

ничого процесу. Для цього використовують різні пристрої, одним із яких являється каротажна станція, рис. 1.

Програмні засоби станції дозволяють оперативно отримувати, зберігати, редагувати (приводити до вимог нормативної документації), друкувати (ведення документації) дані каротажу.

Список літератури

1. **Захваткін В.К.** О некоторых тенденциях развития подготовки руд к обогащению // Обогащение руд. –1973. – № 4. –С. 34-38.
2. **Бастан П.П., Ключкин Е.И.** Методические рекомендации по усреднению железных руд при открытой добыче. –М.: Недра, 1973. –121 с.
3. **Бастан П.П., Азбель Е.И., Ключкин Е.И.** Теория и практика усреднения руд. –М.: Недра, 1979. –255 с.
4. **Бастан П.П., Болонин Н.Н.** Усреднение руд на горно-обогатительных предприятиях. –М.: Недра, 1981. – 280 с.
5. **Кузнецов В.М.** Математические модели взрывного дела. –Новосибирск: Наука –1977. 262 с.
6. **Клевцов И.В., Федоренко П.И.** Схемы взрывания на карьерах и качество дробления горной массы. –К.: Техніка, 1981. –104 с.
7. **Тангаев И.А.** Буримость и взрываемость горных пород –М.: Недра, -1978
8. **Кутузов Б.Н., Лемеш Н.И., Плужников В.Ф.** Классификация горных пород по взрываемости для карьеров // Горный журнал -1979 -№ 2
9. **Завсегдашний В.А., Слободянюк В.К., Колтунов О.В.** Система автоматизированного проектирования буровзрывных работ //Разработка рудных месторождений. Респ. межвед. научно-техн. сб.. 1996. вып. 57. с. 67-72.
10. **Литвинцев С.А.** Методика автоматизированной обработки и интерпретации панорамных изображений стенок скважин //Международная геофизическая конференция и выставка по разведочной геофизике (Москва-92).- Сб. реф. - Б.м. –М.-1992. – 440 с.
11. Патент України №41036 А «Каротажна станція» **Азарян А.А., Василенко В.Є., Бородавкін В.М., Бойко С.С.** Бюл. №7, 2001.
12. Патент України №34882 А «Свердловинний прилад для селективного гамма-гамма каротажу» Бюл. №2, 2001 **Азарян А.А., Бородавкін В.М., Василенко В.Є., Лісовий Г.М.** та ін.
13. Многофункциональная каротажная станция «Карьер-Кривбасс»// **Азарян А.А., Константинов Г.В., Кузьменко А.Б.** / Разработка рудных месторождений. - Научно-техн. сб. - Кривой Рог, 2001. - Вып. 77.
14. Патент України №80707 «Пристрій для магнітного каротажу геофізичних свердловин», БИ№17 25.10. 2007// **Азарян А.А., Цибулевський Ю.Є., Шаров В.В., Юрко А.В., Лісовий Г.М.**
15. Патент України № 39985 «Спосіб градування зондів гамма-гамма каротажу свердловин які частково заповнені водою» **Азарян А.А., Василенко В.Є., Швидкий О.В.**
16. Патент України №112782 «Пристрій для магнітного каротажу кар'єрних вибухових свердловин» опубл. 26.12.16 Бюл. №24 **Азарян А.А., Цибулевський Ю.Є., Кучер В.Г., Швець Д.В.**
17. Монография под общей редакцией профессора Альберта Азаряна Оперативный контроль и управление качеством при добыче и переработке минерального сырья: / [**А.А Азарян . В.А Азарян . В.В. Дрига** и др.]- OKTAN PRINT s.r.o. 5. května 1323/9, Praha 4, 140 00 www.oktanprint.cz tel.: +420 770 626 166 jako svou 31. Publikaci Vydání první, 2020.-500с

Рукопис подано до редакції 17.03.22

УДК 622. 7

ВОЛОДИМИР ГАРБЕР Dr.-Ing

Büro Feuerung- und Trocknungstechnologien, Німеччина

ВОЛОДИМИР ГОЛОВАНЬ, Незалежний консультант АГН, Україна

ТЕХНОЛОГІЯ СПАЛЮВАННЯ ВУГЛЕЦЕВОВІСНИХ ПРОДУКТІВ У БАРБОТУЮЧОМУ ШАРІ ДЛЯ МЕТАЛУРГІЇ ТА ЕНЕРГЕТИКИ

Мета. Метою даних досліджень є оцінка можливості застосування та реалізації в чорній металургії та енергетиці технології відновлювального спалювання вугілля в барботуючому шарі шлаку на основі технічних рішень.

Методи дослідження. Дослідження гранулометричного складу гранульованого шлаку, теплових потоків від шлаку до трубних поверхонь системи випарного охолодження.

Наукова новизна. Наукова новизна результатів дослідження полягає в визначенні особливостей роботи барботажної топкової камери в окисному режимі теплопередачі з температурами газів 1400 °С на вході в котел, підвищен-

ні інтенсивності та високих теплонапружень об'єму топкової камери при спалюванні вугілля в барботажному шарі. паливі на вугільне паливо, не знижуючи потужності та не призводить до проблеми із застиганням шлаку.

Практичне значення. Практична значущість отриманих результатів технології відновлювального спалювання вугілля в барботажному шарі шлаку може застосовуватися для переробки побічних продуктів та відходів металургії, вилучення кольорових металів із доменних пілків.

Результати. Розглянуто різну геометрію камери топки при збереженні відстані 2,5 м між паралельними поздовжніми стінками. Визначено, що тепло, яке вноситься гарячим шлаком, становить 15 %, теплові потоки від шлаку до трубних поверхонь системи випарного охолодження досягають 120,000 ккал/м²□□годину.

Встановлено, що випуск гранульованого шлаку в крупності 0,2-2 мм шлаку в енергетичних котлах містить основні сполучні компоненти клінкеру - аліт та беліт, які можна використовувати для отримання шлако-цементів із застосуванням операцій сушіння, помелу граншлаків та змішуванні продуктів помелу з готовим цементом. у співвідношенні приблизно 50:50. Визначено можливість виключення недопалу при спалюванні вугілля будь-якої якості в шарі шлаку, що барботується. При газифікації вугілля з високим вмістом сірки. у шлаковому розплаві можна виключити реагентне очищення газів від з'єднань сірки, обмежуючись лише апаратами газоочищення. Викиди сірки для описаної технології в 3-4 рази менше, ніж за традиційної.

Ключові слова: шлак, барботований шар, топкова камера, шлак, очищення

doi:10.31721/2306-5435-2022-1-110-118-125

Проблема і її зв'язок з науковими та практичними завданнями. В Україні розвиток сучасної вугільної енергетики неможливий без забезпечення екологічних показників порівнянних із показниками газових станцій. Висока вартість вугільних ТЕС, що обумовлюється високою вартістю очищення газів та утилізацією золи від спалювання вугілля.

Ефективна та екологічно чиста технологія спалювання вугілля, конкурентна з технологіями на природному газі повинна забезпечувати:

a - комплексне використання вугілля як мінеральної сировини, як органічну, і мінеральну частини вугілля;

b - можливість стабільної роботи установок на вугіллі різної якості;

c - мінімальна кількість летких відходів – золи;

d – широкий діапазон регулювання потужності;

e - істотно менша кількість викидів у вигляді оксидів азоту, сірки та пилу;

g - висока теплонапряга об'єму топки - зменшення площі, ваги, вартості теплообмінних поверхонь [1].

Печі ШВУ, як топкова камера котла, найбільше підходять для використання в енергетиці для нового будівництва або модернізації існуючих вугільних і мазутних котлів.

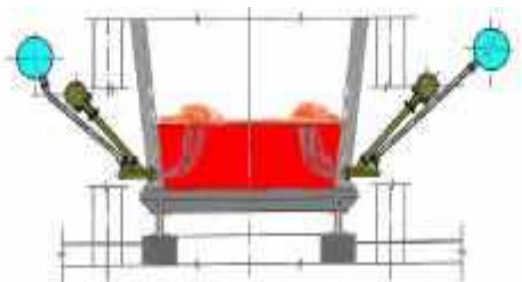
Аналіз досліджень та публікацій. Шлаковигонкові печі для ЧМ у шлакову ванну печі ШВУ, обмежену трубними панелями випарного охолодження, заливають 50-60 т шлаку з температурою 1100 °С, отриманого в шахтних металургійних плавильних печах. Шлак продують знизу сумішшю вугільного пилу і стисненого повітря, підтримуючи відновне середовище, домагаючись відновлення оксидів цинку і свинцю до металів, випаровування металів, виконують допалювання горючих компонентів CO і SO₂ над шлаком, охолоджують гази від 100 до 20 гази від оксидів металів у рукавних фільтрах, отримуючи готову продукцію - оксиди кольорових металів, отримані зі шлаків. Збіднені шлаки зливають у водяний гранулятор, отримуючи граншлак 0,2-2 мм.

На рис. 1-2 описується шлаковозгінна установка комбінату УКМК ТОВ «Казцинк», що діє з 70-х років. У кольоровій металургії відпрацьовано прийоми подачі вугілля під шлак, обладнання, режими роботи з метою вилучення цинку та свинцю зі шлаків шахтної плавки або інших металургійних відходів.

Рис. 1. Поперечний розріз нижнього пояса кесонів печі ШВУ. Подача вугілля та повітря під шлак

Виконано проект технологічної модернізації цієї установки. Раніше тривалий час експлуатувалася подібна установка на Чимкентському свинцевому комбінаті, інші установки по всьому світу на металургійних підприємствах.

Установки ШВУ забезпечують відновлення в шлаку з'єднань цинку і свинцю до парів металів,



зниження вмісту Zn і Pb до 0,5-1 %, накопичення і злив збідненого шлаку, мають систему випарного охолодження шлакової камери (отримання товарної пари), водоохолоджуваний под, та є простими за конструкцією.

Технологія фьюмінгування - сублимації відновлених пар Zn і Pb з шлаку може використовуватися в чорній металургії для переробки доменних пилів з метою видалення з них Zn і Pb, отримання багатого по Fe шлаку, повернення шлаку у виробництво чавуну і сталі. Ця технологія може використовуватися для переробки прокатної окалини та інших відходів металургійного виробництва.

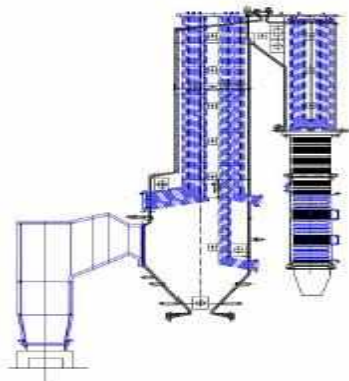


Рис. 2. Заливка шлаку в піч ШВУ (шлаковозгінна установка)

Шлаковигонкові печі для Енергетики. Печі ШВУ є основою цієї статті - це, по суті, відпрацьована металургами конструктивно та технологічно топкова камера вугільного котла, готова для використання в енергетиці.

Котли зі спалюванням вугілля в шарі шлаку, що барботується, найбільш підходять для енергетичного господарства металургійних підприємств. Такі установки зі спалюванням вугілля під шлаком, понад 40 років працюють у кольоровій металургії при продуктивності 40-50 тонн/годину по парі і немає обмежень щодо нарощування потужності, рис. 3.

Рис. 3. Компонівка печі ШВУ та котла утилізатора



Постановка задачі. Метою даних досліджень є оцінка можливості застосування та реалізації в чорній металургії та енергетиці технології відновного спалювання вугілля в шарі шлаку, що барботується, на основі технічних рішень.

Викладення матеріалу та результати. Для використання в енергетиці потрібні перші два ряди кесонів, до рівня нижче балки, що несе.

Висота цієї частини барботажно́ї камери топлення 4-6 м, ширина близько 2,5 м. Довжина вибирається в залежності від потужності котла - приблизно 8 м на 50 т пари на годину, при прямокутній формі камери.

Можлива різна геометрія камери топки при збереженні відстані 2,5 м між паралельними поздовжніми стінками. Це зумовлено глибиною проникнення струменів із фурм у шлак. Роздача вугільного пилу та стисненого повітря здійснюється з кільцевих колекторів. Відстань між фурмами 300 мм, рис. 4,5.

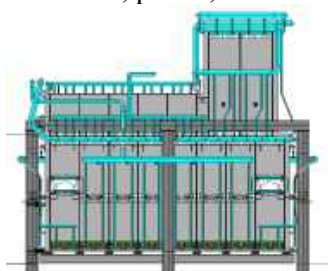


Рис. 4. Камера для барботажу шлаку печі ШВУ

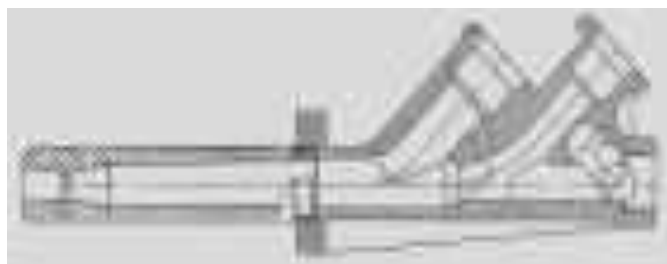


Рис. 5. Фурма для вдування під шлак вугільного пилу

Можливі фурми складнішої конструкції, що дозволяють при роботі на високо-сірчистому вугіллі вдувати через них помелений вапняк та інші шихтові компоненти.

Можливе вдування через фурми кількох різних горючих пилів або подача зверху в шлак різних горючих продуктів, шматкових відходів тощо, рис. 6,7.



Рис. 6. Фурми шлакового пояса кесонів для подачі вугільного пилу під шлак



Рис. 7. Колектори вугільного пилу та стисненого повітря, труби для подачі з компенсаторами

Горючі гази над зоною барботажу допалюються подачею по контуру зчленування з котлом проникаючих струменів повітря, звуження перед радіаційною камерою сприяє перемішуванню, рис. 8.

Рис. 8. Сопла фурм у середині печі. Прохід через кесони системи випарного охолодження



Випуск шлаку з печей ШВУ виконується в металургії порціями приблизно через 2 години, зі збереженням постійного нижнього рівня шлаку вище за фурми барботажу. Це дозволяє підтримувати піч у гарячому стані до заливання нової порції шлаку, що подається на ф'юмінгування.

Теплові показники печі ШВУ та котла утилізатора: тепло, що вноситься гарячим шлаком, становить 15 %,

в установці під шлаком спалюють 7-10 т вугілля на годину;

теплові потоки від шлаку до трубних поверхонь системи випарного охолодження досягають 120,000 ккал/м² годину.

Від трубних панелей випарного охолодження печі ШВУ сумарною вагою 10 т одержують 20 т пари на годину з тиском 25 бар. Від трубних поверхонь котла утилізатора вагою 80 т, отримуємо 25 т пари на годину з тиском 25 бар.

Інтенсивність теплопередачі від шлаку, що барботується, до трубних панелей перевищує в 4-5 разів потоки тепла від газів до трубних панелей в радіаційній камері котла.

Підвищена інтенсивність теплопередачі та висока теплонапруга об'єму камери згоряння при спалюванні вугілля в барботажному шарі шлаку забезпечують наступні переваги:

1. Висота та основні розміри радіаційної камери та конвективних поверхонь котла на вугільному паливі не збільшуються в порівнянні з котлами на газовому або мазутному паливі. Це дозволяє переводити котли з газового або мазутного палива на вугільне паливо, залишаючись у межах котельного осередку, не знижуючи потужність котла.

2. Робота барботажної камери топки в окисному режимі, з орієнтуванням на спалювання вугілля, характеризується температурами газів 1400 °С і більше на вході в котел. Це дозволяє уникнути проблем із застиганням шлаку, характерних для котлів з рідким шлаковидаленням.

Пропонована система може працювати на вугіллі з високими температурами плавлення золи, відходах, вугіллі будь-якої зольності, на високозольних шламах – продуктах вуглезбагачення.

3. Діапазон регулювання продуктивності барботажної шлакової топки 10-100%.

Це відомо з металургійної практики і це дуже добрий показник для топки енергетичного котла

Особливості роботи печей ШВУ або їх можливого застосування в чорній металургії повторюють показники спалювання вугілля в шарі шлаку, що барботується, в топковій камері котла. Тому далі енергетика та металургія розглядаються паралельно.

Енергетичний котел зі спалюванням (газифікацією) подрібненого вугілля під шлаком за аналогією з піччю ШВУ оснащеною утилізатором котлом може бути влаштований і працює наступним чином.

Під радіаційною камерою котла, на місці холодної вирви, організована топкова камера з барботажем рідкого шлаку, під який подається розмелене вугілля. Барботажна топкова камера повторює в основних технічних рішеннях конструкцію печі ШВУ, рис. 9.

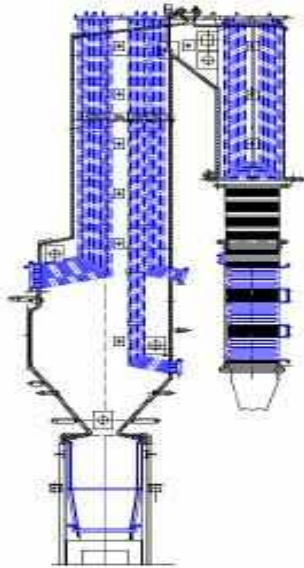


Рис. 9. Компонування енергетичного котла з топковою камерою для барботажу шлаку

Необхідна кількість шлаку накопичується в барботажній камері за кілька днів при роботі пальника з циклонною камерою рідкого шлаковидалення. Можливо передбачити заливку металургійного шлаку, якщо котел розташований на території металургійного підприємства.

Близько 30% вугілля може подаватися в барботажну камеру топки на шлак зверху в шматковому вигляді без подрібнення або помелу.

Випуск шлаку в енергетичних котлах можливий малими порціями із незначною зміною загального верхнього рівня. Шлак, що випускається, подається у водяну ванну, де охолоджується і гранулюється внаслідок розбиття на дрібні краплі утворюється парою. Гранульований шлак видаляють із ванни, висушують відстоєм на відкритому майданчику. Кінцева вологість шлаку 6-12% залежно від погоди. Розмір частинок гранульованого шлаку 0,2-2,0 мм.

Гранульований шлак містить аліт і беліт - основні сполучні компоненти клінкеру, що отримується в печах, що обертаються, спікання цементних заводів. Гранульований шлак від спалювання вугілля використовується для одержання шлакоцементів. Це проста та високорентабельна технологія полягає в сушінні, помелі гран-шлаків та змішуванні продуктів помелу з готовим цементом у співвідношенні приблизно 50:50. Таким чином, з 1 т готового цементу з використанням відходу ТЕС отримують 2 т шлако-цементу близької якості та з близькою ринковою ціною.

FTT - Ing.- Büro Feuerungs - und Trocknungstechnologien (технології горіння та сушіння) пропонує технічні рішення щодо застосування печей ШВУ в металургії, обладнання з переведення газових та мазутних котлів на вугілля при спалюванні в барботованому шарі рідкого шлаку, а також комплектні установки отримання шлаку цементів окремо або у складі ТЕС, що підвищує рентабельність теплової станції, виключає відходи

Екологічні показники.

Механічний недопал. При спалюванні вугілля, особливо вугілля низької якості, спостерігається значний механічний недопал. Вміст вуглецю в золи сягає 10-20%. При спалюванні вугілля в шарі шлаку, що барботується, механічний недопал може бути повністю виключений для вугілля будь-якої якості. Гарячі гази з температурою до 1400°C і більше в районі виходу з барботажної камери топки до котла, високі теплові напруги в камері топки дозволяє використовувати вугілля із золою високої тугоплавкості, на яких не можуть працювати звичайні котли з рідким шлаковидаленням.

Грубий помел вугілля, захоплення барботуючим шлаком золи від спалювання вугілля обумовлюють зниження вмісту газів твердих частинок. У сукупності це знижує в 1,5-2 рази обсяг та вартість системи газоочищення за котлом.

Вугілля з високим вмістом сірки. При спалюванні (газифікації) вугілля в шлаковому розплаві існує реальна можливість виключити реагентне очищення газів від з'єднань сірки, обмежуючись лише апаратами газоочищення.

Близько 15% сірки залишається в шлаку, близько 70% сірки, що видаляється з газами з шлакового розплаву, концентрується у вигляді твердих сполук з відновленими в розплаві калієм, натрієм та іншими легкими металами, близько 30% представлені газоподібними сполуками сірки, в основному SO_2 . Викиди сірки для описаної технології в 3-4 рази менше, ніж за традиційної.

Окиси азоту. Особливості газифікації вугілля в шлаку: - при надлишку повітря 0,5, кількість оксидів азоту з палива зменшується зі звичайних 15-20% до 0,5%.

В основних режимах вміст $NO_x=20-40$ мг/м³, що на порядок нижче вмісту оксидів азоту за вугільними казанами з пиловугільними пальниками. Загальне зниження викидів оксидів азоту до 10 разів, з урахуванням зменшення обсягів газів, що відходять, в 1,5-2 рази.

Вміст твердих частинок у газах. Над поверхнею розплаву, який барботується, є сепараційна зона з великих бризок і крапель розплаву заввишки 0,7- 1 м. У цій зоні дрібні краплі, що виносяться, і тверді частинки частково осаджуються і повертаються в розплав. Сублімація, краплі шлаку і тверді частинки в міру руху потоку газів коагулюють і налипають один на одного.

У металургії винос шлаку за шлаком, що барботується, в систему газоочищення становить 5-7 г/м³. У котлі з барботажем шлаку вміст твердого у газах, що відходять, очікується на рівні 1-2 г/м³. Частка золи, що надходить у газоочищення, очікується на рівні 1-2 % від ваги мінеральної складової вугілля. Винесення твердих частинок золи з енергетичних топков, що використовують факельне спалювання пиловугільного палива на порядок вище.

Спалювання відходів.

Барботажна шлакова піч є в металургії універсальним, «всеїдним» пристроєм для переробки відходів. Ця властивість передається «у спадок» камері спалювання вугілля в барботуючому шарі шлаку в складі енергетичного котла і може застосовуватися при спалюванні і знешкодженні відходів.

При спалюванні побутових відходів на колосникових ґратах неможливо розкласти найбільш небезпечні компоненти - діоксини та фурани, через неможливість збільшити температуру спалювання вище 900-1000 °С. Діоксини та фурани містяться в золі, кількість якої становить 20-40% від спалених відходів. Потрібно підвищення температури спалювання вище 1200 град. Шлаковий розплав є добрим рішенням для цієї мети. Температура шлакової ванни 1250-1350 град.

Можуть спалюватися несортовані відходи з вологістю 50% при незначному додатку вугілля, близько 50-70 кг/тонну відходів.

Рідкісні та розсіяні метали у складі вугілля:

легкоплавкі, такі як цинк, свинець, срібло, германій, кадмій, калій, натрій виганяються зі шлаку та концентруються у тонких пилах системи газоочищення;

тугоплавкі, залізо, нікель, мідь, платина залишаються у шлаку.

Висновки та напрямок подальших досліджень.

Можливості технології барботованого шлаку для спалювання вугілля, вилучення металів, переробки відходів:

1. Технологія довилучення Zn та Pb із шлаків шахтної плавки, переробки відходів у кольоровій металургії.

2. Технологія вилучення Zn та Pb з доменних пилів, відходів та попутних продуктів чорної металургії.

3. Технологія випалювання вуглецю в металургійних продуктах за високого - до 80% вмісту мінеральної складової.

4. Універсальна «всеїдна» топкова камера для вугільного котла середньої потужності 20-300 МВт. Паливо: низькоякісне вугілля будь-якої зольності, будь-якої вологості, вугілля із золю будь-якої тугоплавкості,

5. Робота на вугіллі з високим вмістом сірки. Зниження викидів сірки у 3-4 рази без додаткових витрат.

6. Розширення діапазону регулювання котла

7. Система газоочищення менше ніж на інших котлах через роботу з низькими надлишками повітря, зола на 90-98% залишається в шлаку.

8. Робота на дробленому вугіллі та частково на шматковому вугіллі. Знижені витрати на помел. Проста система роздачі вугілля. Прості пальники - фурми + сопла.

9. Камера барботажу шлаку має власну систему випарного охолодження, інтегровану в парову систему котла. Скорочення площі теплообмінних поверхонь (ціни котла), порівняно з котлами рівної потужності.

10. Встановлення барботажної камери топки до вугільних котлів з метою розширення сортності використовуваного вугілля.

11. Використання барботажної камери топки при переведенні газових і мазутних котлів на вугілля, без зміни будівельного котельного осередку – основних габаритів котла.

12. Барботажна «всеїдна» шлакова камера. Орієнтуючись на металургію – може реально працювати із зольністю 80%. Це дозволяє переробляти відходи, наприклад, високозольні відходи вуглебагачення із зольністю 60-80 %, інші горючі відходи, у тому числі рідкі (підмісом), побутові відходи.

13. Високі температури в камері топки, реально до 1400-1600 °С, дозволяють виконувати розкладання шкідливих органічних відходів.

14. Технологія спалювання твердого органічного палива, відходів у шарі лаку, що барботується, є основою для побудови високоефективної безвідходної енергетики під час використання горючих відходів, як палива, використання гранульованого шлаку після котлів як сировини для будівельних матеріалів - шлакоцементів та інших.

Розроблена металургами технологія спалювання палива в шарі рідкого шлаку, що барботується, може з високою ефективністю використовуватися як для технологічних цілей металургії, так і для енергетичного господарства металургійних підприємств.

Технологія спалювання вугілля в шарі шлаку (ТБШ), що барботується, освоєна в металургії, може стати основою для сучасних вугільних енергетичних котлів зі зниженим обсягом газових викидів і зниженням до нуля твердих відходів.

Реалізація технології спалювання вугілля або відходів у шлаку, що барботується, не вимагає НДР та дослідно-промислових установок.

При проектуванні та виборі обладнання ТБШ можливе використання технічних рішень, вузлів, робочих креслень, технологічних прийомів старту/зупинки/керування відпрацьованих багаторічною практикою у металургії та енергетиці.

Список літератури

1. **Баласанов А.В., Лехерзак В.Е.** «Газификация угля в шлаковом расплаве», Институт Стальпроект, 2008 – 288 с.
2. <http://www.ftt-ing.de/referenzen/036-Dampfkessel für Kohlefeuerung in Brennkammer mit Schlake –Barbotage .pdf> - Брошура «Энергетический угольный котёл с топкой барботируемого шлака».
3. <http://www.ftt-ing.de/broschüre/007 Broschüre Verbrennung den hoch asche gehaltenen Produkten der Kohle - Aufbereitung.pdf> – Брошура «Сжигание высокозольных продуктов углеобогачения».
4. Доменное производство «Криворожстали». Монография под ред. чл.-корр. НАН Украины В.И.Большакова. Изд. "Криворожсталь" – ИЧМ. Дн-ск, 2004. – 378 м.
5. **Большаков В.И.** Научное обеспечение реализации перспективных технических решений при реконструкции металлургических агрегатов. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2005. – № 3.
6. **Большаков В.И.** Проблемы инновационного развития ГМК Украины. // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2003. № 2. – С.1–4.
7. **Ефименко Г.Г.** и др. Металлургия чугуна, Выща шк. Головное изд-во, 1988.-355 с., 212 табл.
8. Ironmaking Process Alternatives Screening Study. October 2000 LG Job No. 010529.01
9. **Андронов.** Минимально возможный расход кокса и влияние на него различных факторов доменной плавки.: СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. 142 с.
10. **A. Babich, D. Senk, H. W. Gudenau, K. Th.** Mavrotmatis IRONMAKING, RWTH Aachen University, Department of Ferrous Metallurgy, Aachen 2008.: @ 2008 Institut für Eisenhüttenkunde der RWTH Aachen Intzestr. 1. 52072 Aachen, Germany, <http://www.iehk.rwth-aachen.de>

Рукопис подано до редакції 19.03.22