

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра матеріалознавства та ливарного виробництва

«Допущено до захисту»
Зав. кафедри МЛВ
канд. техн. наук, доцент
_____ Олександр КУЗИК
« ____ » _____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти на тему:

**"Конструювання і розрахунок кисневої вагранки
продуктивністю 20 т/год."**

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ПМ-23мб-1
спеціальності 131
«Прикладна механіка»
_____ Максим ЛОМАНОВ
« ____ » _____ 20__ р.

Керівник бакалаврської роботи
Старший викладач
_____ Микола БОСИЙ
« ____ » _____ 20__ р.

Рецензент
канд. техн. наук, доцент
_____ Любов ОЛІЙНІЧЕНКО
« ____ » _____ 20__ р.

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет: механіко-технологічний

Кафедра: матеріалознавства та ливарного виробництва

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма: «Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D друк»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри МЛІВ

канд. техн. наук, доцент

_____ Олександр КУЗИК

« ____ » _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ
Ломанова Максима Михайловича**

1. Тема роботи: Конструювання і розрахунок кисневої вагранки продуктивністю 20 т/год.
2. Керівник роботи: Старший викладач Босий Микола Вікторович
3. Строк подання роботи до захисту
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: вивчення конструкції роботи кисневої вагранки та розрахувати основні її розміри. Визначити матеріальний і тепловий баланси проектного обладнання.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури		
2	Проведення розрахунку основних розмірів, матеріальний та тепловий баланси проектного обладнання, обробка фактичного матеріалу		

3	Написання першого варіанта тексту, подання його на ознайомлення керівнику		
4	Усунення недоліків, написання останнього варіанта тексту		
5	Перевірка роботи на плагіат		
6	Зовнішнє рецензування роботи		
7	Захист випускної кваліфікаційної роботи на засіданні екзаменаційної комісії		

Дата видачі завдання

«___»_____20__р.

Підпис керівника

_____ Микола БОСИЙ

Завдання прийнято до виконання

«___»_____20__р.

Підпис здобувача

_____ Максим ЛОМАНОВ

АНОТАЦІЯ

Ломанов М.М. "Конструювання і розрахунок кисневої вагранки продуктивністю 20 т/год.", спеціальність 131 «Прикладна механіка», ОПП – «Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D друк», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2026. 33 с. Матеріали ілюстрації 2 іл.

Мета даної роботи – проектування кисневої вагранки ємністю 20 т/год, що включає: вивчення конструкції та принципів роботи агрегату, визначення його геометричних параметрів, а також здійснення теплового та матеріального розрахунків.

При проектуванні та розрахунку кисневої вагранки необхідно: розрахувати плавильний агрегат, визначити основні розміри і розрахувати матеріальний і тепловий баланс для його проектування.

Графічна частина кисневої вагранки – загальний вигляд.

Вагранка, кисень, кокс, чавун, матеріальний баланс, тепловий баланс

ABSTRACT

Lomanov M.M. " Design and calculation of an oxygen cupola with a capacity of 20 t/h.", specialty 131 "Applied Mechanics", OPP – "Computer Engineering Technologies, Robotics and 3D Printing", Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2026. 33 p. Illustration materials 2 ill.

The purpose of this work is to design an oxygen cupola furnace with a capacity of 20 t/h, which includes: studying the design and principles of operation of the unit, determining its geometric parameters, as well as performing thermal and material calculations.

When designing and calculating an oxygen cupola furnace, it is necessary to: calculate the melting unit and determine the main dimensions, and calculate the material and heat balance for its design.

The graphic part of the oxygen cupola furnace - general view.

Cupola, oxygen, coke, cast iron, material balance, heat balance

Зміст

Вступ.....	7
РОЗДІЛ 1. Теоретичні відомості	8
РОЗДІЛ 2. Способи введення кисню у вагранку	9
РОЗДІЛ 3. Використання кисню при обробці чавуну в накопичувачі, горні вагранки та поза вагранкою	11
РОЗДІЛ 4. Будова вагранки	12
РОЗДІЛ 5. Робота вагранки	14
РОЗДІЛ 6. Розрахунок розмірів вагранки.....	16
РОЗДІЛ 7. Розрахунок горіння палива.....	18
7.1. Кількість повітря	18
7.2. Вихід і хімічний склад продуктів горіння.....	19
7.3. Температура горіння	20
РОЗДІЛ 8. Матеріальний баланс.....	21
РОЗДІЛ 9. Тепловий баланс	23
Висновки.....	27
Література.....	28
ДОДАТКИ	29
Додаток 1. Загальний вигляд вагранки	30

В С Т У П

Вагранка залишається найпопулярнішим плавильним пристроєм завдяки здатності безперервно забезпечувати випуск рідкого металу протягом тривалого часу. Найбільш ефективно її застосовувати у дуплексному процесі в зв'язці з електропіччю.

Задовільна робота вагранок і висока температура перегріву чавуну в умовах виробництва можуть бути досягнуті тільки при роботі на високоякісному, відбірному, крупному коксі, при відповідному розділенні шихти з оптимальним для даних умов дуттєвим режимом.

В зв'язку з такими умовами застосовують кисень. Його використання дає можливість отримання високоякісного чавуну, так як температура рідкого металу при плавці підвищується на 50-100 °С.

Необхідною умовою отримання високоякісного чавуну є висока температура рідкого чавуну, яка досягається використанням кисню при плавці.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ [1-6]

На протязі багатьох років в різних напрямках розглядається вивчення особливостей ваграночного процесу плавки.

В зв'язку з пошуками шляхів покращення та інтенсифікації різних технологічних процесів увагу багатьох дослідників привертає кисень.

Оскільки кисень виступає ключовим реагентом у більшості природних хімічних перетворень, регулювання його концентрації дозволяє керувати швидкістю та спрямованістю цих реакцій. Відповідно, підвищення вмісту кисню в повітряному середовищі або заміна слабких окисників чистим киснем здатні значно інтенсифікувати процеси спалювання палива та рафінування домішок у плавильних печах.

Кисень у чавунному виробництві застосовують за двома основними напрямками:

а) Збагачення дуття вагранки киснем. Це дозволяє інтенсифікувати процес плавки, підвищити температуру, знизити чавунний угар та покращити хімічні характеристики металу, комплексно впливаючи на плавку.

б) Продування розплавленого чавуну киснем (позапічна обробка). Використовується переважно для екзотермічного підвищення температури рідкого металу завдяки окисленню домішок.

Обробка чавуну киснем може виконуватися в накопичувачі, на жолобі, в ковші або спеціальному конвертері.

На відміну від введення кисню безпосередньо у вагранку обробка рідкого чавуну поза вагранкою дає можливість отримання високої температури металу за рахунок окислення кремнію і частково марганцю та вуглецю.

Використання кисню для обробки чавуну навіть у невеликих обсягах суттєво підвищує температурний режим процесу. Також доцільним є поєднання плавки збагаченим киснем дуттям та подальшої кисневої обробки розплаву.

РОЗДІЛ 2. СПОСОБИ ВВЕДЕННЯ КИСНЮ У ВАГРАНКУ [1-6]

Метод подачі повітряно-кисневої суміші у вагранку істотно впливає на інтенсивність горіння палива та кінцеву температуру розплавленого чавуну.

Робота по покращенню умов плавки у вагранках за рахунок зміни уведення дуття ведеться вже багато років. До найбільш суттєвого в цій області досягнення слід віднести використання трьох рядів фурм замість одного.

Дослідження показали, що використання трирядної системи дуття у вагранках підвищує ефективність їхньої роботи, забезпечуючи зростання продуктивності, зниження витрат коксу та вищу температуру перегріву чавуну. Наприклад, дослідним шляхом було виявлено, що після переходу при плавці у вагранках діаметром 900 мм однорядної системи фурм на трирядну було отримано збільшення виробництва на 20-25 % і підвищення температури чавуну на 15-25 °С.

Досвід роботи вагранок на повітряному дутті показує, що і при роботі з добавкою до дуття кисню не без різниці способ його введення в шахту. Так, наприклад, ефективним засобом для підвищення потужності і економічності звичайних пристроїв для спалювання різних видів палива є використання “гострого дуття”. Гострий струмінь кисню або киснево-повітряної суміші, що викидається під тиском із сопла, розбиває утворені в результаті взаємодій повітряного дуття з паливом продукти горіння, додатково окислює продукти неповного окислення, направляє продукти горіння в простір між коксом і шихтою.

Можливі наступні способи підводу у вагранку гострого кисневого дуття:

- 1) через основний ряд повітряних фурм;
- 2) через додатковий ряд повітряних фурм;
- 3) між основними фурмами;
- 4) вище основних фурм (між додатковими фурмами);

5) між основними фурмами і через них;

6) між додатковими фурмами і через них.

7) Використання додаткового ряду фурм для подачі кисню в шахту дозволяє не тільки мінімізувати його втрати та оптимізувати процес згоряння, але й збільшити область максимальних температур, що сприяє кращому перегріву розплаву.

8) У вагранках, що мають 2-3 ряди фурм, кисень доцільніше вводити в другий ряд, а не в основний, так як в цьому випадку значно полегшується поточне обслуговування печі.

РОЗДІЛ 3. ВИКОРИСТАННЯ КИСНЮ ПРИ ОБРОБЦІ ЧАВУНУ В НАКОПИЧУВАЧІ, ГОРНІ ВАГРАНКИ ТА ПОЗА ВАГРАНКОЮ [1-6]

Позапічна обробка чавуну передбачає використання ковшів або конвертерів. Використання останніх збільшує собівартість якісного литва приблизно на 10% через необхідність витрат кисню та феросплавів. Однак такі інвестиції є доцільними, якщо чавун замінюють сталевим виробом, що дозволяє підвищити механічні характеристики металу та знизити рівень браку.

Подальшим розвитком процесу безпосередньої обробки чавуну киснем є метод перегріву чавуну в накопичувачі вагранки за рахунок екзотермічних реакцій окислення металу киснем. Порівняно з обробкою чавуну киснем в конвертері вищенаведений метод є більш економічним і простим. В цьому випадку відсутня необхідність в переливанні чавуну за допомогою ковша в конвертер, тому зникають пов'язані з цим витрати тепла і необхідність додаткового використання кисню і феросплавів.

Конструктивно досить просто здійснюється обробка чавуну киснем на жолобі вагранки. Така обробка металу в деяких випадках має сенс, але завжди супроводжується витратами кисню. Реакції окислення не можуть закінчитися на жолобі і завершуються у ковші. Результати, що отримуються при цьому, не завжди є стабільними.

Кисень може бути також ефективно використаний при дуплекс-процесі виробництва ковкого чавуну для зниження вмісту вуглецю в електропечі.

Використання кисню у 15-тонній полуменевій печі значно підвищило ефективність: час плавки зменшився, а витрати палива знизилися. Водночас покращилася якість процесу завдяки сталому контролю температури, зростанню температури металу, кращій рідиннотекучості та менш в'язкому шлаку.

РОЗДІЛ 4. БУДОВА ВАГРАНКИ [1-6]

Вагранка — це шахтний плавильний пристрій, призначений для отримання рідкого чавуну (рис. 1).

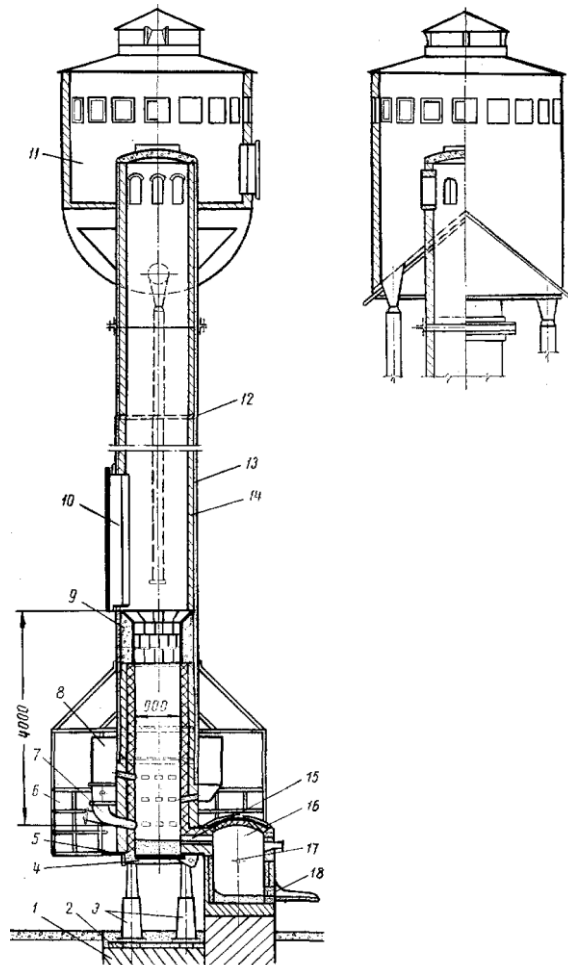


Рис. 1. Вагранка з накопичувачем:

1 – фундамент; 2 – фундаментна плита; 3 – колони; 4 – відкидне днище; 5 – подова плита; 6 – робоча площадка; 7 – фурмений рукав; 8 – повітряна коробка; 9 – захисні елементи колошника; 10 – завантажувальне вікно; 11 – іскрогасник; 12 – опорне кільце; 13 – засипка; 14 – футеровка; 15 – перехідна лютка; 16 – накопичувач; 17 – випускний отвір для шлаку; 18 – випускний отвір для чавуну

Конструктивною основою вагранки є вертикальний циліндричний корпус, створений зі сталевих листів товщиною від 8 до 12 мм, що базується на спеціальній подовій плиті. В середині кожух футерований вогнетривким матеріалом товщиною 250-300 мм. Подова плита встановлюється на чотирьох колонах. В центрі подової плити є круглий отвір для видалення залишків плівки. Отвір закрито двома напівкруглими дверцятами. Спеціальний затвор унеможливує відкривання дверцят. Іноді дверцята підпирають знизу

стойкою. В кожусі печі є отвори для завалочного вікна, робочого вікна, фурм, з'єднувальної льотки. Частина вагранки від завалочного вікна до подової плити називається шахтою, а вище завалочного вікна – трубою. Нижче завалочного вікна шахту викладають не вогнетривкими матеріалами, а чавунними пустотілими блоками, які добре протистоять ударам металу, який завалюється. Під набивний. Процес розпалювання вагранки здійснюється дровами, після чого робоче вікно герметично зачиняють дверцятами перед початком плавильного процесу..

Рідкий метал з накопичувача випускають через льотку по жолобу, шлак – через шлакову льотку. З'ємне склепіння полегшує умови ремонту печі.

Повітря спочатку надходить у фурменний пояс, а потім по патрубкам до фурм. Кисень, який знаходиться в спеціальних балонах, по трубах надходить до фурм, збагачуючи повітряне дуття. Шибери, встановлені на патрубках, дозволяють регулювати витрати повітря. На верхній частині димової труби, що виходить з пічної будівлі, встановлений іскрогасник, призначений для нейтралізації розпалених пиловидних частинок, що вилітають з вагранки.

Для футерування зони плавлення застосовують набивні вогнетривкі суміші. Найчастіше використовують композицію, що включає 90–95% кварцового піску, 5–10% графіту та 6–8% води (понад 100%). Використання такої технології для відновлення плавильного поясу суттєво зменшує трудовитрати та фінансові витрати на ремонт..

РОЗДІЛ 5. РОБОТА ВАГРАНКИ [2-6]

Процес розпалювання вагранки починається із завантаження коксу через завалочне вікно та підпалювання його дровами. Коксу завантажують стільки, щоб його рівень був вище на 500-700 мм осі нижнього ряду фурм. Отриманий стовп коксу називають холостою колошою. Щоб забезпечити випуск гарячого металу на початку роботи вагранки, при створенні холостої колоші застосовують кокс максимальних розмірів. Процес починається з розпалу вагранки дровами чи природним газом, після чого вмикається дуття і фурми закриваються. В цей час кокс починає інтенсивно горіти і холоста колоша в районі фурм розігрівається до температури 1400-1500 °С. Після продувки холостої колоші дуття припиняють, відкривають фурми і у вагранку при необхідності засипають кокс до отримання необхідної висоти холостої колоші. На підготовлену таким чином холосту колошу засипають спершу металеву частину робочої колоші, а потім засипають кокс. Далі вагранку по черзі завантажують то коксом, то металевою шихтою до завантажувального вікна. В кожну металеву колошу додають флюси (вапняк, основний мартенівський шлак, плавиковий шпат) для отримання необхідного хімічного складу ваграночного шлаку.

По закінченню завантаження вмикають дуттєвий вентилятор. З дуттям подається повітря збагачене киснем, яке надходить через фурми в холосту колошу. Починається інтенсивний процес горіння з виділенням великої кількості теплоти. Перша металева колоша, розпалювана розпаленим коксом починає плавитись. Краплі рідкого металу стікають по кускам і між ними до подини. Сюди ж стікають і утворювані шлаки, через з'єднувальну лютку метал і шлак надходять в копильник. Коли рівень шлаку дійде до необхідної висоти, відкривають шлакову лютку і шлак випускають із накопичувача, потім випускають металеву лютку.

До моменту розплавлення металевої колоші, рівень холостої колоші знижується. Для виходу із вагранки чавуну з постійною температурою і постійним хімічним складом висота робочої колоші повинна бути рівною

висоті, на яку зменшилась холоста колоша. Тоді кожна наступна металева колоша плавиться на одній і тій же висоті. Рух колош відбувається безперервно.

Для підтримання постійної висоти стовпа матеріалів в шахту завантажують метал, кокс і флюс. У вагранці гарячі газы, які виникають при горінні коксу, підіймаються, а матеріали опускаються. Внаслідок цього виникає інтенсивна теплопередача між газами і матеріалами, які завантажуються в піч. Металева колоша, опускаючись по шахті, поступово нагрівається до температури плавлення і плавиться. Гарячі газы під час руху вгору, зустрічаються із все більш холодними металевими колошами і охолоджуються. У вагранці витрачається коксу 10-15% від маси металозавалки.

Відповідно до правил безпеки, фурми вагранки необхідно негайно відкривати при кожній зупинці подачі повітря.

РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК РОЗМІРІВ ВАГРАНКИ [2-6]

Визначаємо діаметр вагранки декількома методами.

$$D = \sqrt{\frac{G_{\text{п}} \cdot L_{\alpha} \cdot K}{4,71 \cdot L'_{\alpha}}},$$

де $G_{\text{п}}$ – задана продуктивність вагранки, т/год;

L_{α} – кількість повітря, необхідна для спалювання 1 кг коксу. Ця величина визначається в межах 6,5...6,8 нм³/кг;

K – витрата коксу в робочих колошах, у відсотках до металозавалки;

L'_{α} – витрата повітря нм³/(см²хв)

$$D = \sqrt{\frac{20 \cdot 6,8 \cdot 11,5}{4,71 \cdot 122}} = 1,65 \text{ м};$$

$$2) D = \sqrt{\frac{4G_{\text{п}}}{\pi g_{\text{п}}}},$$

де $g_{\text{п}}$ – питома продуктивність вагранки.

$$g_{\text{п}} = 8,2 \text{ т/м}^2\text{год};$$

$$D = \sqrt{4 \cdot 20 / 3,14 \cdot 8,2} = 1,76 \text{ м}.$$

На практиці застосовується формула:

$$D = 1,1 \sqrt{G_{\text{п}} / g_{\text{п}}};$$

$$D = 1,1 \sqrt{20 / 8,2} = 1,72 \text{ м}.$$

Одержані результати близькі за значенням.

Приймаємо $D = 1,76 \text{ м}$.

Визначаємо корисну висоту вагранки (відстань між віссю нижнього основного ряду фурм і порогом завалочного вікна)

$$H_{\text{кор}} = (4...6)D = 4 \cdot 1,76 = 7,04.$$

Повна висота вагранки

$$H = H_{\text{кор}} + H_{\text{ф}} + H_{\text{под}},$$

де H_{ϕ} – відстань від поду до нижнього ряду фурм. Для вагранок з накопичувачем $H_{\phi} = 150 \dots 300$ мм. Приймаємо $H_{\phi} = 300$ мм; $H_{\text{под}}$ – товщина набивного поду, $H_{\text{под}} = 150 \dots 200$ мм, приймаємо $H_{\text{под}} = 200$ мм

$$H = 7,04 + 0,3 + 0,2 = 7,54 \text{ м.}$$

Визначаємо число фурм, яке залежить від внутрішнього діаметра вагранки [м/м]

$$K_{\phi} = 8.$$

Визначаємо площу внутрішнього перерізу вагранки:

$$F_{\text{в}} = \pi D^2 / 4 = 3,14 \cdot 1,76^2 / 4 = 2,44 \text{ м}^2.$$

Визначаємо висоту накопичувача:

$$H_{\text{м}} = \frac{4G_{\text{п}} \cdot 10^3}{\pi \rho_{\text{ш}} D^2} + b,$$

де $\rho_{\text{ш}}$ – щільність рідкого металу (~ 7000 кг/м³);

b – мінімальна відстань від найвищого рівня металу до вісі шлакової льотки ($b = (0,05 \dots 0,1)$ м). Приймаємо $b = 0,1$ м

$$H_{\text{м}} = \frac{4 \cdot 20 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 7000 \cdot 1,76^2} + 0,1 = 1,28 \text{ м;}$$

Визначаємо діаметр чавунної льотки. Діаметр чавунної льотки залежить від продуктивності вагранки

$$d_{\text{ч}} = 35 \text{ мм.}$$

Діаметр шлакової льотки $d_{\text{ш}} = 30 \dots 50$ мм. Приймаємо $d_{\text{ш}} = 40$ мм.

Відстань від вісі шлакової льотки до нижнього краю перехідної льотки визначається за формулою:

$$S \approx 1/3 H_{\text{м}} = 0,34 \cdot 1,28 = 0,44 \text{ м.}$$

РОЗДІЛ 7. РОЗРАЗУНОК ГОРІННЯ ПАЛИВА [2-6]

7.1. Кількість повітря

Хімічний склад ливарного коксу

Хімічний склад, % за масою							
C ^p	H ^p	O ^p	N ^p	S ^p	A ^p	W ^p	Σ
85	1,0	1,0	1,0	1,0	9,0	2,0	100,0

Визначаємо витрати кисню

$$v_{O_2} = 0,01[1,867C^p + 0,7(S^p - O^p) + 5,6H^p],$$

де C^p, S^p, O^p, N^p – вміст відповідного компонента палива у відсотках за масою.

$$v_{O_2} = 0,01[1,867 \cdot 85 + 0,7(1 - 1) + 5,6 \cdot 1] = 1,64 \text{ нм}^3/\text{кг}.$$

Визначаємо витрату сухого повітря:

$$L_0^c = (1 + K)v_{O_2};$$

де K – відношення вмісту азоту у повітрі до вмісту у ньому кисню (для звичайного повітря K = 3,00). N₂ = 75%; O₂ = 25%; K = 75/25 = 3,00

$$L_0^c = (1 + 3,00) \cdot 1,64 = 6,56 \text{ нм}^3/\text{кг}.$$

Визначаємо теоретичну витрату вологого повітря

$$L_0^b = L_0^c(1 + 0,00124 \cdot g),$$

де g – вологість повітря (величина g змінюється в межах 10...30 г(нм³)).

Приймаємо g = 20г H₂O/(нм³ с.п.)

$$L_0^b = 6,56(1 + 0,00124 \cdot 20) = 6,723 \text{ нм}^3/\text{кг}.$$

Визначаємо дійсну витрату вологого повітря

$$L_d = \alpha \cdot L_0^b,$$

де α – коефіцієнт надлишку повітря, який показує у скільки разів фактична витрата повітря більша за теоретичну.

З метою уникнення хімічного недопалу α приймається більше одиниці.

Приймаємо α = 1,05 [2]

$$L_d = 1,05 \cdot 6,723 = 7,06 \text{ нм}^3/\text{кг}.$$

7.2. Вихід і хімічний склад продуктів горіння

Розраховуємо спочатку вихід продуктів згорання V_0 при $\alpha = 0,8$.

$$V_0 = \underbrace{0,01[(1,867C^p + 0,7S^p)]}_{\text{RO}_2} + \underbrace{11,2H^p + 1,244(W^p + W_\phi)}_{\text{H}_2\text{O}} + \\ + \underbrace{0,12449(1+K)v_{\text{O}_2}}_{\text{H}_2\text{O}} + \underbrace{0,8N}_{\text{N}_2} + Kv_{\text{O}_2},$$

де W_ϕ – витрата водяної пари на розпилювання мазуту, $W_\phi = 0$;

K_{O_2} – сума $\text{CO}_2 + \text{SO}_2$ у продуктах згорання

$$V_0 = \underbrace{0,01[(1,867 \cdot 85 + 0,7 \cdot 1,0)]}_{\text{RO}_2} + \underbrace{11,2 \cdot 1,0 + 1,244(2,0 + 0)}_{\text{H}_2\text{O}} + \\ + \underbrace{0,12449 \cdot 20(1 + 3,00) \cdot 1,64}_{\text{H}_2\text{O}} + \underbrace{0,8 \cdot 1,0}_{\text{N}_2} + 3,00 \cdot 1,64 = \\ = \underbrace{1,5939}_{\text{RO}_2} + \underbrace{0,3001}_{\text{H}_2\text{O}} + \underbrace{4,928}_{\text{N}_2} = 6,8221 \text{ нм}^3/\text{кг}.$$

Знайшовши V_0 , приступаємо до розрахунку виходу продуктів згорання палива для фактичного значення α .

$$V_\alpha = V_0 + \underbrace{0,001244g(\alpha - 1)(1 + K)v_{\text{O}_2}}_{\text{H}_2\text{O}} + \underbrace{(\alpha - 1)Kv_{\text{O}_2}}_{\text{N}_2} + \underbrace{(\alpha - 1)v_{\text{O}_2}}_{\text{O}_2} = \\ = 6,8221 + \underbrace{0,001244 \cdot 20(1,05 - 1)(1 + 3,00) \cdot 1,64}_{\text{H}_2\text{O}'} + \underbrace{(1,05 - 1) \cdot 3,00 \cdot 1,64}_{\text{N}_2'} + \\ + \underbrace{(1,05 - 1) \cdot 1,64}_{\text{O}_2} = 6,8221 + \underbrace{0,0081}_{\text{H}_2\text{O}'} + \underbrace{0,246}_{\text{N}_2'} + \underbrace{0,082}_{\text{O}_2} = 7,1582 \text{ нм}^3/\text{кг}.$$

Хімічний склад продуктів згорання, об'ємні відсотки:

$$\text{RO}_2 = (\text{RO}_2/V_\alpha) \cdot 100 = (1,5939/7,1582) \cdot 100 = 22,2668\%$$

$$\text{H}_2\text{O} = [(\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}')/V_\alpha] \cdot 100 = [(0,3002 + 0,0081)/7,1582] \cdot 100 = 4,3070\%$$

$$\text{N}_2 = [(\text{N}_2 + \text{N}_2')/V_\alpha] \cdot 100 = [(4,928 + 0,246)/7,1582] \cdot 100 = 72,2807\%$$

$$\text{O}_2 = (\text{O}_2/V_\alpha) \cdot 100 = (0,082/7,1582) \cdot 100 = 1,1455\%$$

$\Sigma =$

100,00%

7.3. Температура горіння

Розраховуємо теплотворність палива

$$\begin{aligned} Q_H^p &= 339C^p + 1256H^p + 109(S^p - O^p) - 25(9H^p + W^p) = \\ &= 339 \cdot 85 + 1256 \cdot 1,0 + 109(1,0 - 1,0) - 25(9 \cdot 1,0 + 2,0) = 29796 \text{ кДж/кг}. \end{aligned}$$

Визначаємо калориметричну температуру горіння

$$t_k = (Q_H^p + Q_{\text{ф.пов}}) / V_0 c_d,$$

де c_d – теплоємність продуктів згорання, яка залежить від температури.

При температурі дуття 20°C (за вихідними даними) $c = 1,54 \text{ кДж}/(\text{нм}^3\text{К})$

$$t_k = (29796 + 241) / (6,8221 \cdot 1,54) = 2859^\circ\text{C}.$$

Визначаємо теоретичну температуру горіння палива

$$t_r = (Q_H^p + Q_{\text{ф.п.}} + Q_{\text{ф.пов.}} - Q_{\text{дис.}} - Q_{\text{х.н.}}) / V_\alpha c_d,$$

де $Q_{\text{ф.п.}}$ і $Q_{\text{ф.пов.}}$ – фізична теплота попередньо підігрітого палива, повітря; $Q_{\text{дис.}}$ – витрати теплоти внаслідок дисоціації H_2O , CO_2 і SiO_2 продуктів згорання; $Q_{\text{х.н.}}$ – витрати теплоти через хімічний недопал.

При $Q_{\text{ф.п.}} = Q_{\text{дис.}} = Q_{\text{х.н.}} = 0$

$$t_r = (Q_H^p + Q_{\text{ф.пов.}}) / V_\alpha c_d = (29796 + 241) / (7,1582 \cdot 1,54) = 2724^\circ\text{C}.$$

Визначаємо дійсну температуру горіння

$$t_d = (Q_H^p + Q_{\text{ф.п.}} + Q_{\text{ф.пов.}} - Q_{\text{дис.}} - Q_{\text{х.н.}} - Q_{\text{втр}}) / V_\alpha c_d,$$

де $Q_{\text{втр}}$ – втрати теплоти в навколишнє середовище. Величина $Q_{\text{втр}}$ становить 10...30 % від Q_H^p .

Приймаємо $Q_{\text{втр}} = 20\% \cdot 29796 = 5959,2 \text{ кДж/кг}$

$$t_d = (29796 + 241 - 5959,2) / (7,1582 \cdot 1,54) = 2184^\circ\text{C}.$$

РОЗДІЛ 8. МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС [2-6]

Розрахунок матеріального балансу проводимо на 100 кг металозавалки.

Прибуток:

1) металозавалка – 100 кг;

2) кокс, прийнявши $L'_\alpha = 122 \text{ н м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{хв})$ і $t = 1430^\circ \text{C}$, по номограмі

знаходимо

$K = 13\%$, тобто, витрата коксу $m_k = 13 \text{ кг}/(100 \text{ кг металозавалки})$;

3) вапняк – витрату вапняку приймаємо $m_b = 3,0 \text{ кг}/(100 \text{ кг м/з})$;

4) повітря – витрату повітря знаходимо за формулою

$$m_\pi = 6 L'_a F_b \rho_\pi / \Pi,$$

де F_b – площа поперечного перерізу вагранки, яка для 20-тонної вагранки становить $2,44 \text{ м}^2$; ρ_π – густина повітря, яку приймаємо $1,29 \text{ кг}/\text{м}^3$; Π – продуктивність вагранки $20 \text{ т}/\text{Г}$.

Маємо

$$m_\pi = 6 \cdot 122 \cdot 2,44 \cdot 1,29 / 20 = 112,9 \text{ кг}/(100 \text{ кг м/з}).$$

5) футеровка – згідно з виробничими даними приймаємо витрату футеровки

$$m_\phi = 0,74 \text{ кг}/(100 \text{ кг м/з}).$$

Видаток

1) чавун – кількість чавуну на виході із вагранки дорівнює масі металозавалки мінус угар кремнію m_{Si} , угар (пригар) вуглецю $\pm m_C$, а також мінус кількість неметалевих включень у металозавалці $m_{\text{н.в.}}$.

Приймаємо вміст у готовому чавуні $[\text{Si}] = 2,6\%$, $[\text{Mn}] = 1,0\%$. Крім того, приймаємо угари $U_{\text{Si}} = 20\%$, $U_{\text{Mn}} = 30\%$, $U_C = 0\%$. Далі на підставі заводських даних приймаємо $m_{\text{Fe}} = 0,4 \text{ кг}/(100 \text{ кг м/з})$, $m_{\text{м.з.}} = 0,2 \text{ кг}/(100 \text{ кг м/з})$.

Розраховуємо кількість окислених кремнію і марганцю, а також кількості рідкого чавуну:

$$m_{\text{Si}} = 2,6 \cdot 20 / (100 - 20) = 0,65 \text{ кг}/(100 \text{ кг м/з});$$

$$m_{Mn} = 1,0 \cdot 30 / (100 - 30) = 0,43;$$

$$m_{\text{ч}} = 100 - 0,65 - 0,43 - 0,4 - 0,2 = 98,32.$$

2) шлак – визначаємо кількість шлаку, враховуючи всі статті надходження до нього:

$$m_{\text{ш}} = m_{\text{шSi}} + m_{\text{шMn}} + m_{\text{шFe}} + m_{\text{шн.в.}} + m_{\text{шв}} + m_{\text{шф}} + m_{\text{шк}},$$

де окремі доданки правої частини є надходженням у шлак за рахунок: окислення кремнію, марганцю, заліза неметалевих домішок металозавалки, вапняку, футеровки, коксу.

Прийнявши, що вапняк складається із карбонату кальцію і, що вміст золи у коксі становить 12,5%, маємо:

$$m_{\text{ш}} = 0,65 \cdot 60 / 28 + 0,43 \cdot 71 / 55 + 0,4 \cdot 72 / 56 + 0,2 + 3 \cdot 56 / 100 + \\ + 0,74 + 11,5 \cdot 12,5 / 100 = 6,5 \text{ кг}/(100 \text{ кг м/з}).$$

3) відхідні гази – кількість газів розраховуємо як суму кількості повітря, коксу (за мінусом золи), CO₂ із вапняку мінус кисень, який пішов на окислення кремнію, марганцю, заліза:

$$m_{\text{г}} = 112,9 + 11,5 \cdot 87,5 / 100 + 3 \cdot 44 / 100 - 0,65 \cdot 32 / 28 - 0,43 \cdot 16 / 55 - \\ - 0,4 \cdot 16 / 56 = 123,32 \text{ кг}/(100 \text{ кг м/з}).$$

Складаємо таблицю матеріального балансу (табл. 8.1)

Таблиця 8.1

Матеріальний баланс плавки чавуну у вагранці продуктивністю 20 т/год

№ статт і	Статті прибутку	Кг/(100 кг м/з)	№ статті	Статті видатку	Кг/(100 кг м/з)
1	Металозавалка	100,00	1	Чавун	98,32
2	Кокс	11,50	2	Шлак	6,5
3	Вапняк	3,00	3	Відхідні гази	123,32
4	Повітря	112,9		Всього	228,14
5	Футеровка	0,74			
	Всього	228,14			

РОЗДІЛ 9. ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС [2-6]

Теплова робота вагранки оцінюється через тепловий баланс, що складається з надходження та витрати теплоти.

Залежно від типу печі (безперервна чи періодична), баланс складають на секунду часу або на окремий робочий період.

Розглянемо тепловий баланс вагранки.

$$Q_{x.p.} + Q_{ф.п.} + Q_{ф.пов.} + Q_{екз} = Q_{ч} + Q_{ш} + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_{5,кл} + Q_{5,ох.} + Q_{5,виб} + Q_{5,випр} + Q_{5,обл} + Q_6 \pm \Delta Q.$$

Прибуткова частина складається із статей, де $Q_{x.p.}$ – теплота згорання коксу; $Q_{ф.п.}$ – фізична теплота, яка вноситься підігрітим паливом; $Q_{ф.пов.}$ – фізична теплота, яка вноситься підігрітим повітрям; $Q_{екз}$ – теплота екзотермічних реакцій окислення домішок металу.

Видаткова частина складається із статей: $Q_{ч}$ – теплота чавуну; $Q_{ш}$ – теплота шлаку; Q_2, Q_3 – фізична і хімічна теплота відхідних газів; Q_4 – втрати теплоти внаслідок фізичного недопалу палива; $Q_{5,кл}$ – втрати теплоти теплопровідністю через кладку; $Q_{5,охол}$ – втрати теплоти на охолодження; $Q_{5,виб}$ – втрати теплоти на вибивання; $Q_{5,випр}$ – втрати теплоти випромінюванням через відкриті вікна і отвори; $Q_{5,обл}$ – втрати теплоти на нагрівання допоміжного обладнання; Q_6 – втрати теплоти на акумуляцію її кладкою; ΔQ – відхил теплового балансу (складається тільки при складанні теплового балансу діючих печей).

Прибуток теплоти. Приймаємо такий хімічний склад коксу, % за масою:

C ^p	H ^p	O ^p	N ^p	S ^p	A ^p	W ^p	Σ
85	1,0	1,0	1,0	1,0	9,0	2,0	100,0

Теплотворність коксу визначаємо за формулою:

$$Q_H^p = 339C^p + 1256H^p + 109(S^p - O^p) - 25(9H^p + W^p) =$$

$$= 339 \cdot 85 + 1256 \cdot 1,0 + 109(1,0 - 1,0) - 25(9 \cdot 1,0 + 2,0) = 29796 \text{ кДж/кг.}$$

Хімічна теплота коксу

$$Q_{\text{х.п.}} = Q_{\text{н}}^{\text{p}} \cdot B, \text{ кВт,}$$

де $Q_{\text{н}}^{\text{p}}$ – нижча теплотворність палива;

B – витрата палива, кг/с.

$$Q_{\text{х.п.}} = 29796 B, \text{ кВт.}$$

Оскільки кокс, а також інші шихтові матеріали спеціально не підігріваються, $Q_{\text{ф.п.}} = 0$.

Фізична теплота повітря, якщо прийняти $t_{\text{пов}} = 20^{\circ} \text{C}$ (згідно з заданими параметрами)

$$Q_{\text{ф.пов}} = (112,9/1,29) \cdot 2,44 \cdot 20 \cdot (20000/100)/(0,9832 \cdot 3600) = 241 \text{ кВт.}$$

Знаходимо теплоту екзотермічних реакцій окислення домішок чавуну, а також заліза, прийнявши теплові ефекти реакцій окислення кремнію, марганцю і заліза, відповідно $\Delta H_{\text{Si}} = 31430$, $\Delta H_{\text{Mn}} = 7000$ і $\Delta H_{\text{Fe}} = 4810$ кДж/кг.

Прибуток теплоти від екзотермічних реакцій визначається за формулою:

$$Q_{\text{екз}} = \sum m_i (-\Delta H_i),$$

де m_i – маса окислювального елемента, кг/с (визначається шляхом складання матеріального балансу процесу в печі); ΔH_i – ентальпія окислення i -го елемента, кДж/кг (знаходиться за допомогою термодинамічних таблиць)

$$Q_{\text{екз}} = (31430 \cdot 0,65 + 7000 \cdot 0,43 + 4810 \cdot 0,4) \cdot 20000/3600 \cdot 0,9832 \cdot 100 = 1433 \text{ кВт.}$$

Видаток теплоти. Теплота чавуну і шлаку на виході із вагранки при тепловмісті їх відповідно, $i_{\text{ч}} = 0,88t_{\text{ч}} + 105$; $i_{\text{ш}} = 1,46t_{\text{ш}} + 209$ кДж/кг і температурі шлаку на 50° більшою за температуру металу:

$$Q_{\text{ч}} = (0,88 \cdot 1400 + 105) \cdot 20000/3600 = 10312 \text{ кВт;}$$

$$Q_{\text{ш}} = 0,0671 \cdot (1,46 \cdot 1450 + 209) \cdot 20000/(0,9832 \cdot 3600) = 881 \text{ кВт.}$$

Фізична теплота відхідних газів при $t_r = 900^0\text{C}$ і $\text{CO} = 10\%$

$$Q_2 = V_{\alpha, \text{пр.г.}}^{\text{нм}^3/\text{нм}^3} \cdot c_d t_d,$$

де $V_{\alpha, \text{пр.г.}}$ – об'єм вологих продуктів горіння при коефіцієнті залишку повітря α на одиницю палива з урахуванням вибиття газів та підсосу повітря через вікно і нещільність вагранки, $\text{нм}^3/\text{нм}^3$.

$$Q_2 = 123,31/1,29 \cdot 1,5 \cdot 900 \cdot 20000 / (3600 \cdot 0,9832 \cdot 100) = 7291 \text{ кВт.}$$

Хімічна теплота відхідних газів при $t_r = 900^0\text{C}$ і $\text{CO} = 10\%$

$$Q_3 = B \cdot V_{\alpha}^{\text{вл.д.}} \frac{304500}{100},$$

де $V_{\alpha}^{\text{вл.д.}}$ – об'єм горіння за одиницю палива

$$Q_3 = 123,31/1,29 \cdot 0,10 \cdot 12750 \cdot 20000 / (3600 \cdot 0,9832 \cdot 100) = 6886 \text{ кВт.}$$

Втратами теплоти внаслідок фізичного недопалу палива нехтуємо:

$$Q_4 = 0.$$

Втрати теплоти теплопровідністю через подину знаходимо для таких умов: зовнішній діаметр вагранки $D_{\text{зовн}} = 2,28$ м, корисна висота робочого простору $H = 7,04$ м; температура кожуха $t_k = 100^0\text{C}$; температура повітря $t_n = 20^0\text{C}$, ефективний коефіцієнт тепловіддачі від кожуха до навколишнього повітря $\alpha = 15 \cdot 10^{-3}$ кВт/($\text{м}^2\text{K}$). Маємо:

$$Q_{5\text{кл}} = \alpha(t_k - t_n) \cdot F = 15 \cdot 10^3 (100 - 20) \cdot \Pi \cdot 2,28(7,8 + 2,28/4) = 458 \text{ кВт.}$$

Втрати теплоти з охолоджуючою водою знаходимо з умови, що вони становлять 5 % від хімічної теплоти палива:

$$Q_{5\text{охол}} = 0,05 \cdot 29796 = 1489,8 \text{ кВт.}$$

Всі інші статті втрат серії Q_5 , а також статті Q_6 і ΔQ відсутні:

$$Q_{5,\text{випр}} = Q_{5,\text{виб}} = Q_{5,\text{обл}} = Q_6 = \Delta Q = 0.$$

Підставляємо знайдені значення статей прибутку і видатку теплоти у рівняння теплового балансу:

$$29796B + 241 + 1433 = 10312 + 881 + 7291 + 6886 + 458 + 1489,8B;$$

$$28306,2B = 24156; B = 0,8533 \text{ кг/с.}$$

Витрата металозавалки за секунду

$$P' = 20000 / (3600 \cdot 0,9832) = 7,0631 \text{ кг/с.}$$

Відносна витрата коксу $K = 0,6038 \cdot 100 / 7,0631 = 8,54\%$

Результати розрахунку зводимо у таблицю 9.1.

Таблиця 9.1

Тепловий баланс вагранки продуктивністю 20 т/год

№ п/п	Прибуток теплоти	кВт	%	№ п/п	Видаток теплоти	кВт	%%
1	$Q_{\text{х.п.}}$	25425	93,82	1	$Q_{\text{чав}}$	10312	38,05
2	$Q_{\text{ф.пов.}}$	241	0,90	2	$Q_{\text{шл}}$	881	3,25
3	$Q_{\text{екз}}$	1433	5,28	3	Q_2	7291	26,90
	Всього	27099	100,0	4	Q_3	6886	25,41
				5	$Q_{5,\text{кл}}$	458	1,69
				6	$Q_{5,\text{охол}}$	1271	4,70
					Всього	27099	100,0

Коефіцієнт корисної дії вагранки

$$\eta = (10312 + 881) \cdot 100 / 25425 = 44,02\%.$$

ВИСНОВКИ

В даній кваліфікаційній роботі розраховано і спроектовано кисневу вагранку продуктивністю 20 т/год.

У роботі проаналізовано будову та функціонування вагранки, виконано розрахунки її ключових параметрів, процесів спалювання палива, а також складено матеріальний і тепловий баланси.

Обґрунтовано, що збагачення дуття киснем позитивно позначається на технічних та економічних характеристиках плавлення, суттєво покращуючи металургійні показники

ЛІТЕРАТУРА

1. Кропівний В.М., Кузик О.В., Босий М.В., Молокост Л.А. Технологія основних виробництв: навч. посіб. для студентів денної та заочної форм навчання. Кропивницький: Видавництво ТОВ «КОД», 2021. 196 с.
2. Сабірзянов Т.Г. Печі ливарних цехів: навч. посіб. для студ. вищих навчальних закладів. Кіровоград: КНТУ, 2007. 280 с.
3. Павленко Т.П., Петренко О.М., Лукашова Н.П. Електротехнологічні установки: Конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. 130 с.
4. Верховлюк А.М., Нарівський А.В., Могилатенко В.Г. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва: навч. посіб./ За ред. академіка НАН України Найдека В.Л. Київ: Видавничий дім “Вініченко”, 2016. 224 с.
5. Методичні вказівки для самостійної роботи з дисципліни «Виробництво виливків із кольорових металів» Печі для плавлення кольорових сплавів для студентів напряму ”Ливарне виробництво”. [укл.: Сігарьов М.К., Стороженко С.А.]. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2014. 30с.
6. Турич В.В., Руткевич В.С. Матеріалознавство: навч. посіб. Вінниця: РВВ ВНАУ, 2012. 100с.

ДОДАТКИ