні з використанням цементного сполучника, що утворює цементний гель, часточки суміші зближуються під впливом сили власного тяжіння тим самим сприяють ущільненню суміші та витисненню повітря.

4. Найбільш передовим методом брикетування в останній час вважається технологія брикетування за допомогою жорсткої вакуумної екструзії. Продуктивність екструдерів може перевищувати 100 тон брикетів на годину [17], що виводить цю технологію брикетування на промисловий рівень.

5. Зведена таблиця основних характеристик зазначених вище методів брикетування наведено в порівняльній таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Основні параметри технології брикетування відходів

	Од. вим.	Значення параметрів агрегатів		
		Вібростіл	Валковий прес	Екструдер
Продуктивність	т/год.	30	50	100
Строк служби	роки	1,0	1,0	1,5
Експлуатаційні витрати	\$/т	дані відсутні	1,5	1,0
Вміст цементу в брикетах	%	8-10	15-16	4-8
Вологість шихти	%	< 5	< 10	12-18
Кількість звороту	%	відсутній	30,0	відсутній
Теплова обробка сирих брикетів	°C	80 (10-12 год.)	відсутня	відсутня
Складування сирих брикетів в штабель		ні	так	так
Виробничі витрати:				
Електрична енергія	кВт*год/т	42,6	23,0	33,0
Природний газ	куб.м/т	47,0	0,0	0,0
Теплова енергія	Гкал/т	0,3	0,0	0,0
Стиснуте повітря	куб.м/т	90	0,0	0,0

Основними задачами подальшого дослідження виробництва брикетів з використанням залізовмісних шламів металургійного виробництва є:

1. Провести дослідження залежності міцності брикетів ЖВЕ від терміну їх зберігання на відкритому повітрі, а саме:
 - 1.1 Розробити методику досліджень;
 - 1.2 Виконати дослідження, згідно з методикою;
 - 1.3 Проаналізувати отриманні дані;
 - 1.4 Оформити результати досліджень.
2. На основі отриманих літературних даних описати технологію брикетування шляхом жорсткої вакуумної екструзії.
3. Проаналізувати показники роботи доменної печі на шихті що складається з залізної руди та шихті з брикетів, отриманих методом жорсткої вакуумної екструзії.

РОЗДІЛ 2. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

2.1 Методика проведення досліджень

Окускування дрібнодисперсних природних та техногенних матеріалів, що утворюються на підприємствах чорної металургії шляхом брикетування, впевнено набирає обертів і масштабів. Одним із найперспективніших способів брикетування є жорстка вакуумна екструзія, яка забезпечує високу продуктивність ліній брикетування і якість готової продукції, що відповідає вимогам металургійних переділів (доменного, сталеплавильного та феросплавних виробництв) [18-19].

Вимогами до якості окускованої сировини для доменного виробництва є наступні [20]:

- фізичні властивості (висока механічна міцність, низький ступінь подрібнення та стирання, висока пористість);
- фізико – хімічні властивості (висока ступінь відновлення, висока температура початку розм'якшення та малий інтервал розм'якшення);
- хімічні властивості (максимальний вміст заліза, висока основність, стабільність хімічного складу).

В даній частині роботи проаналізуємо зміну фізичних властивостей брикетів отриманих методом жорсткої вакуумної екструзії (далі в тексті – брекси) від тривалості їх зберігання, а також оцінимо можливість використання брексів в доменній плавці.

2.1.1 Мета досліджень

Метою дослідної роботи є вивчення характеру зміни міцності брикетів отриманих методом жорсткої вакуумної екструзії з використанням техногенних матеріалів металургійного виробництва при їх зберіганні в нормальних умовах.

2.1.2 Обладнання

1. Комп'ютеризований вакуумний лабораторний екструдер PL 8.
2. Лабораторна установка з визначення механічної міцності брикетів.
3. Змішувач лабораторний для сумішей ЗСЛ-1.
4. Ваги електронні лабораторні RADWAG серії WLC10/C/1.
5. Аналізатор вологості A&D MX-50.
6. Набір лотків із квадратною основою з нержавіючої сталі.
7. Лопатки, совок, пензлики.

2.1.3 Сировинні матеріали

В ході лабораторних досліджень використовувалися наступні сировинні матеріали: конверторний шлам, колошниковий пил, залізорудний концентрат, в якості сполучної добавки - портландцемент та бентоніт.

2.1.4 Хід виконання досліджень

Склад шихти для виготовлення лабораторних брексів представлено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Склад шихти для виготовлення лабораторних брексів

Найменування компоненту шихти	Вміст, %
Конверторний шлам	47,2
Колошниковий пил	28,3
Залізорудний концентрат	18,9
Портландцемент	4,7
Бентоніт	0,9
Загалом:	100,0

Підготовлені (сухі) шихтові матеріали для виготовлення дослідних брексів змішувалися у лабораторному змішувачі ЗСЛ-1 впродовж 8 хв. після чого, за допомогою форсунки над перемішаною сумішшю впродовж хвилини розпилювалася вода для отримання оптимальної вологості у 12%.

Перемішана та зволожена шихта завантажувалася в комп'ютеризований вакуумний лабораторних екструдер PL 8, основні характеристика якого наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Параметри вакуумного лабораторного екструдера PL 8

Параметр	Од. вим.	Значення
Продуктивність	т/год.	0,3 – 0,4
Встановлена потужність	кВт.	4,0
Діаметр шнеку пресу	мм.	80,0
Робочій тиск	бар.	40,0

Лабораторний екструдер виготовлений на основі шнекового пресу і має наступний вигляд:

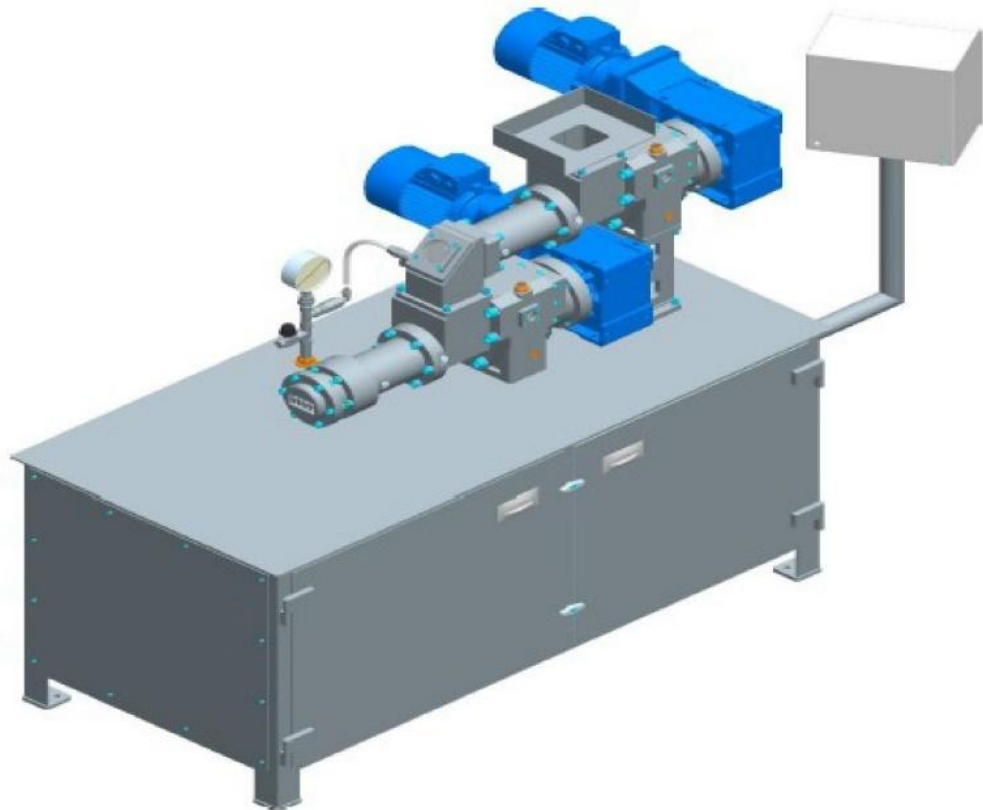


Рисунок 2.1 - Комп'ютеризований вакуумний лабораторний екструдер PL 8

Отримані в лабораторному екструдері сирі брекси, підлягали формуванню (обрізання) з метою отримання зразків діаметром 25 мм та довжиною 30 мм.

Кількість зразків складала 30 шт. з урахуванням щодобових випробувань впродовж тривалості зберігання в 9 діб.

2.1.5 Обробка результатів експерименту

З отриманої партії щодобово відбиралися брекси в кількості 3 шт. випробувалися на міцність в лабораторній установці з визначення механічної

міцності. Установка для визначення міцності складається з ручного пресу, тензодатчику та реєструючого вторинного приладу, що демонструє значення руйнування.

Результат випробувань визначався як середньоарифметичне значення міцності трьох послідовно виконаних випробувань впродовж однієї доби.

2.1.6 Результати та їх аналіз

Отримані в ході випробувань результати зміни показників міцності брексів, що тривали 9 діб наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати показників міцності брексів в ході їх зберігання впродовж 9 діб

Час зберігання, доба	Міцність на стискання, кг/кв.см.
1	24
2	45
3	63
4	52
5	56
6	57
7	59
8	75
9	80

На основі наведених у таблиці 2.3 даних, було побудовано графік зміни міцності на стискання від часу зберігання брексів в нормальних умовах. Графік зміни міцності брексів від тривалості їх зберігання наведено на рисунку 2.2.

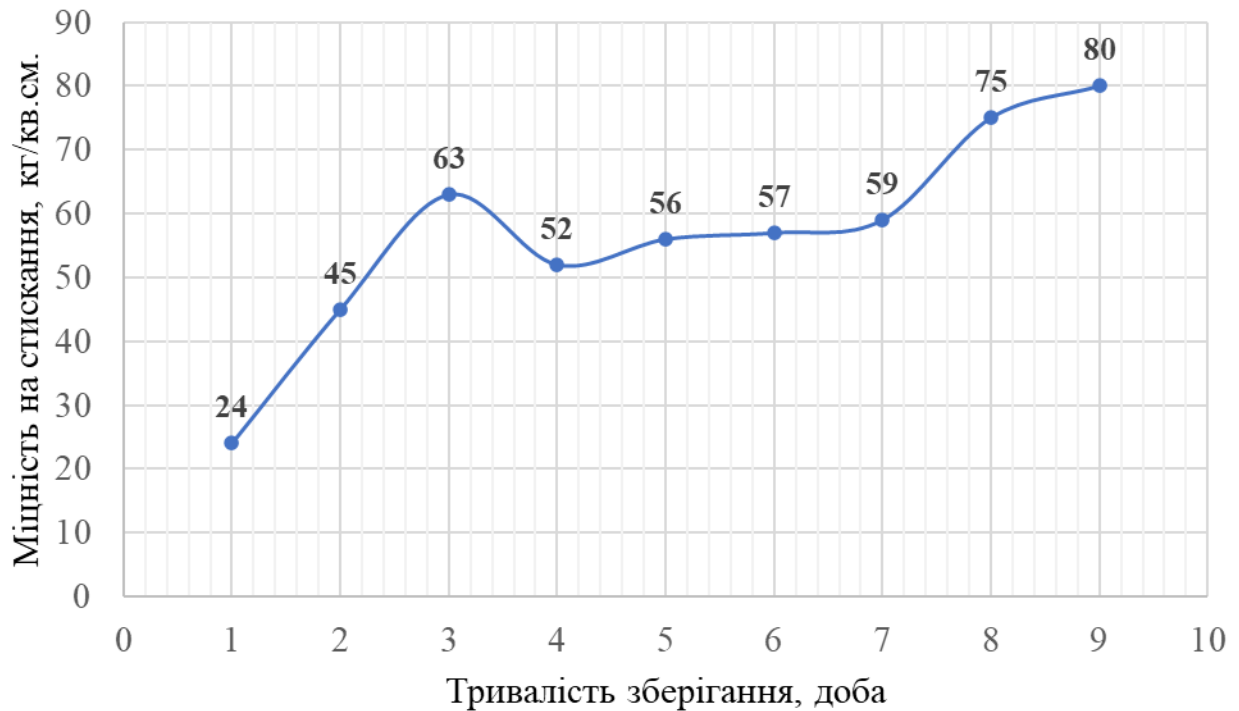


Рисунок 2.2 – Зміна міцності на стискання брексів в залежності від тривалості їх зберігання.

З отриманого графіку видно, що на третю добу відбувається проміжний ріст міцності (зміцнення) брексу, який в подальшому змінюється розміцненням, але в ході подальшого зберігання міцність брексів незміно зростає. Так, на третю добу утворюється проміжний максимум, міцність брексів на стискання складає 78,8% від міцності брексів, що зберігалися впродовж 9 діб.

Зразки брексів, при випробуваннях на міцність, зберігали свою цілісність аж до припинення навантаження та демонстрували пластичний характер руйнування (обидні половини брекса трималися до купи), при цьому навантаження стисканням призводило до виділення вологи в нижній частині брекса, чого не можна сказати про зразки, що тестувалися на 7 - 9 добу досліджень. Зразки брексів, що досліджувалися після 7 доби характеризувалися майже відсутнім ефектом пластичного характеру руйнування. Ефект пластичного руйнування проявляється завдяки наявності в складі брексів портландцементу та бентоніту і є результатом формування коагуляційних

структур в системі «цемент – бентоніт – вода». Рушійною силою створення таких структур є притягання негативно заряджених частинок бентоніту до позитивно заряджених частинок портландцементу. Але з часом ця структура руйнується в результаті коагулюючої дії іонів кальцію і відбувається зміна структури твердіючого цементного каменю. Тож зниження міцності, що спостерігається на четверту добу після напівпіку, в основному пов'язане зі зміною описаних структур. Подальше збільшення міцності відбувається завдяки гідратації цементу.

2.1.7 Висновки

В ході проведення лабораторного дослідження було зроблено наступні висновки:

1. Брекси отримані в ході лабораторних досліджень за своїми показниками міцності відповідають вимогам доменного виробництва.
2. Використання бентоніту в шихті при виготовленні брексів в кількості 0,9% маси брекса покращує експлуатаційні властивості продукту, що в першу чергу відображається на збільшенні міцності при стисканні.
3. Наявність бентоніту в складі шихти, як сполучної речовини робить сирі брекси більш пластичними, що покращує їх транспортування, переміщення та складування.
4. Використання цементно – бентонітової суміші в якості компонентів шихти дозволяє використовувати готові брекси в подальшому переділі вже на третю добу при їх сушці в природних умовах.

2.2 Технологічний процес окускування техногенної сировини методом жорсткої вакуумної екструзії

2.2.1 Підготовка шихтових матеріалів для брикетування методом жорсткої вакуумної екструзії

Як зазначалося вище в розділі 1.3.3 – основним критерієм придатності матеріалу для екструзійного формування є можливість досягнення ним стану пластичності, який напряду залежить від гранулометричного складу матеріалу.

Загальний характер впливу гранулометричного складу шихтових матеріалів на якість готових брексів може бути продемонстрований на прикладі підготовки твердого палива до брикетування методом жорсткої вакуумної екструзії. Споглядаючи на те, що часточки твердого палива (коксового дріб'язку) завжди крупніші, ніж це потребується для процесу екструзії, виникає необхідність їх додаткового подрібнення.

З метою виявлення найбільш ефективнішого способу подрібнення було проведено порівняльний аналіз трьох варіантів: в молотковому млині, в валковій дробарці та подвійним продавлюванням через пластину, що розтирає в протиральному екструдері.

Найкращій ступінь подрібнення коксового дріб'язку відбувається при подвійному продавлюванні через пластину в протиральному екструдері. Ефект глибокого подрібнення при використанні цього методу досягається за рахунок наявності високих значень сил зрушення, які характерні для жорсткої екструзії. Використання молоткового млина для подрібнення коксового дріб'язку виявилось малоефективним і як результат гранулометричний склад коксового дріб'язку після подрібнення значно не відрізнявся від вихідної сировини.

Разом з тим, було освітлено вплив методу подрібнення коксового дріб'язку і на показники міцності готових брексів. Випробування проводилося з

трьома партіями брексів, зразки яких нумерувалися відповідно до способу подрібнення твердого палива: №1 – коксовий дріб'язок подрібнювався у валковій дробарці, №2 – коксовий дріб'язок двічі продавлювався через пластину в протиральному екструдері та №3 – коксовий дріб'язок подрібнювався молотковим млином.

Фізичні параметри готових брексів, а також параметри процесу екструзії наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Фізичні параметри готових брексів та технологічні параметри екструзії залежно від методу подрібнення коксового дріб'язку

	Од. вим.	Зразок брекса		
		Брекс №1	Брекс №2	Брекс №3
Вологість	%	16,50	16,70	16,60
Температура	°C	30,56	33,33	55,56
Вакуум	мм.рт.ст.	15,24	17,78	81,28
Щільність	г/куб.см.	1,630	1,674	1,627
Міцність на стиснення	кг/кв.см.	37,76	34,32	20,25

За даними таблиці 2.4 видно, що зразки брексів №1 та №2 мають наближені дані параметрів процесу екструзії та якості готових брексів, в той час як брекси №3 відрізняються і мають найнижче значення міцності, що пов'язано з більш грубим помелом коксового дріб'язку в молотковій дробарці. В результаті брекси з більш великими частинками є найменш міцнішими при осьових навантаженнях. Найкращій показник екструзії показала суміш з використанням коксового дріб'язку, який було подрібнено у валковій дробарці і пов'язано це зі специфікою форми частинок, які мали плоскопаралельну орієнтацію. Форма частинок суміші залежить як від характеристик самого матеріалу, так і від способу та тривалості його подрібнення [20].

Відомо, що матеріали шихти, які були подрібнені в валкових дробарках мають кутоподібну форму, в той час, як частинки матеріалів, що були

подрібнені в молоткових млинах – мають округлу форму, так як подрібнення у валкових дробарках відбувається під впливом стискаючих, зрізаючих сил та сил стирання. В результаті формуються шорсткі частинки, які мають гострі виступи з безліччю ребер і кутів та відповідно, більшу зону поверхні контакту.

2.2.2 Технологія брикетування методом жорсткої вакуумної екструзії

Типова технологічна лінії брикетування методом жорсткої вакуумної екструзії представлена на рисунку 2.3.

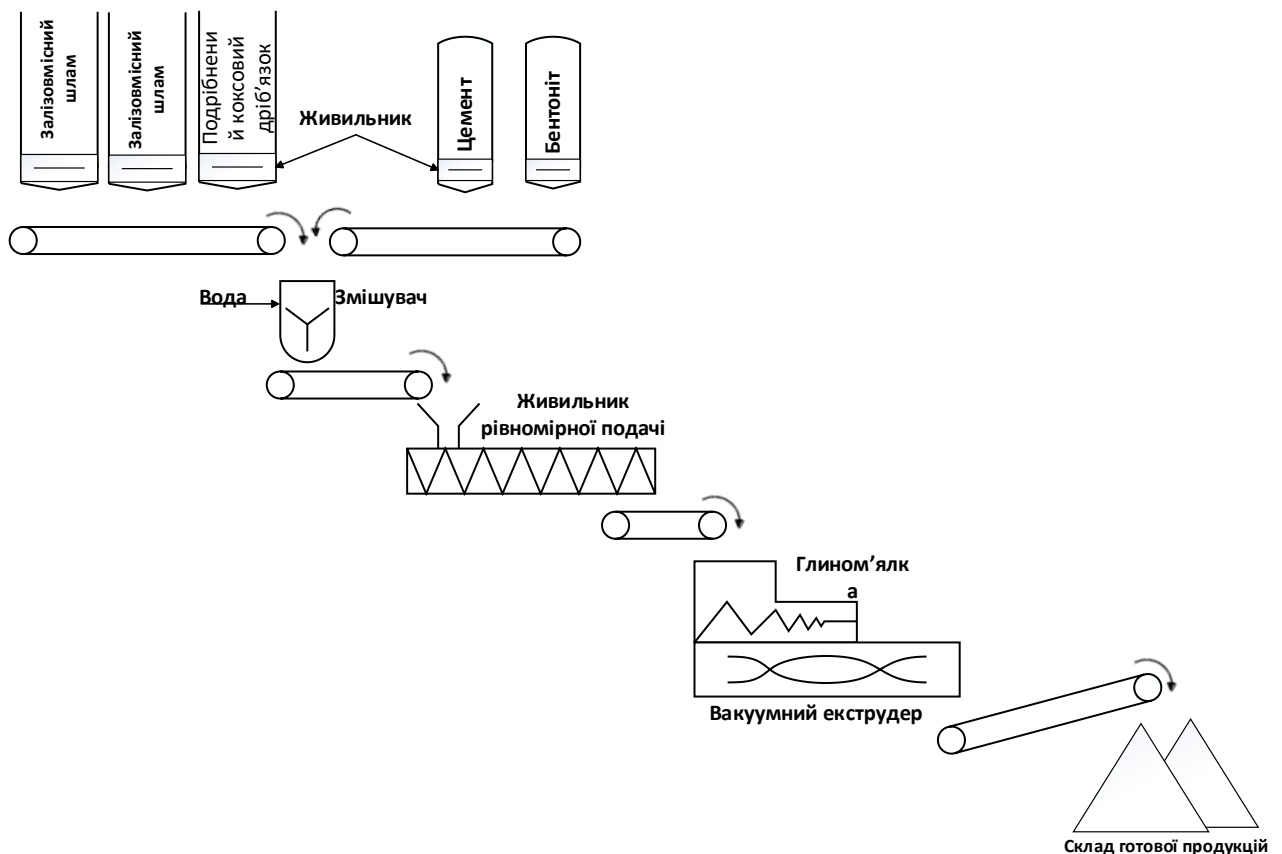


Рисунок 2.3 - Типове компонування технологічної лінії брикетування методом жорсткої вакуумної екструзії.

Компоненти шихти дозуються відповідно до розрахунку шихти та завантажуються в змішувач інтенсивної дії, куди також подається вода для отримання оптимальної вологості шихти. Після змішування шихта направляється в живильник рівномірної подачі, що має зносостійкі спіральні елементи шнеку. Саме робота шнеку дозволяє рівномірно видавати необхідну кількість підготовленої шихти. Після живильника шихта подається на перемішування в глином'ялку з вакуумним затвором. Компонівка агрегатів лінії жорсткої вакуумної екструзії наведено на рисунку 2.4.

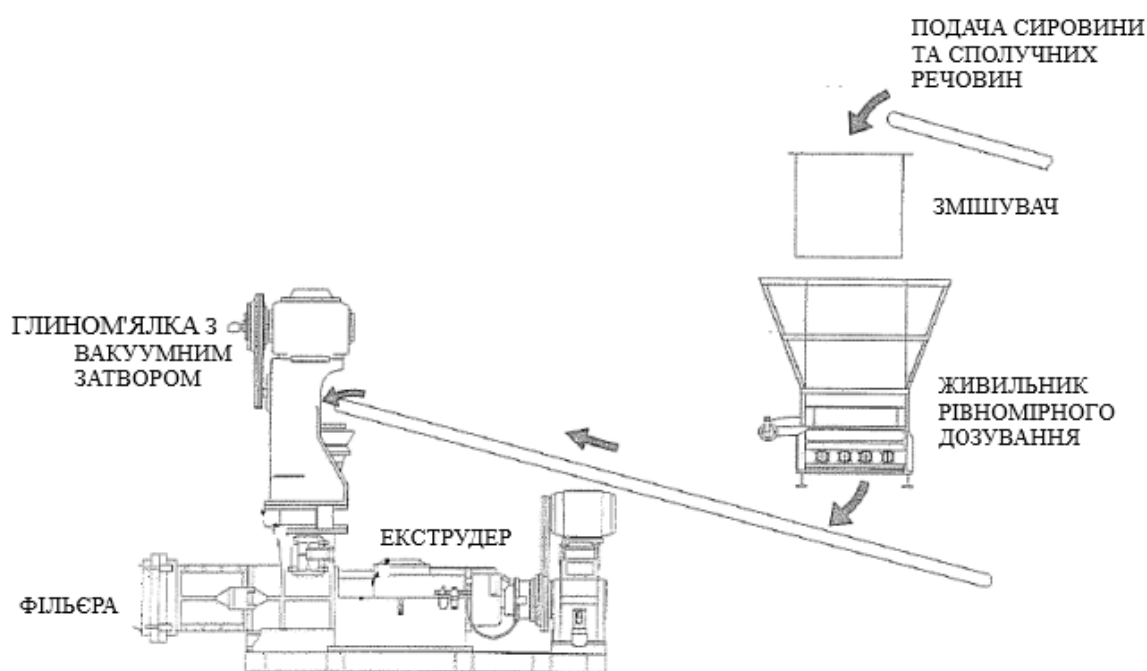


Рисунок 2.4 –Компоновка лінії брикетування методом жорсткої вакуумної екструзії.

Глином'ялка складається з відкритої частини та ущільнюючого вузла. Відкрита частина в свою чергу складається з корпусу та лопаток для перемішування. Лопатки кріпляться до валу болтовим з'єднанням, що дає змогу змінювати кут атаки, щоб покращувати продуктивність установки. Поперечний розріз глином'ялки наведено в рисунку 2.5.

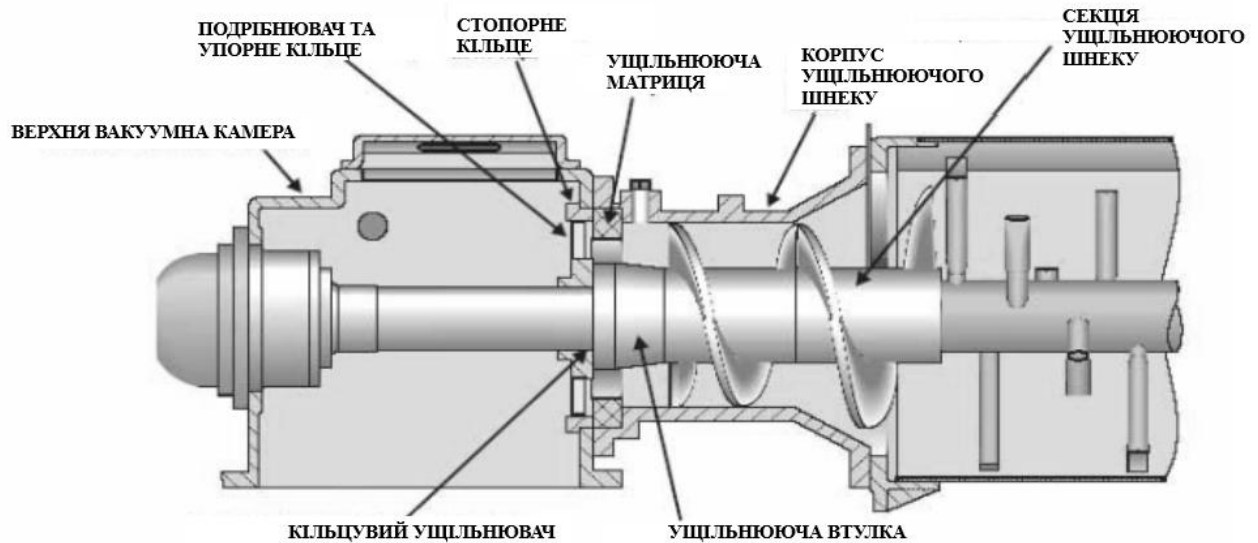


Рисунок 2.5 – Поперечний розріз глином'ялки з вакуумним затвором

Ущільнюючий вузол має ущільнюючий шнек для відокремлення вакуумної камери від зовнішнього середовища а також переміщення (транспортування) матеріалу з відкритої частини глином'ялки в вакуум-камеру через подрібнювач та фільтру.

Конструктивно глином'ялка поєднана в єдиний агрегат з екструдером та має вигляд, що зображено на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд екструдеру з глином'ялкою

Готова шихта потрапляє в вакуум - камеру частково згрудкованою та за рахунок високого вакууму згрудковані частини руйнуються на ізольовані часточки потрапляючи на леза шнеку екструдера. За даними роботи [21] відомо, що повітря, яке адсорбується поверхнею часточок пластичного матеріалу у вигляді полімолекулярних шарів, сповільнює змочування їх водою, тим самим перешкоджаючи рівномірному ущільненню шихти, утворюючи розшарування та мікротріщини в готових брексах. Повітря заповнює пори матеріалів, що унеможлиблює потрапляння в них вологи, діючи як отоцитель (добавка, яка зменшує пластичність глини). При цьому, вакуумування приводить до видалення повітря з пір та сприяє більш тісному контакту частинок.

Вакуум зберігається у всьому робочому об'ємі екструдера і тримається на рівні 100 мм.рт.ст. Розташування зони вакууму в робочій камері екструдера та глином'ялки представлено на рисунку 2.7.

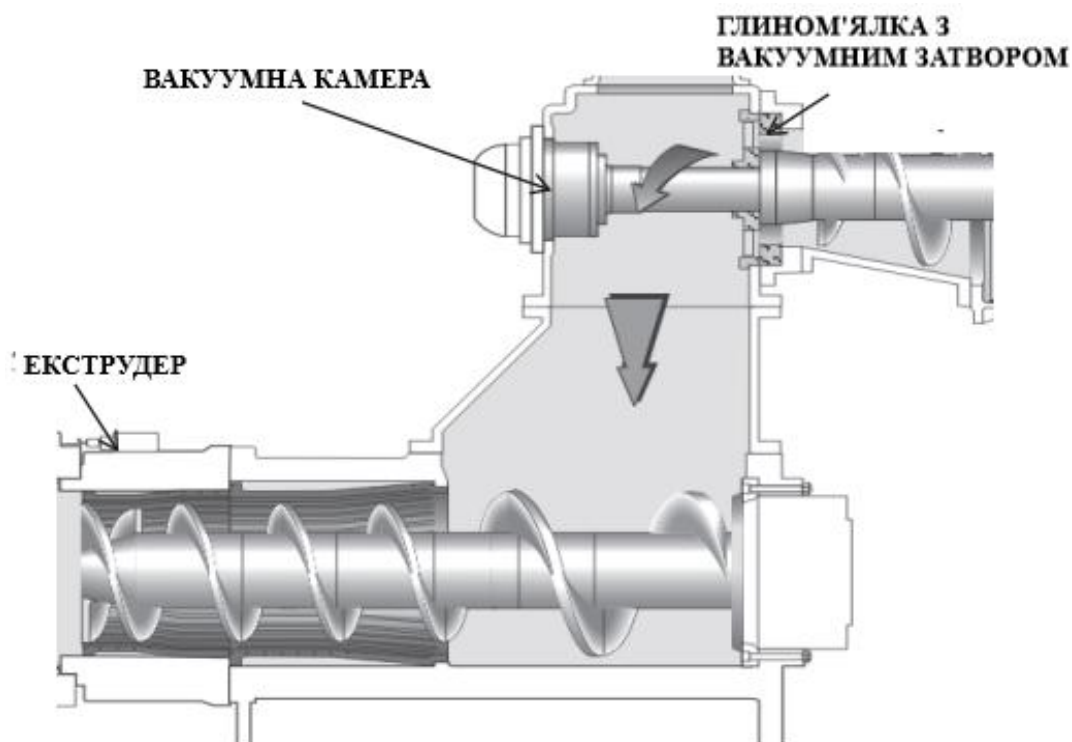


Рисунок 2.7 – Зона вакууму, що знаходиться в екструдері

Поєднання вакууму робочої зони з високим механічним тиском шнеку дозволяє видалити майже все повітря з брексів, що збільшує їх міцність і дає змогу початкового транспортування та складування сирих брексів без утворення звороту. Крім того, у вакуумі знижується в'язкість цементного тіста, що спрощує його рівномірний розподіл в масі шихти та покращує взаємодію з водою [22].

Висока щільність сирих брексів дозволяє відразу доставляти їх конвеєрами до місця складування або завантажувати їх в автомобільний чи залізничний транспорт для відправки кінцевим споживачам.

2.2.3 Транспортування та зберігання сирих брексів

В зв'язку з наявністю в складі шихти бентоніту, брекеси мають достатньо високу ударну міцність. Вплив терміну зберігання на міцність брексів було розкрито та описано в дослідній частині цієї роботи.

Авторами роботи [19], за допомогою програмного комплексу SIMULIA Abaqus, було виконано імітаційне моделювання процесу вивантаження брексів, що дозволило виявити орієнтацію брексів при їх вивантаженні в штабелі. Аналіз результатів виконаної роботи показав, що 56,25% брексів при складуванні в штабелі мають горизонтальне розташування, тобто довга вісь овалу брекса розташовується паралельно горизонту, 12,50% розташовуються довгою віссю перпендикулярно горизонту, ще 12,50% розташовуються на основі, інші 18,75% - розміщуються на ребрі. Таким чином, орієнтація брексів при якій тиск був би направлений вдовж довгої вісі валу, складає менше 13,0%.

Одним з вагомих недоліків брикетів, які були отримані методом жорсткої вакуумної екструзії, є необхідність підтримки температури приміщення де

розташоване основне технологічне обладнання (екструдер) на рівні не менше 5,0 °С, інакше екструзія вологої маси шихти буде ускладнена або зовсім неможлива, а при використанні в технології портландцементу зміцнення брексів буде уповільнено чи повністю зупинене.

Зберігання брексів в штабелях також має свої фізичні особливості, так при температурі повітря 5,0 °С, фізичне тепло брексів в штабелі сприяє підтриманню температур достатніх для гідратації цементу. При температурі повітря, наближеної до 0,0 °С, значна кількість брексів, що розташована на зовнішній стороні штабелю охолоджується впродовж перших 48 годин до температур запинку гідратації.

2.3 Практичний досвід використання брексів в доменній плавці

Освоєння технології виплавки чавуну з шихти, що складається на 100% з брексів було виконано в масштабах малої доменної печі об'ємом 45 куб.м., яка розташована на підприємстві Suraj Products ltd в місті Одіша (Індія). Добова продуктивність доменної печі складає 130 тон чавуну.

Початок експлуатації лінії жорсткої вакуумної екструзії в складі доменного цеха відбувся в травні 2011 року, з використання в шихті доменної печі 10% брексів. Поступово відсоток брексів в шихті доменної печі зріс до 80%, а в останні дні домена піч працює на шихті, що складається на 100% з брексів. Основні показники роботи доменної печі з використанням різної кількості брексів в складі доменної шихти наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Основні показники роботи доменної печі із використанням брексів

	Од. вим.	Склад доменної шихти		
		100% руди	80% брексів	100% брексів
Витрати матеріалів:				
Залізна руда	кг/т	1500	372	0
Брекси (Fe)	кг/т	0	1425	1960
Вапняк	кг/т	150	0	0
Доломіт	кг/т	144	0	29
Скрап	кг/т	132	0	0
Брекси (Mn)	кг/т	0	19	75
Кокс (фр. 15-25 мм)	кг/т	680	530	490
Fe в шихті	%	57,6	50,4	45,5
Температура дуття	°C	925	900	1000
Тиск дуття	кг/кв.см	0,50	0,34-0,38	0,38-0,42
Температура чавуну	°C	1380-1440	1400-1450	1410-1450
Продуктивність	т/куб.м. на добу	1,9	1,62	2,0

З даних таблиці видно, що при використанні в шихті доменної печі 80% брексів, витрати коксу знижуються на 150 кг/т чавуну в порівнянні з шихтою, що складається на 100% з залізорудної шихти. Зменшення витрат коксу відбувається, як за рахунок наявного в брексах вуглецю, так і за рахунок виводу з шихти додаткового вапняку та доломіту. Зменшення продуктивності доменної печі при роботі на шихті з 80% брексів відбувається в наслідок зниження вмісту заліза в порівнянні з шихтою з руди. Використання шихти в плавці, що складається повністю з брексів, дозволило зменшити витрати коксу, за рахунок додаткового вуглецю та підвищення температури дуття на 100 °C. Крім того внесення в шихту брексів з марганцевої руди (75 кг/т) знизило в'язкість первинних шлаків, що разом із покращенням структури стовпа шихти, сприяло підвищеною продуктивності доменної печі.

Використання виключно брексів в доменній шихті дозволяє тримати витрати коксу на рівні 500 кг/т, що досягається завдяки наявності в них вуглецю колошникового пилу. Дрібнодисперсні частинки коксу в брексах перебувають в тісному контакті з частинками залізовмісних шламів та інших металургійних відходів, що забезпечує пряме відновлення окислів заліза без участі в цьому процесі вуглецю коксу. Крім того, висока основність брексів, що досягається за рахунок конверторного шламу і цементу, дозволяє виключити з доменної шихти сирий вапняк і частково доломіт для отримання заданої основності доменного шлаку. В результаті витрати коксу при роботі на шихті, що складається виключно з брексів на 200 кг/т нижче, чим на шихті, що складається на 100% з багатой залізної руди та використовується вапняк і доломіт.

Багаторічний досів експлуатації промислової лінії виробництва брикетів за технологією жорсткої вакуумної екструзії, продемонстрували, що брекси мають оптимальні (регульовані) розміри, контрольований хімічний склад, високі металургійні властивості та можуть розглядатися, як новий компонент шихти доменної печі. На відміну від агломерату та окатишів, виробництво брексів є екологічно чистим і повністю безвідходним та немає ні газоподібних ні твердих викидів.

ВИСНОВКИ

1. Брикетування залізовмісних пилоподібних відходів металургійного виробництва при відносно невеликих об'ємах утворення пилу є найбільш ефективний спосіб окускування, ніж виробництво окатишів або агломерація.
2. Найбільш передовим методом брикетування в осатаній час вважається технологія брикетування за допомогою жорсткої вакуумної екструзії. Продуктивність екструдерів може перевищувати 100 тон брикетів на годину, що виводить цю технологію брикетування на промисловий рівень.
3. Цемент – бентонітова сполучна добавка в брексах, забезпечує на виході з екструдера міцність, що дозволяє локально транспортувати їх конвеєром та складати в штабель. Після зберігання впродовж 48 годин, міцність брекса дозволяє завантажувати, транспортувати у залізничних напіввагонах та вивантажувати брекси в бункера доменної печі без утворення дріб'язку. В'язко – пластичний характер руйнування брексів зберігається і після 96 годин зберігання.
4. Холодна міцність брексів з металургійних відходів повною мірою задовольняє вимогам компонентів доменної шихти.
5. Промислові брекси з колошникового пилу, конверторного шламу та залізорудного дріб'язку на цементно – бентонітовій зв'язці мають високу і рівномірну пористість, що забезпечує високий ступінь відновлення.
6. Досвід багаторічної роботи малої доменної печі на моношихті, яка на 100% складається з брексів, дозволяє зробити висновки, що брекси є новим ефективним компонентом доменної шихти, який може частково або повністю стати альтернативою агломерату (окатишам).