

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:
“Проектування і розрахунок кисневої вагранки
продуктивністю 15 т/год.”

Виконав здобувач вищої освіти
IV курсу, групи ПМ-22-1
спеціальності 131
«Прикладна механіка»
_____ Олексій ІГНАТ
« ____ » _____ 20 ____ р.

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

Рецензент
канд. техн. наук, доцент
_____ Любова ОЛІЙНИЧЕНКО
« ____ » _____ 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 МЛВ

канд. техн. наук, доцент

_____ Олександр КУЗИК

«_____» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ПЕРШИМ (БАКАЛАВРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ
Ігната Олексія Андрійовича**

1. Тема роботи: Проектування і розрахунок кисневої вагранки продуктивністю 15 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 розміри проектного обладнання. Визначити матеріальний і тепловий баланси вагранки.

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, та характеристик, матеріальний та тепловий баланси проекто-		

	ваного обладнання		
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

_____ Олексій ІГНАТ

АНОТАЦІЯ

Ігнат О.А. " Проектування і розрахунок кисневої вагранки продуктивністю 15 т/год.", спеціальність 131 «Прикладна механіка», ОПП – «Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D друк», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2026. 58 с. Матеріали ілюстрації 2 іл.

Метою даної бакалаврської кваліфікаційної роботи є вивчення конструкції роботи кисневої вагранки та розрахунок основних розмірів проєктованого плавильного агрегату. Необхідно визначити матеріальний та тепловий баланси кисневої вагранки продуктивністю 15 т/год.

Проєктування кисневої вагранки передбачає визначення її ключових геометричних параметрів, а також обчислення матеріального та теплового балансів.

Графічна частина містить загальний вигляд спроектованої кисневої вагранки з позначенням ключових розмірів та описом процесу плавлення металу.

Киснева вагранка, дуття киснем, фурми, матеріальний баланс, тепловий баланс.

ABSTRACT

Ignat O.A. "Design and calculation of an oxygen cupola with a capacity of 15 t/h.", specialty 131 "Applied Mechanics", OPP – "Computer Engineering Technologies, Robotics and 3D Printing", Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2026. 58 p. Illustration materials 2 ill.

The purpose of this bachelor's qualification work is to study the design of the oxygen cupola furnace, and calculate the main dimensions of the designed melting unit. It is necessary to determine the material and heat balances of an oxygen cupola furnace with a productivity of 15 t/h.

The design of an oxygen cupola furnace involves determining its key geometric parameters, as well as calculating the material and heat balances.

The graphic part contains a general view of the designed oxygen furnace with a designation of key dimensions and a description of the metal melting process.

Oxygen cupola, oxygen blowing, lances, material balance, heat balance.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. Відомості про плавильні агрегати, вагранку	10
1.1. Конструкція сучасної вагранки	12
1.1.1. Фундамент.....	13
1.1.2. Колони вагранок.....	14
1.1.3. Подова плита	14
1.1.4. Відкидне днище	15
1.1.5. Робоча площадка.....	15
1.1.6. Кожух вагранки	15
1.1.7. Футеровка вагранки	16
1.1.8. Фурмений пояс	17
1.1.9. Накопичувач	18
1.1.10. Іскрогасник	19
РОЗДІЛ 2. Спеціальні конструкції вагранок	21
2.1. Вагранки з водяним охолодженням	21
2.2. Вагранки із застосуванням кисню	22
2.3. Вагранки з підігрівом дуття	24
РОЗДІЛ 3. Розрахунок вагранки	29
3.1. Основні розміри вагранки	29
3.1.1. Діаметр вагранки.....	29
3.1.2. Висота вагранки	30
3.1.3. Розміри і розташування фурм.....	31
3.1.4. Розміри накопичувача.....	33
3.1.5. Розміри димаря і іскрогасника.....	34
3.2. Розрахунок горіння коксу у вагранці	35
3.3. Матеріальний баланс ваграночної плавки.....	47
3.4. Тепловий баланс ваграночної плавки	49

ВИСНОВКИ.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	53
ДОДАТКИ.....	54
Додаток 1. Загальний вид кисневої вагранки.....	55
Додаток 2. Подача гострого кисневого дуття у вагранку	56

ВСТУП

Сучасні машинобудівні заводи для виплавки металів та сплавів найчастіше використовують вагранки, індукційні тигельні установки, а також дугові та опоріві електричні печі. Для сталеливарного виробництва особливе місце посідають бесемерівські конвертери.

Методами лиття виготовляються фасонні деталі або заготовки шляхом заливання розплавленого металу в форми, що мають конфігурацію деталі. Внаслідок кристалізації, охолодження та застигання розплаву у ливарній формі формується виливок, який згодом проходить механічну обробку. У машинобудуванні та промисловому устаткуванні біля 50% всіх деталей виготовляється за допомогою способів лиття. Литтям виготовляють відповідальні деталі двигунів внутрішнього згорання (блоки циліндрів, поршні), робочі колеса насосів, станини станків і т.п.

Хоча плавильні печі відомі людству вже кілька тисячоліть, однак наука про печі взагалі і про печі лиття зокрема зародилася і почала розвиватися наприкінці XIX і початку XX століть, коли спостерігався швидкий розвиток промисловості в економічно розвинених країнах світу [1-3].

Наука про печі базується на комплексі знань із фундаментальних дисциплін, серед яких ключове місце займають фізика, хімія, термодинаміка, гідравліка, математичний аналіз та теорія теплопередачі.

Реально при розгляді процесів нагрівання металу в плавильних агрегатах враховуються закони передачі теплоти – теплопровідністю, конвекцією, а також випромінюванням, та розглядається рух газів в пічному просторі плавильних агрегатів і взаємодія газів з рідким металом [2,3].

Процес теплообміну, при плавці металу та сплаву в плавильних печах здійснюється так, що при горінні палива відповідно хімічна енергія перетворюється в теплову, а електрична енергія в теплову енергію; здійснюється також рух газів в робочому просторі плавильних агрегатів [2].

Плавильні печі класифікуються за різними ознаками.

В залежності від джерела теплоти печі поділяють на:

- окислення домішок металу (конвертори малого бесемерування);
- горіння палива (всі паливні печі);
- електричний струм (дугові печі, індукційні печі, печі опору).

За видом металу, що плавиться, печі поділяють на:

- сталеплавильні печі;
- печі для плавки чавуну;
- печі для плавки кольорових металів і сплавів.

До паливних чавуноплавильних печей відносяться вагранки та подові полум'яні печі.

При проектуванні плавильних агрегатів ключовим етапом є розрахунок матеріально-теплових балансів. Ці дані є базою для кількісного аналізу внутрішніх процесів, що дозволяє оптимізувати роботу обладнання та проводити точніші розрахунки для його вдосконалення [2,3].

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ПЛАВИЛЬНІ АГРЕГАТИ, ВАГРАНКУ

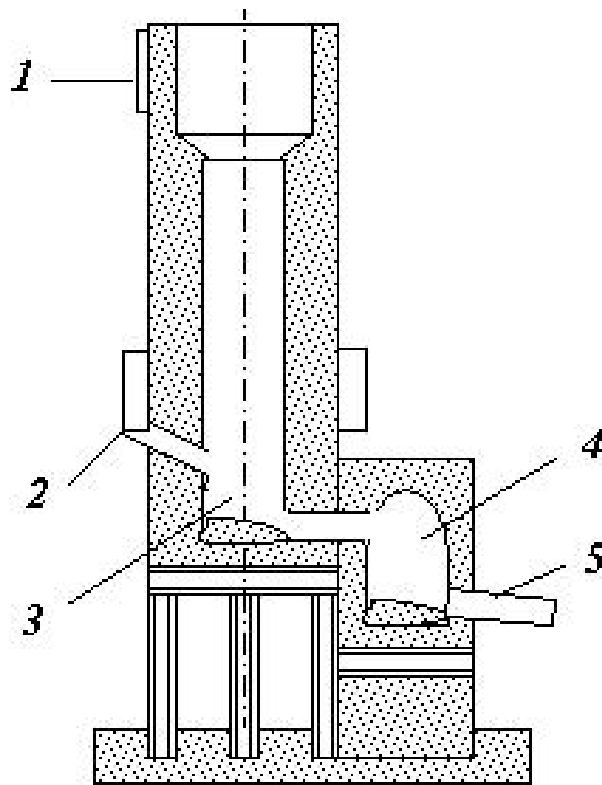
Вагранка являє собою піч, призначену для переплавки чавуну. До її переваг відносяться висока продуктивність при компактних розмірах та мінімальні потреби в обслуговуючому персоналі, а сучасні системи дозволяють повністю автоматизувати керування процесом. Конструктивно вагранки досить прості, проте вони постійно модернізуються та вдосконалюються з плином часу [1-4].

Фундаментом для створення новітніх вагранок слугувала похила піч, що поєднувала тигельну конструкцію з принципами шахтного агрегату. Технологічний процес передбачав розплавлення шихти, після чого видалялася глиняна заглушка, і метал повністю зливався з печі. Пізніші моделі — поворотні шахтні печі — вже виготовлялися у циліндричній формі [2].

Наступним етапом вдосконалення конструкції стало переведення шахтної печі у фіксоване положення на основі з додаванням кількох фурм для подачі повітря. Спочатку у вагранку подавалося дуття високого тиску від повітродувок доменних печей. Після того, як замість дуття високого тиску, яке подавалося через одну-дві фурми малого перетину, почали застосовувати дуття низького тиску і збільшили число фурм, з'явилася можливість відкривати і закривати льотку під час роботи вагранки і працювати на ній вже більш тривалий час [2,3].

Одночасно була знижена витрата палива, завантаження шихти у вагранку здійснювалося зверху через відкритий колошник у доменних печах. Для уловлювання продуктів згорання та іскор, що вилітали з вагранки, над нею встановлювали витяжний зонт у вигляді купола. У XIX столітті вагранка вже була піднята над фундаментом на колонах і до неї прибудований передній горн або накопичувач для чавуну (рис.1.1).

Чисельних змін зазнала конструкція фурм вагранок. Будувалися вагранки з одним і декількома рядами фурм. Пропонувалися конструкції вагранок, в яких замість окремих фурм передбачалася суцільна щілина по всьому колу вагранки, а також з фурмами, розташованими майже по всій висоті шахти вагранки.



- 1- колошниковий отвір
- 2- фурми
- 3- горн
- 4- накопичувач
- 5- лютка

Рис. 1.1 Загальний вид вагранки шахтного типу

1.1. Конструкція сучасної вагранки

Сучасні вагранки зазвичай мають круглу форму та можуть комплектуватися копірником (накопичувачем) або працювати без нього. Доцільність використання накопичувача визначається індивідуально, виходячи з конкретних експлуатаційних вимог. У ливарних цехах із масовим випуском дрібних та середніх деталей, де застосовується безперервне заливання форм, переважно використовують вагранки без накопичувальних пристроїв. (рис.1.2).

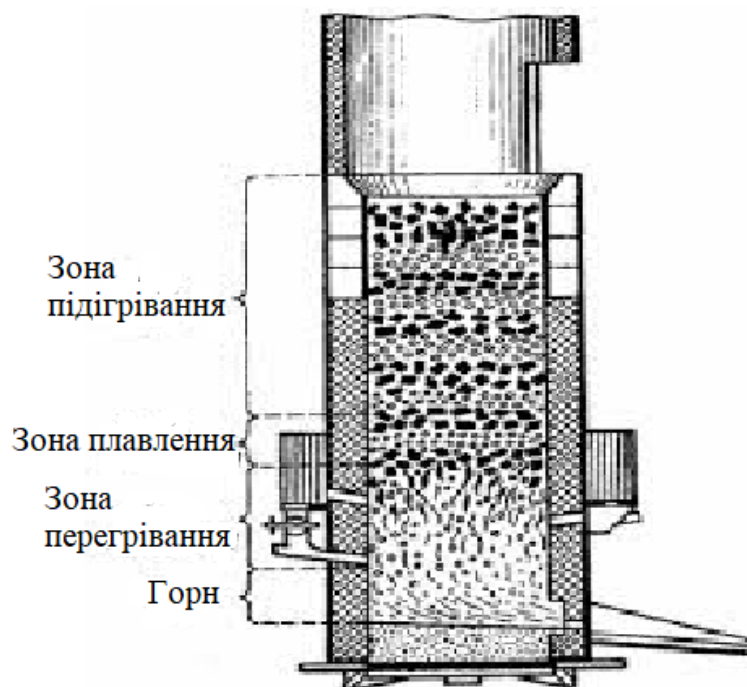
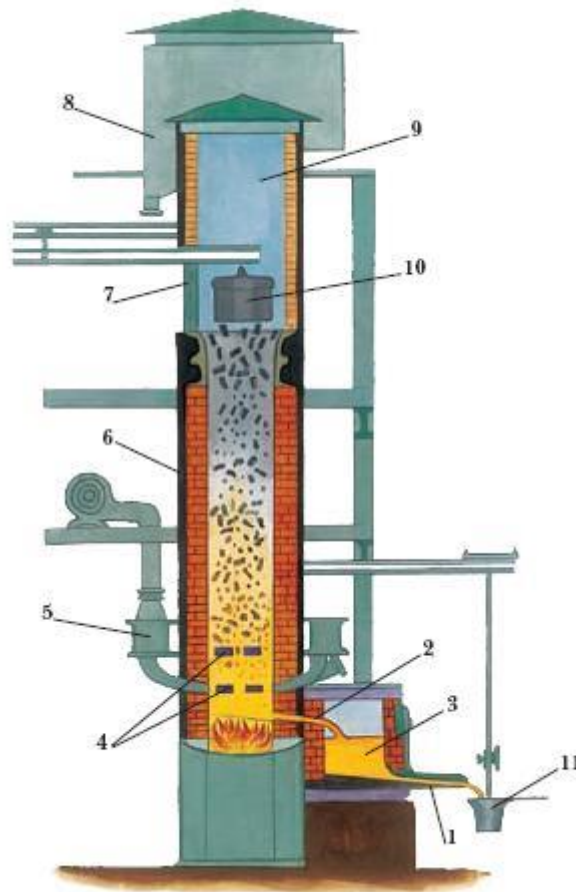


Рис 1.2. Вагранка шахтного типу

Як приклад вагранки сучасної конструкції, розглянемо вагранку продуктивністю 5 т/год. з ряду нормалізованих вагранок, конструкція яких наведена на (рис. 1.3.). Вагранки цієї конструкції рекомендовані до впровадження в ливарному виробництві. Основні частини вагранки – горн (нижня частина вагранки до фурм), фурменний пояс, шахта, завантажувальне колошникове вікно, димар з іскрогасником, копильник, розливочний ківш.



1 – жолоб для випуску чавуну із копильника; 2 – льотка; 3 – копильник; 4 – фурми для дуття; 5 – повітряний колектор; 6 – шахта; 7 – завантажувальне вікно; 8 – іскроуловлювач; 9 – труба; 10 – завантажувальна баддя; 11 – розливний ківш

Рис 1.2. Вагранка шахтного типу з копильником

1.1.1. Фундамент

Фундамент під вагранку споруджується з бетону, заміри фундаменту визначаються, виходячи з припустимого тиску на ґрунт, при цьому враховується вага вагранки, яка заповнена шихтовими матеріалами, та істинної ваги завантажувальних пристроїв, що спираються на вагранку. Глибина втягання фундаменту вибирається відповідно до вимог будівельних норм. Під і накопичувач також встановлюється на загальний фундамент, з ним зв'язується також обмуровування приймка для ковшів, що подаються під заливку. Опора

верхня фундаменту під вагранкою розташовується на 100-200 мм нижче рівня підлоги цеху на виробництві. Поглиблення, що утворюється, заповнюється піском для запобігання впливу на фундамент гарячих матеріалів, що вивалюються з вагранки під час її вибивки. На фундамент вагранка може спиратися безпосередньо колонами. У фундамент заливаються анкерні болти, що входять в отвори у фланцях колон. Вагранки великих розмірів спираються на фундамент не безпосередньо колонами, а фундаментною плитою. Фундаментна плита виготовляється звареною зі швелерів або литою з чавуну, товщиною біля 20 мм із посиленими ребрами. Вона кріпиться до фундаменту болтами, а колони, у свою чергу, кріпляться болтами до фундаментної плити [2, 5, 6,7].

1.1.2. Колони вагранок

Для спорудження колон вагранок використовують зварні конструкції з трубчастого прокату, а також литі сталеві чи чавунні елементи порожнистої циліндричної форми. Такі вироби характеризуються суттєвим коефіцієнтом міцності. Для запобігання нагріванню колон під час вибивки вагранки вони оточуються залізними кожухами із зазором 20-30 мм. Зазор між кожухом і колоною заповнюється піском. Висота колон вибирається з міркувань зручності обслуговування нижньої частини вагранки. Вагранки продуктивністю 5 т/год. мають колони висотою від 800 до 1250 мм. У вагранок продуктивністю 10 т/год. ця висота збільшується [2,3,6,7].

1.1.3. Подова плита

Функцію основи для всієї конструкції вагранки виконує подова плита, яка фіксується на колонах за допомогою болтового з'єднання. Цей елемент зазвичай має квадратну форму і характеризується високими показниками міцності та твердості. Це дає можливість установити колони так, що збільшується вільна площа під вагранкою. Подові плити виготовляються литими з

чавуну або сталі товщиною 30-40 мм. Для більшої жорсткості підсилюються ребрами. Застосовуються ще зварні подові плити.

1.1.4. Відкидне днище

Відкидне днище використовується для полегшення вивантаження інших матеріалів по закінченню плавки. У вагранок продуктивністю до 5 т/год. здебільшого робиться цільне днище, що відкидається в одну сторону. Вагранки більшої продуктивності забезпечуються двостворчастим днищем, що відкривається в дві сторони, виконується литим: для вагранок продуктивністю до 3 т/год. чавунним, більше 3 т/год. – сталевим. На відстані 50-100 мм один від одного в днищі просвердлюються отвори діаметром 8-20 мм для полегшення виходу водяної пари при прогріванні поду. У вагранок продуктивністю до 5 т/год. закривання днища здійснюється вручну. Вагранки більшого розміру вимагають механізованого закривання днища. Підйом днища здійснюються завалочним краном або спеціальними пристроями. При роботі вагранки днище повинно бути жорстко і міцно закріплене в закритому положенні. При вибиванні вагранки повинно бути забезпечене миттєве і повне відкривання днища з деякої відстані, для безпеки працюючих. Кріплення днища здійснюється за допомогою домкрата, а також може кріпитись і скобами.

1.1.5. Робочий майданчик

Робочий майданчик, призначений для обслуговування фурм, монтують на рівні подини, використовуючи для цього окремі опори або кріплення безпосередньо до корпусу вагранки. Доцільніше обрати другий варіант, оскільки встановлення додаткових колон обмежує доступ до обладнання.

1.1.6. Кожух вагранки

Кожух вагранки виконується з листа товщиною від 6 до 12 мм у залежності від розміру вагранки.

Для підвищення жорсткості кожуха і підтримки футеровки по висоті вагранки до внутрішньої поверхні кожуха на відстані 0,5-1,0 м приварюються кутки відрізками довжиною близько 400 мм із зазорами між ними, щоб не перешкоджати розширенню кожуха при нагріванні. На кутки кладуться литі чавунні кільця або гнуті зі штабової сталі товщиною 10 мм для підтримки футеровки. В нижній частині кожуха прорізаються отвори для випускних льоток чавуну і шлаку, для фурм і ремонтного вікна. Ремонтне вікно закривається литими або зварними дверцятами, в них встановлюється шлакова льотка. У верхній частині кожуха прорізається завантажувальне вікно, розміри якого залежать від способу завантаження вагранки. При ручному завантаженні розміри вікна коливаються від 450х600 до 600х800 мм.

1.1.7. Футеровка вагранки

Внутрішня обмурівка вагранок виконується з напівкислої або шамотної цегли, або ж із термостійких основних складів. При виборі товщини цього захисного шару враховують діаметр вагранки. Діаметр вагранки до 500 мм, до 1500 мм, понад 1500 мм. Товщина кладки 125-180 мм, 200-250 мм, 300 мм.

Вагранка футерується в два шари, причому внутрішній шар виконується з цегли класу А, а зовнішній – з цегли класу Б. Між кожухом і футеровкою робиться теплоізоляційний зазор товщиною від 30 до 50 мм, який засипається піском або просіяним шлаком.

Для кладки використовується спеціальна ваграночна або стандартна цегла. Розчин повинний відповідати шлакостійкості цегли, щоб попередити руйнування футеровки зі швів. Товщина шва не повинна перевищувати 1 мм. Останнім часом почали застосовувати набивну футеровку плавильної зони вагранки. Димар футерується у пів цегли. Під вагранки набивний виконується із формувальної суміші.

Верхня частина шахти безпосередньо під завантажувальним вікном піддається механічним ударам шихти, що завантажується. Отже в шахту на відстані 750-1000 мм нижче кромки завантажувального вікна встановлюють-

ся чавунні захисні сегменти з товщиною стінки до 40 мм. Захисні сегменти укладаються на опорне кільце з кутків або кріпляться болтами. Внутрішня порожнина захисних сегментів заповнюється кварцовим піском.

1.1.8. Фурмений пояс

Основна частина фурменого пояса – повітряна коробка прямокутного перетину. Для досягнення максимальної рівномірності розподілу повітряного потоку по периметру вагранки, повітря до фурменої коробки краще подавати зверху через два патрубки, розміщені діаметрально протилежно. Повітряна коробка приклепана до кожуха, ускладнює спостереження за його станом і ремонту при прогоранні футеровки. Отже між повітряною коробкою і кожухом вагранки залишають проміжок 100-200 мм. Рекомендується також верхню стінку коробки робити похилою, щоб на ній не збиралися пил і сміття. Фурмені отвори можуть сполучатися безпосередньо з проміжною коробкою або живитись повітрям через фурмені коліна, що відходять від нижньої частини коробки.

В усіх випадках повинні бути передбачені пристрої для регулювання кількості повітря, що надходить у кожну фурму і повного перекриття її. Регулювання дуття здійснюється дросельними клапанами або засувками. Для збереження розмірів фурмених отворів до кожуха вагранки кріпляться болтами литі чавунні сопла, кінці яких не доходять до внутрішньої поверхні на 50 мм. Для спостереження за ходом плавки і роботою фурм, а також для очищення залишкових фурм проти кожної фурми в повітряній коробці або фурменому коліні є оглядовий отвір з відкидною кришкою, в яку вставляється слюда.

У вагранках без накопичувача спостерігаються випадки попадання шлаку у фурми, якщо метал і шлак не вчасно випущені з вагранки. Для попередження заливання усіх фурм у цьому випадку рекомендується одну фурму розташовувати нижче інших на 40-50 мм і в нижній частині фурменого коліна зробити отвір, який закривається легкоплавкою пробкою. Шлак, що

піднявся вище припустимого рівня, проникне в цю фурму і, розплавивши пробку, витікає назовні.

1.1.9. Накопичувач

Накопичувачі можуть бути поворотними або стаціонарними. Останні базуються на фундаменті та мають металевий кожух, товщина листів якого дорівнює товщині обшивки вагранки. Проміжний жолоб вагранки приварюється до отвору, виконаного в задній стінці накопичувача. Футерований жолоб перекривається цегляною кладкою, утворюючи закритий канал для транспортування металу та шлаку прямо в накопичувач. Передня зона накопичувача обладнана двосекційними литими чавунними дверцятами. Їх нижній край розташований нижче рівня поду, що дозволяє повністю видаляти залишки розплаву при відкритті. Для зливу чавуну в нижній стулці передбачена льотка, обладнана жолобом.

У верхній частині дверцят на рівні перехідної льотки вагранки робиться оглядовий отвір для спостереження за витіканням чавуну і шлаку і очищення льотки. Зверху накопичувач перекривається звареною або литою кришкою. Іноді в кришці накопичувача робиться люк, який закривається змінною круглою литою кришкою. У бічній частині накопичувача є отвір для випуску шлаку, також із жолобом. Випускні жолоби футеруються цеглою і промазуються вогнетривкою глиною. Правильно виготовлений жолоб повинен бути зовсім рівним, щоб метал стікав по ньому спокійно. По закінченні випуску на жолобі не повинно залишатися застиглих крапель чавуну.

Поворотні накопичувачі використовуються, головним чином, в ливарному масовому виробництві. Поворотний накопичувач являє собою барабанний ківш, встановлений на спеціальних стійках під випускним отвором для чавуну. В поворотний накопичувач повинен стікати тільки метал без шлаку. Шлак випускається через шлаковий випускний отвір або відокремлюється на жолобі за допомогою сифонного пристрою. В деяких конструкціях вагранок поворотний накопичувач перетворюється в невелику полум'яну піч,

в якій здійснюється підігрівання металу за допомогою газового пальника або мазутної форсунки.

Безперервний випуск металу з вагранки може бути здійснений також за допомогою невеликого поворотного жолоба. Метал зливається в ківш встановлений на стенді під одним з кінців поворотного жолоба. На стенд під іншим кінцем жолоба ставиться порожній ківш. Коли один ківш наповнюється, перекидний жолоб нахилиється убік іншого. При масовому виробництві цей пристрій знаходить широке використання тому, що він дозволяє зменшити кількість переливів металу і зберегти його температуру.

1.1.10. Іскрогасник

Іскрогасник застосовується для затримання гарячих твердих частинок, які виходять разом із димовими газами. Попадання часток коксу в повітря становить загрозу займання для розташованих поруч споруд.

За принципом роботи іскрогасники поділяються на сухі і мокрі.

В сухих іскрогасниках осадження частинок може відбуватися тільки під дією сили ваги або під впливом відцентрової сили. Сухі іскрогасники виготовляються трьох типів: вертикальні або циліндричні, горизонтальні або камерні, відцентрові (циклони).

В іскрогасників вертикального типу над димарем вагранки встановлюється відбивач або зонт, литий з чавуну з вогнетривкою обмазкою або з жаротривких сплавів. Іноді труба перекивається цегельним зводом. Призначення відбивача – це поворот газів, що виходять із труби на 90° . Це знижує швидкість газів. З під відбивача гази потрапляють у порожнину іскрогасника, де знову роблять поворот на 90° і виходять через отвори в його верхній частині. Завдяки великому перетину іскрогасника і поворотам, швидкість газів, що виходять з димаря, знижується і тверді частки осідають на дно іскрогасника. Дно робиться похилим для того, щоб пил, що осів, скочувався до випускної труби. Випускна труба спускається до першого поверху, де пил висипа-

ється періодично в спеціальну вагонетку або короб, який перевозиться електрокаром з піднімальною площадкою.

Вертикальні іскрогасники кріпляться на димарі вагранки. Цим обмежуються їх розміри. Вони не досить ефективні, наприклад, наприкінці роботи вагранки, коли стовп матеріалів у шахті зменшується і газу надходять до труби, більш гарячими і з великою швидкістю.

Горизонтальний або камерний іскрогасник являє собою камеру розділену на дві частини перегородкою в нижній частині якої є прорізи для проходження газів. Одна частина камери з'єднується з димарем вагранки друга частина має трубу, що сполучується з атмосферою. В камерних іскрогасниках здійснюється більш якісне очищення продуктів горіння від пилу, його виділення здійснюється через спускную трубу.

У відцентрових іскрогасниках газам надається рух по колу або по спіралі. При цьому тверді частки під впливом сил інерції відкидаються до стінки циклона, втрачають енергію внаслідок тертя об стінку і осідають на дно. Відцентрові іскрогасники при одноковому об'ємі ефективніші за циліндричні.

В мокрих іскрогасниках охолодження ваграночних газів здійснюється за допомогою води. Перевагою мокрих іскрогасників є малий об'єм при високій ефективності дії. В той же час застосування води в холодних регіонах ускладнюється замерзанням води в трубах і пориву їх. Ці іскрогасники не отримали широкого застосування [2-9].

РОЗДІЛ 2. СПЕЦІАЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ ВАГРАНОК

Вагранки спеціальних конструкцій — це агрегати з підвищеною стійкістю футеровки (за рахунок водяного охолодження), кисневим збагаченням, підігрівом дуття, а також ті, що використовують газове або рідке паливо.

2.1. Вагранки з водяним охолодженням

Нижня частина вагранки може охолоджуватися стікаючою водою, або за допомогою водяної сорочки. При охолодженні кожуха стікаючою водою трохи вище зони плавлення, границі якої легко визначаються по найбільшому розпалу футеровки, навколо кожуха кріпиться кільцева труба діаметром 20-25 мм. У стінці труби просвердлюються ряд дрібних, діаметром близько 5 мм отворів, через які вода безперервно оббризкує кожух і стікає по ньому вниз у стічний жолоб, з якого потім видаляється. Перевагою цього способу охолодження є простота пристрою і можливість постійного спостереження за станом кожуха. Недоліком є перелив води через край стічного жолоба і попадання її під вагранку. Спосіб охолодження кожуха за допомогою водяної оболонки позбавлений цього недоліку. Для цього випадку до кожуха вагранки приварюється кільцева водяна оболонка, яка починається безпосередньо над верхнім рядом фурм і вгорі закінчується вище зони плавлення на 150-200 мм. Товщина водяного простору дорівнює 75-80 мм. Для того, щоб охолодження було рівномірним, рекомендується водяну оболонку розділити вертикальними перегородками на дві-три секції, з яких кожна має власний підвід і відвід води. Вода в кожному секцію подається через трубу, яка приварена у верхній частині оболонки і опускається вниз на глибину 0,5-1 м. Відвід води здійснюється через патрубок, який приварений у верхній частині оболонки. При такій циркуляції відводиться найбільш нагріта вода, а також неможливе витікання води з оболонки при перерві у подачі води. Вода, що витікає із оболонки обов'язково повинна зливатися відкритим струменем у лійку труби для відведення води для того, щоб вагранник міг у будь-який момент переві-

рити кількість і температуру води, що відходить. Зливна лійка встановлюється на відповідній відстані, щоб попадання води під вагранку було виключено.

У днищі водяної оболонки встановлюються крани для спуску води під час зупинки вагранки. У верхній частині сорочки вварюються запобіжні трубки для виходу пари у випадку закіпання води. Через охолоджувальну оболонку повинно пропускатися стільки води, щоб температура її при виході зі зливної труби була при жорсткій воді не вище 40 °С і при м'якій не вище 80 °С. Кипіння води в оболонці не повинне допускатися, щоб уникнути утворення на її стінках накипу, який різко погіршує тепловіддачу. Для поліпшення тепловіддачі ізоляційна засипка в охолоджувальній зоні не робиться. Оболонку слід періодично промивати не допускаючи накопичення в ній піску, шлаку та ржі.

З'ясовано, що дія охолодження кожуха простягається на шар кладки товщиною 30-50 мм. Тому початковий розпал футеровки великої товщини при застосуванні охолодження не запобігається. Але прогар кожуха виключається, тому що навіть при повному оплавленні футеровки на кожусі утворюється шар остиглої суміші шлаку і металу. Таким чином, застосування водяного охолодження корисно сполучати зі зменшенням товщини футеровки вагранки.

2.2. Вагранки із застосуванням кисню

Збагачення дуття киснем сприяє зменшенню відношення числа газів до водяного числа шихти через зменшення витрати відхідних газів. Це призводить до зниження температури останніх на колошнику. Згідно з розрахунками при вмісті кисню в дутті $\approx 52\%$ температура відхідних газів на колошнику наближається до початкової температури шихти. Отже, при цьому фізичні втрати теплоти з колошниковим газом практично зникають, завдяки чому зростає тепловий коефіцієнт корисної дії вагранки і звідси знижується питома витрата палива. Одночасно з цим збільшується температура в окислювальній зоні, що сприяє підвищенню температури чавуну на виході із вагранки.

Крім того, з'являється можливість інтенсифікувати живлення вагранки дуттям і збільшити її продуктивність. Таким чином при збагаченні дуття киснем створюються умови для покращення всіх показників ваграночного процесу, застосування кисню у вагранці може здійснюватися трьома способами:

- 1) збагачення дуття шляхом введення кисню у повітропровід поблизу від повітряної коробки;
- 2) введення кисню у фурми через сопла безпосередньо в холосту колошу, так зване кисневе дуття;
- 3) продувкою рідкого чавуну киснем в накопичувачі або на жолобі.

Застосування кисню за першим методом не вимагає яких-небудь змін у конструкції вагранки.

При гострому кисневому дутті кисень подається до вагранки по самостійному трубопроводу під надлишковим тиском 0,3-1,2 МПа. Навколо вагранки для кисню встановлюється кільцевий трубопровід від якого йдуть відводи до кожної з фурм. З'єднання відводів від кільцевого трубопроводу із сопла здійснюється за допомогою мідних трубок. Сопло представляє собою мідну трубку діаметром від 5 до 12 мм. Кінець її відтягнутий на конус так, що діаметр вихідного отвору дорівнює 3-5 мм. Сопло найчастіше вводиться через стінку повітропроводу по осі фурми таким чином, щоб вихідний отвір її не доходив до внутрішньої поверхні футеровки на 40-50 мм. Більш зручно вводити сопло через кришку оглядового отвору, у цьому випадку кришка робиться знімною. Це дозволяє вийняти сопло для перевірки його стану, а також у випадку переходу на роботу без використання кисню. Найбільш доцільно подавати кисень у фурми верхнього ряду. Кисень від кисневої станції до вагранки може подаватись або в рідкому стані з наступною газифікацією або в звичайних балонах. В останньому випадку в спеціальному ізольованому приміщенні монтується рампа, на якій встановлюється 10-20 балонів. За допомогою редуктора надлишковий тиск кисню знижується з 15 до 0,5-1,2 МПа.

Технологія продувки чавуну киснем в накопичувачі вагранки розроблена Інститутом чорної металургії АН України. Суть цього процесу полягає в

тому, що при продувці кисню через рідкий чавун відбуваються екзотермічні реакції окислення кремнію, марганцю, а також частково заліза і вуглецю і при цьому температура металу підвищується. Продувка чавуну киснем підвищує температуру металу на 70-100 °С при витраті кисню в 2-3 рази меншому в порівнянні з гострим дуттям. Крім того, доведена можливість застосування продувки чавуну в накопичувачі для зниження вмісту вуглецю в чавуні при одночасному його перегріві при виробництві чавуну. Більш раціональним є введення кисню в поверхневі шари металу, що знаходиться в накопичувачі, через водоохолоджувану металеву фурму, яка вводиться через кришку накопичувача.

2.3. Вагранки із підгрівом дуття

Колошникові гази при підході до нижнього краю завалочного вікна мають температуру 500-600 °С і більше. Вміст окису вуглецю в них коливається від 6 до 12 %. При достатній температурі (не менш 600 °С) і подачі додаткового повітря колошникові гази загоряються і температура їх при цьому підвищується до 800-900 °С. Таким чином, гази після їх опалювання мають достатню температуру для використання в пристроях для нагрівання дуття. Труднощі використання фізичної і хімічної теплоти колошникових газів вагранки полягають в тому, що в залежності від умов роботи хімічний склад і температура їх різко міняється. Тому колошникові гази горять нестійко. Крім того, вони засмічують золою пристрої для використання теплоти відхідних газів.

Запропоновані як регенеративні, так і рекуперативні повітропідігрівачі для вагранок. На практиці поширення отримали рекуперативні установки.

Основні з них: 1) рекуператор, встановлений в кладці нижньої частини шахти вагранки, який використовує фізичну теплоту газів, що ще не закінчили віддачу теплоти шихтовим матеріалам; 2) рекуператор, встановлений в трубі вагранки, який використовує фізичну і хімічну теплоту

колошникових газів, що допалюються завдяки повітрю, засмоктуваному через завантажувальне вікно;

3) рекуператор в окремій установці з засмоктуванням частини колошникових газів через вікна, розташовані трохи нижче завантажувального вікна шахти, і допалюванням цих газів у спеціальній топці;

4) рекуператор в окремій установці зі спалюванням у спеціальній топці низькосортних видів палива.

Розглянемо схеми устрою установок.

Установка рекуператорів у кладці шахти вагранки була здійснена на декількох заводах. На рис. 2.1 показано одну з них. Труби рекуператора, відлиті з чавуну, встановлені в кладці шахти вище фурм. В рекуператорах цього типу вдавалося одержати дуття з температурою до 150°C . Недоліками цієї конструкції є труднощі монтажу системи труб у кладці вагранки і низька стійкість елементів рекуператора. Тому рекуператори цього типу не знайшли поширення на практиці.

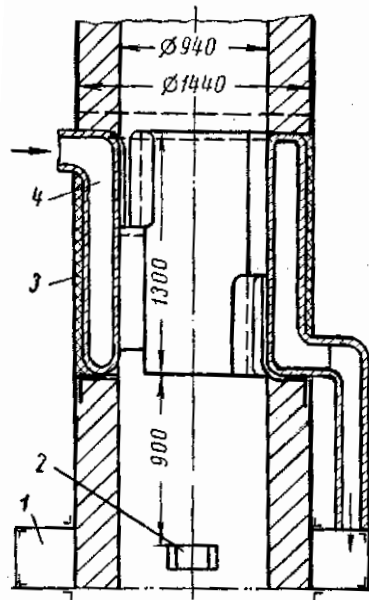


Рис. 2.1. Підігрівач дуття, вмонтований у футеровку вагранки: 1 – фурмена коробка; 2 – фурма; 3 – шамотна набивка; 4 – секція повітропідігрівача

Установка рекуператора в трубі вагранки вперше була здійснена в 1934 р.

Рекуператор, розташований у трубі вагранки, складається з 72 гладких безшовних сталевих труб, зібраних у 18 секцій по 4 труби. Довжина труб 6 м, діаметр 89/73 мм. Труби уварені в сталеві литі башмаки. Рекуператор змонтований таким чином, що нижній колектор вільно висить на трубах рекуператора. Це дозволяє трубам вільно подовжуватися і скорочуватися при нагріванні й охолодженні. Рух газів і повітря паралельний, що полегшує службу труб. Нижні башмаки захищені від впливу полум'я чавунними відбивачами.

Запалювання і стійке горіння колошникових газів відбувається лише при закритих дверях завантажувального вікна. Для завантаження шихти двері відкриваються механічно. При відкриванні завантажувального вікна у вагранку надходить холодне повітря, внаслідок чого горіння припиняється. Збоку вагранки прибудована топка об'ємом 0,3 м³, в якій спалюються дрова або довгополум'яне вугілля. Факел полум'я від цієї топки надходить до труби вагранки і підпалює гази після закриття завантажувального вікна. Дуття від вентилятора надходить до нижнього колектора, проходить через рекуператор у верхній колектор і потім по утепленому трубопроводу у фурменний пояс. В конструкції трубопроводів передбачена можливість працювати на холодному дутті у випадку виходу з ладу рекуператора, а також випуск повітря з рекуператора в атмосферу.

Рекуператор цього типу дозволяє одержувати дуття з температурою до 250°. Він не вимагає додаткової площі, досить стійкий, мало засмічується пилом і легко очищається від нього обдуванням стисненим повітрям.

Недоліком цього рекуператора, як і всіх вбудованих рекуператорів, є незручність його експлуатації і ремонту, а також значна теплова інерція. Максимальне нагрівання дуття досягається тільки через 40 – 60 хв. після пуску вагранки. Підігріву дуття немає саме в той час, коли це особливо необхідно.

Установки третього типу (рис. 2.2) складаються з камери для допалювання колошникових газів і рекуператора. Колошникові газу засмоктуються через вікна, розташовані нижче завантажувального вікна. Потім по утепленому газопроводу вони надходять в камеру допалювання, в яку засмоктуються або подається від вентилятора необхідне для горіння повітря. Можливість регулювання подачі повітря дозволяє одержати більш високу температуру газу після допалювання. Запалювання газу в камері здійснюється за допомогою невеликої топки, в якій безперервно горять дрова або довгополум'яне вугілля.

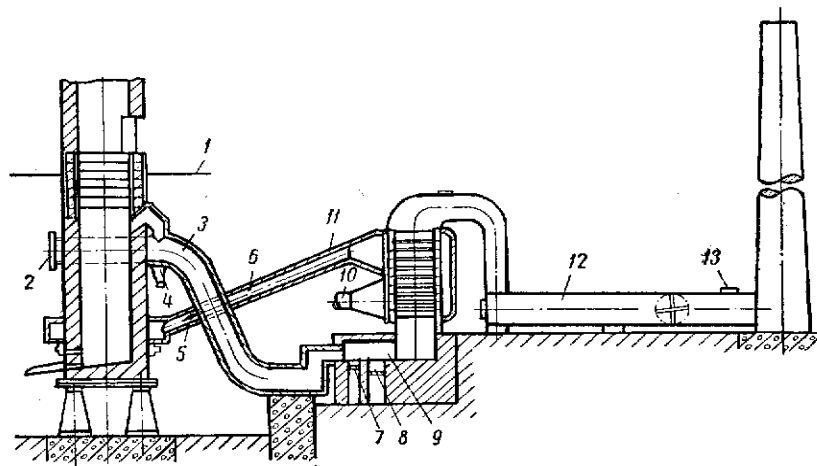


Рис. 2.2. Повітропідігрівач з допалюванням колошникових газів:

1 – колошникова площадка; 2 – запобіжний клапан і лаз; 3 – трубопровід відбору колошникових газів; 4 – бункер для золи; 5 – заслінка; 6 – шайба визначення витрати повітря; 7 – засувка для регулювання додаткового повітря; 8 – топка для підпалювання газів; 9 – камера допалювання колошникових газів; 10 – трубопровід холодного дуття від вентилятора; 11 – трубопровід гарячого дуття; 12 – сушило для підсушування формувальних матеріалів; 13 – лаз

Рекуператор зібраний з чавунних литих труб еліптичного перерізу з гладкою зовнішньою поверхнею і з конічними голками усередині. На одному з машинобудівних заводів для вагранки діаметром 1000 мм установлений рекуператор із двох секцій по 40 труб. Такий рекуператор успішно експлуатується протягом декількох років для полегшення служби

рекуператора повітря, що нагрівається, і газу надходять знизу. Нагріте дуття по утепленому трубопроводу надходить до вагранки. Відпрацьовані газу видаляються у димар природною або штучною тягою, причому можливе використання їх для сушіння піску. Завдяки більш досконалому допалюванню колошникових газів рекуператори цього типу дозволяють здійснити нагрівання дуття до 315 – 350 °С.

Застосування повітропідігрівачів з окремою топкою дозволяє нагрівати дуття до 500°С. При цьому може бути досягнута температура металу на жолобі вагранки до 1500 – 1510°С, тобто така, що досягається лише при плавці в полум'яних або електричних печах. Відповідно знижується витрата коксу, частина якого замінюється більш дешевим паливом, що спалюється в топці рекуператора. Перевагою установки з окремою топкою є також те, що вона дає нагріте дуття з самого початку роботи вагранки. Недоліки повітропідігрівачів цього типу – підвищений знос футеровки вагранки, менша стійкість труб рекуператора, досить значна займана ним площа в цеху.

Питання про вибір типу повітропідігрівача повинно вирішуватись в кожному окремому випадку, виходячи з вимог до металу, що виплавляється, і місцевих умов [2-10].

РОЗДІЛ 3. РОЗРАХУНОК ВАГРАНКИ

3.1. Основні розміри вагранки [2-10]

3.1.1. Діаметр вагранки

Діаметр вагранки D у площині фурм є розміром, з якого починається розрахунок. Продуктивність вагранки даного діаметра залежить від кількості повітря, що подається в розрахунку на 1 м^2 площі поперечного перерізу вагранки, і від відносної витрати палива. Зв'язок між питомою продуктивністю вагранки $\text{т/м}^2\text{год.}$ витратою палива і повітря, а також температурою чавуну з вагранки показаний на рис. 3.2.

Позначимо:

F – площа поперечного перерізу вагранки, м^2 ;

L'_α – питома витрата повітря, $\text{нм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{хв.}$;

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

L_α – витрата повітря в $\text{нм}^3/\text{кг}$ палива;

G_Π – продуктивність вагранки в т/год.

Тоді:

– кількість повітря, що подається у вагранку, дорівнює $FL'_\alpha \text{ нм}^3/\text{хв.}$;

– кількість коксу, що спалюється у вагранці за 1 хв., дорівнює FL'_α/L_α
кг палива/хв.;

– кількість металу, що проплавляється за 1 хв., дорівнює $FL'_\alpha \cdot 100/L_\alpha m_\kappa$
кг металу/хв.,

або

$$G_\Pi = FL'_\alpha 100 \cdot 60 / L_\alpha m_\kappa 1000 = 6FL'_\alpha / L_\alpha m_\kappa \text{ т/ГОД,}$$

звідки одержуємо

$$D = \sqrt{4G_\Pi L_\alpha m_\kappa / \pi 6L'_\alpha} = \sqrt{G_\Pi L_\alpha m_\kappa / 4,71L'_\alpha} \text{ м.}$$

Витрата повітря на 1 кг коксу, що спалюється, розраховується. Приблизно цю величину можна прийняти 5,3 - 5,4 м³/кг. Визначимо, як приклад, діаметр вагранки продуктивністю 15 т/год.

Приймаємо: $G_{\text{п}} = 15$ т/год; $m_{\text{к}} = 12\%$; $L_{\alpha} = 5,4$ м³/кг; $L'_{\alpha} = 100$ м³/м²хв.

$$D = \sqrt{G_{\text{п}} L_{\alpha} m_{\text{к}} / 4,71 L'_{\alpha}} = \sqrt{15 \cdot 5,4 \cdot 12 / 4,71 \cdot 100} \approx 1,436 \text{ м.}$$

3.1.2. Висота вагранки

Основним розміром по висоті є корисна висота вагранки $H_{\text{кор}}$, тобто відстань від осі основного нижнього ряду фурм до нижньої кромки (порога) завантажувального вікна. Величина $H_{\text{кор}}$ визначається з використанням встановленого практикою співвідношення:

$$H_{\text{кор}} = 4,25\sqrt{D} .$$

Для одержання повної висоти вагранки H до корисної висоти треба додати відстань від осі основного ряду фурм до поду $H_{\text{ф}}$ і відстань від поду до рівня підлоги цеху $H_{\text{под}}$:

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

Якщо конструкція передбачає накопичувач, дистанцію від поду до нижнього рівня фурм встановлюють, виходячи з технічної потреби розмістити ремонтне вікно та верхню частину накопичувача. При цьому прагнуть максимально скоротити проміжний жолоб і забезпечити зручність знімної кришки. При плавці низьковуглецевого чавуну величина $H_{\text{ф}}$ приймається мінімальною: $H_{\text{ф}} = 100$ мм. Товщина звичайного набивного поду дорівнює 150 – 200 мм. Таким чином, мінімальна відстань від осі нижнього ряду фурм до поверхні днища дорівнює 250 – 300 мм. В нормалізованих вагранках відстань від подової плити до осі фурм нижнього ряду коливається від 400 мм у 1-тонній вагранці до 600 мм у 10-тонній. При періодичному випуску металу з вагранки об'єм вагранки від нижнього ряду фурм до поду, тобто горн, використову-

ється для накопичення потрібної кількості металу. Крім металу, в горні має розміститися відповідна кількість шлаку. Здебільшого в горні накопичується кількість металу, що проплавляється за 20 – 30 хв. Крім металу і шлаку, в горні вагранки знаходиться кокс холостої колоші, на який спирається весь стовп матеріалів у вагранці. Кокс займає в середньому 50% об'єму горна. При цьому H_{ϕ} визначається за формулою:

$$H_{\phi} = (2/F)(G_{\text{ч}}/\rho_{\text{ч}} + G_{\text{шл}}/\rho_{\text{шл}}) \text{ м,}$$

де $G_{\text{ч}}$ – максимальна кількість чавуну, що накопичується у вагранці, т;

$G_{\text{шл}}$ – відповідна цій кількості чавуну кількість шлаку:

$$G_{\text{шл}} \approx 0,1G_{\text{ч}} \text{ т;}$$

$\rho_{\text{ч}}$ – густина рідкого чавуну (6,9 – 7,0 т/м³);

$\rho_{\text{шл}}$ – густина рідкого шлаку (~2,0 т/м³).

На практиці величина H_{ϕ} дорівнює 500 – 600 мм. Визначивши висоту простору, в якому міститься чавун, знаходять відстань від поду до шлакової льотки.

Відстань від поду до рівня підлоги цеху визначається в залежності від розмірів вагранки з міркувань зручності обслуговування і ремонту її нижньої частини.

3.1.3. Розміри і розташування фурм

Експериментально встановлено, що найбільш ефективно працює вагранка, яка має три ряди фурм із сумарною площею від $1/5$ до $1/3$ поперечного перерізу вагранки. Другий і третій ряди фурм призначаються для рівномірного розподілу повітря у вагранці і допалювання окису вуглецю у верхніх шарах холостої колоші. Кількість їх приймається однаковою в кожному ряді і дорівнює (у шт.): для вагранок із внутрішнім діаметром 600 – 800 мм – 4; 900 – 1100 мм – 6; 1200 мм і більше – 8.

Згідно з результатами досліджень оптимальний розподіл площі фурм, при її загальній величині 36 % від площі поперечного перерізу вагранки, такий:

нижній (основний ряд)	– 55 %
середній	– 18 %
верхній	– 27 %

Фурми другого і третього рядів розташовуються в шаховому порядку. Вихідний отвір фурм робиться прямокутним, витягнутим у горизонтальному напрямку. Відношення висоти до ширини в фурмах першого ряду становить від $\frac{1}{2}$ до $\frac{1}{3}$ і в фурмах додаткового ряду – від $\frac{1}{1,5}$ до $\frac{1}{1,6}$. Фурми розширюються в напрямку руху повітря і з нахилом униз під кутом 5° у фурм першого ряду, 10° – у другого і 15° – у третього. Нахил робиться з метою деякої компенсації прагнення повітря по виходу з фурми повернути відразу нагору і рухатися вздовж стінок вагранки.

Фурмені рукави. Площа перерізу фурмених рукавів вибирається по середній швидкості руху в них повітря, яка в нормалізованих вагранках приймається 12 – 18 м/с.

Повітряна коробка. Площа перерізу повітряної коробки вибирається з розрахунку середньої швидкості руху в ній повітря в межах 2,5 – 4,0 м/с.

Тиск дуття. Для визначення тиску дуття p запропоновано декілька формул.

За наступною формулою

$$p = \zeta H_{\Pi} w^2 \text{ мм вод. ст.},$$

де ζ – коефіцієнт, що враховує опір шихти, який дорівнює:

- для дуже крупної шихти 35;
- для великої шихти 40;
- для середньої шихти 45;
- для дрібної шихти 50.

H_n – корисна висота вагранки в м;

w – умовна швидкість руху газів у м/с, що дорівнює відношенню секундного об'єму повітря (приведеного до 0° і 760 мм Нг) до повної площі перетину вагранки.

За формулою

$$p = (L'_\alpha)^6 (H_{\text{кор}} + 0,25D) / A \text{ мм вод. ст.},$$

де L'_α – питома витрата повітря в $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{хв}$;

A – коефіцієнт, що залежить від щільності укладання шихти;

v – показник степеня, який змінюється в межах 1,7–2,0; здебільшого приймається $v = 2$;

$H_{\text{кор}}$ і D – корисна висота і діаметр вагранки в м.

При застосуванні відсіяного від дріб'язку коксу і нормальних розмірів кусків металеві шихти коефіцієнт A можна прийняти таким, що дорівнює 100. При застосуванні коксу з дріб'язком, а також при застосуванні дрібної шихти можна прийняти $A = 80$.

Фактичний тиск дуття коливається в межах від 350 – 500 мм вод. ст. у вагранках з $D = 500$ мм і до 1000 – 1100 мм вод. ст. – у великих вагранках.

При виборі вентилятора для вагранки необхідно враховувати втрати дуття в трубопроводах у розмірі від 10 до 20% і втрати напору при русі повітря від вентилятора до повітряної коробки.

3.1.4. Розміри накопичувача

Внутрішній діаметр накопичувача дорівнює внутрішньому діаметру вагранки або дещо відрізняється від нього. Вибравши діаметр, визначають висоту H_m від поду до осі шлакової льотки:

$$H_m = (G_n m_{\text{кл}} / \rho_{\text{ч}} F_n) + b \text{ м},$$

де $m_{к1}$ – ємність накопичувача в частках годинної продуктивності вагранки, яка приймається $\sim 1,0$;

G_n – продуктивність вагранки в т/год.;

$\rho_ч$ – густина рідкого чавуну, кг/м³;

F_n – площа поперечного перерізу накопичувача, м²;

$b = 0,05-0,10$ – мінімальна відстань від найвищого рівня металу до осі шлакової льотки.

При максимальному заповненні накопичувача металом і шлаком рівень шлаку не повинен досягати нижнього краю перехідної льотки. Відстань від осі шлакової льотки до нижнього краю перехідної льотки визначається за формулою

$$s \approx (1/3)H_m \text{ м.}$$

Випускні отвори. У вагранках зі стаціонарним накопичувачем розмір чавунної льотки не впливає на роботу вагранки, тому що метал і шлак стікають в накопичувач безперервно. Зазвичай льотка виконується прямокутною — шириною 65 мм і висотою 115 мм. Застосовуються і круглі набивні льотки відповідного діаметра. В зв'язку з тим, що через льотку атмосфера накопичувача сполучається з порожниною вагранки, в яку подається дуття, накопичувач має бути герметично закритим. При періодичному випуску металу розміри чавунної льотки призначаються, виходячи з тривалості кожного випуску.

На практиці застосовуються наступні діаметри чавунної льотки в мм:

Продуктивність вагранки, т/год.	< 5	5	10	15	20
Діаметр льотки при періодичному випуску	15	19	22	25	30
Діаметр льотки при безперервному випуску	10	12	16	20	23

Діаметр шлакової льотки коливається в межах 30-50 мм.

3.1.5. Розміри димаря і іскрогасника

При визначенні висоти димової труби враховують рівень даху будівлі та особливості іскрогасника. Розміри (об'єм та площа перерізу) елементів

іскрогасника обчислюють, спираючись на необхідну швидкість відхідних газів, яка забезпечує ефективне осадження частинок пилю. Зазвичай приймають середню швидкість газів в іскрогаснику 1 м/с, у вікнах і щілинах для виходу газів 1–1,5 м/с.

Інші частини вагранки розраховуються за звичайними формулами опору матеріалів у залежності від діючих навантажень [2-10].

3.2. Розрахунок горіння коксу у вагранці [1-10]

По висоті робочого простору вагранки, заповненого матеріалами, можна виділити п'ять характерних зон (рис.3.1).

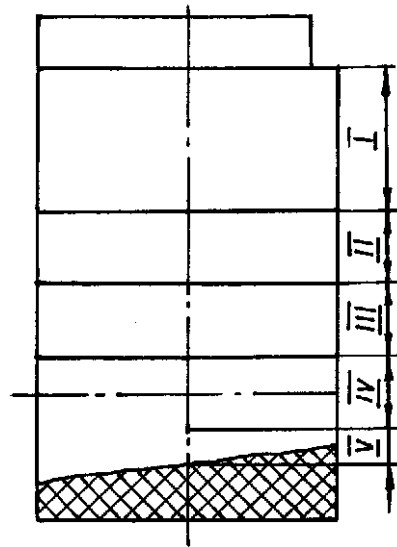


Рис. 3.1. Схема розташування окремих зон в робочому просторі вагранки

Горіння коксу починається в окислювальній зоні IV, куди подається повітря. Безпосередньо на поверхні кусків коксу, з огляду на те, що процес горіння знаходиться в дифузійній області реагування, горіння відбувається лише до нижчого оксиду CO, який дифундує в об'єм газового потоку, де в зоні IV спостерігається надлишок кисню, отже тут відбувається допалювання CO до CO₂. Температура газів в окислювальній зоні максимальна.

Далі гази поступають у відновлювальну зону III, де вони зустрічаються з кусками розжареного коксу. Протікає ендотермічна реакція Бела-Будуара $C_{\text{ТВ}} + CO_2 = 2CO$, внаслідок чого продукти горіння палива збіднюються на CO_2 і збагачуються чадним газом, а температура їх падає.

В зонах II і I хімічний склад відхідних газів практично не змінюється, а їх температура продовжує знижуватися. В цілому в звичайній вагранці водяний еквівалент шихти (добуток її витрати на теплоємність), менший за водяний еквівалент газів (добуток їх витрати і теплоємності), тому, згідно з теорією теплообміну в протитечії, температура газів на рівні порогу завалочного вікна значно перевищує початкову температуру шихти і становить 500 – 600 °С.

В зоні I ідуть процеси сушіння шихтових матеріалів, розкладу вапняку, виділення летючих речовин із коксу.

В зоні II ідуть вельми ендотермічні процеси плавлення металу, внаслідок чого температура газів тут різко зменшується.

В зоні IV, крім вищезазначених процесів горіння твердого вуглецю частково окислюються залізо, вуглець, марганець, кремній та інші елементи.

В зоні горну V спостерігаються сприятливі умови для прямого відновлення оксидів шлаку, особливо порівняно слабких (NiO, FeO, MnO та інші), але ці процеси не набувають суттєвого розвитку через малу висоту зони V.

В звичайній коксовій вагранці, як відзначалось в п. 2.6.4, завжди спостерігається хімічний недопал палива через те, що кокс, металева шихта і флюси, а нижче плавильної зони кокс, рідкий метал і шлак рухаються вниз назустріч газам і якщо останні мають у своєму складі CO_2 , то буде протікати реакція газифікації твердого вуглецю з виділенням CO, наявність якого у відхідних колошникових газах і є ознакою хімічного недопалу.

Принциповою відмінністю процесу горіння коксу у вагранці від горіння твердого палива на колосниковій решітці є те, що у вагранці завжди має місце хімічний недопал і ефективний коефіцієнт надлишку повітря $\alpha < 1$.

Основою для розв'язання задачі розрахунку горіння коксу у вагранці є рівняння реакції неповного горіння вуглецю коксу:

$$C + \alpha O_2 = 2(\alpha - 0,5)CO_2 + 2(1 - \alpha)CO \quad (3.1)$$

Коефіцієнт надлишку повітря, необхідний для користування рівнянням (3.1), можна знайти теоретично. Для цього, позначивши через L'_α питому витрату повітря у $\text{нм}^3/\text{м}^2\text{хв}$, через $g'_\text{ч}$ – питому продуктивність вагранки у $\text{т}/\text{м}^2\text{год}$, через m_C – відносну витрату вуглецю коксу у відсотках від маси металозавалки і через B – вихід рідкого чавуну в кг на 100 кг металозавалки, запишемо вирази для витрати кисню у $\text{нм}^3/\text{м}^2\text{хв}$ при фактичному значенні α і при $\alpha = 1$:

$$v_{O_2, \alpha < 1} = 0,21L'_\alpha; \quad (3.2)$$

$$v_{O_2, \alpha = 1} = 1000 g'_\text{ч} m_C 22,4 / 60 \cdot 0,01 B 100 \cdot 12 = 31,11 g'_\text{ч} m_C / B \quad (3.3)$$

Коефіцієнт надлишку повітря у вагранці дорівнює відношенню $v_{O_2, \alpha < 1} / v_{O_2, \alpha = 1}$, тому, поділивши рівняння (3.2) на (3.3), одержуємо відшукувану залежність α від параметрів ваграночного процесу:

$$\alpha = 6,75 \cdot 10^{-3} L'_\alpha B / m_C g'_\text{ч} \quad (3.4)$$

Розрахунки величини α , виконані за рівнянням (3.4) при використанні даних із номограми Патерсона (рис. 3.2), показали, що найбільший і вирішальний вплив на формування величини α чинить параметр m_C . Решта параметрів виразу (3.4) на α практично не впливають, отже рівняння (3.4) можна апроксимувати залежністю:

$$\alpha = 2,14 / m_C + 0,56 \quad (3.5)$$

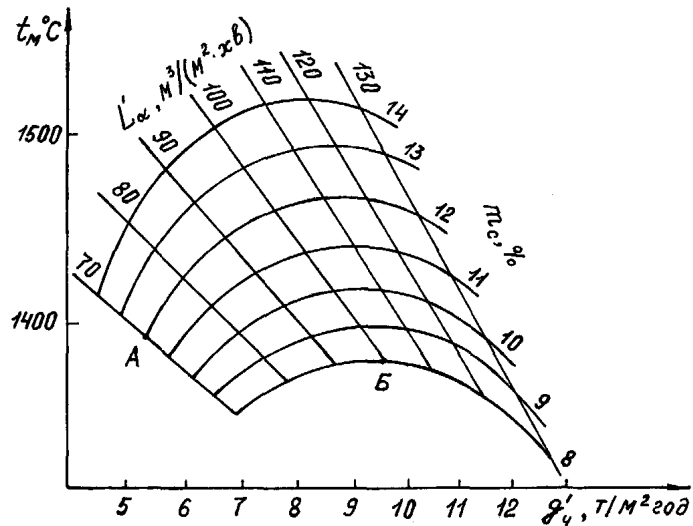


Рис. 3.2. Номограма Патерсона

Рівняння (3.5) практично співпадає з виразом

$$\alpha = 2,0/m_c + 0,58, \quad (3.6)$$

який є слідством раніше знайденого співвідношення $\alpha = 2,40/m_k + 0,58$ з урахуванням виразу $m_k = m_c/0,01C^P$ при $C^P = 83,5\%$ (m_k – відносна витрата коксу в кг/100 кг металозавалки; C^P – вміст вуглецю в коксі у відсотках за робочою масою).

Розрахунок горіння коксу проводимо на 1 кг палива, хімічний склад якого задається у відсотках на робочу масу:

$$C^P + H^P + O^P + N^P + S^P + A^P + W^P = 100, \quad (3.7)$$

де C^P, H^P, \dots, A^P і W^P – вміст у коксі вуглецю, водню і т.ін., а також золи і вологи.

Для виконання подальших розрахунків треба знати, які компоненти, окрім CO_2 і CO , будуть присутні у відхідних газах.

Як показав термодинамічний аналіз хімічних реакцій в системі C-H-O-S з використанням даних про температурну залежність енергії Гібса цих реакцій, найбільш ймовірною сполукою сірки у відхідних газах є CS_2 .

У відновлювальній зоні дуже ймовірним є розклад вологи дуття під дією $C_{\text{тв}}$ з утворенням H_2 і CO .

Водень коксу в окислювальній зоні взаємодіє з киснем дуття, утворюючи H_2O . В редуційній же зоні ця волога, як і волога дуття, практично повністю відновлюється вуглецем коксу до CO і H_2 . Таким чином, можна вважати, що водень коксу переходить у газову фазу у вигляді H_2 .

Азот дуття і коксу, будучи хімічно інактивним, повністю переходить у відхідні гази у формі N_2 .

Кисень у вигляді O_2 у відхідних газах практично відсутній через “кисневий голод”, характерний в цілому для вагранки.

Волога, що міститься в шихті, та вуглекислий газ, який виділяється при розкладанні вапняку, вилучаються у відхідні гази вже в зоні підігріву. В подальших хімічних реакціях у нижчих зонах печі ці компоненти участі майже не беруть.

Таким чином, компонентами колошникового газу є CO_2 , CO , N_2 , H_2O , H_2 і CS_2 . Рештою компонентів можна знехтувати через їх мізерну концентрацію.

Розрахунок кількості повітря для спалювання 1 кг коксу починаємо з визначення кількості кисню, потрібного для окислення вуглецю коксу до CO_2 і CO . При цьому враховуємо, у відповідності із попереднім, що частина вуглецю коксу витрачається на взаємодію з киснем і сіркою самого коксу, а також із вологою дуття.

Згідно з реакцією (3.1) з киснем коксу прореагує така кількість вуглецю коксу в кг/кг коксу:

$$g_{C,O^P} = 0,01O^P \cdot 12/32\alpha = 3,75 \cdot 10^{-3} O^P/\alpha. \quad (3.8)$$

Згідно з відомими експериментальними даними приймаємо, що 55 % сірки коксу переходить до газової фази, 40 % до металу і 5 % – до шлаку. Тоді за реакцією $C + S = CS_2$ витрачається вуглецю:

$$g_{C,S^P} = 0,01S^P 0,55 \cdot 12/64 = 1,03 \cdot 10^{-3} S^P . \quad (3.9)$$

Кількість вуглецю, що взаємодіє з вологою повітря за реакцією $C + H_2O = CO + H_2$, дорівнює:

$$g_{c.п.} = g_{H_2O} L_{\alpha}^{c.п.} 12/1000 \cdot 18 = 6,67 \cdot 10^{-4} g_{H_2O} L_{\alpha}^{c.п.} , \quad (3.10)$$

де $g_{H_2O} = 10 - 30$ г $H_2O/нм^3$ сухого повітря – вологість повітря; $L_{\alpha}^{c.п.}$ - відносна витрата сухого повітря, $нм^3/кг$ коксу, яку для розрахунку слід попередньо прийняти в межах $5,3 - 5,5$ $нм^3/кг$ коксу, а потім, в разі необхідності, цю величину можна уточнити за методом послідовного наближення.

Таким чином, кількість вуглецю (в 1 кг коксу), який має бути окисленим за рахунок кисню дугтя, становить:

$$g_C = 0,01C^P - \left(3,75 \cdot 10^{-3} O^P / \alpha + 1,03 \cdot 10^{-3} S^P + 6,67 \cdot 10^{-4} g_{H_2O} L_{\alpha}^{c.п.} \right). \quad (3.11)$$

Витрати сухого і вологого повітря знаходимо за формулами:

$$L_{\alpha}^{c.п.} = g_C 22,4 \alpha / 12 \cdot 0,21 = 8,889 \alpha g_C ; \quad (3.12)$$

$$L_{\alpha}^{в.п.} = (1 + 0,001244 g_{H_2O}) L_{\alpha}^{c.п.} . \quad (3.13)$$

Кількість і хімічний склад відхідних газів у $нм^3/кг$ коксу розраховуємо у такий спосіб.

Вуглекислий газ складається із CO_2 , що утворюється за реакцією (3.1) при використанні кисню дугтя і кисню коксу, а також із CO_2 вапняку:

$$\begin{aligned} V_{CO_2} &= (g_C + g_{C,O^P}) 2(\alpha - 0,5) 22,4/12 + m_B 0,01C^P 22,4/m_C 100 = \\ &= 3,7333(\alpha - 0,5)(g_C + g_{C,O^P}) + 2,24 \cdot 10^{-3} m_B C^P / m_C , \end{aligned} \quad (3.14)$$

де m_B - відносна витрата вапняку у відсотках від металозавалки; 100 – відносна молекулярна маса $CaCO_3$.

Чадний газ утворюється за реакцією (3.1) при використанні кисню дуття і коксу, а також за рахунок взаємодії вологи повітря з вуглецем коксу за реакцією $C + H_2O = CO + H_2$:

$$\begin{aligned} V_{CO} &= (g_C + g_{C,O^P}) 2(1-\alpha) 22,4/12 + g_{H_2O} L_\alpha^{c.п.} 22,4/1000 \cdot 18 = \\ &= 3,7333(1-\alpha)(g_C + g_{C,O^P}) + 1,2444 \cdot 10^{-3} g_{H_2O} L_\alpha^{c.п.}. \end{aligned} \quad (3.15)$$

Водень утворюється при взаємодії вологи дуття з вуглецем коксу за реакцією $C + H_2O = CO + H_2$, а також надходить із коксу:

$$V_{H_2} = g_{H_2O} L_\alpha^{c.п.} 22,4/1000 \cdot 18 + 0,01 N^P 22,4/2 = 1,2444 \cdot 10^{-3} g_{H_2O} L_\alpha^{c.п.} + 0,112 N^P. \quad (3.16)$$

Азот надходить до відхідних газів із повітря і коксу:

$$V_{N_2} = 0,79 L_\alpha^{c.п.} + 0,01 N^P 22,4/28 = 0,79 L_\alpha^{c.п.} + 0,008 N^P. \quad (3.17)$$

Волога відхідних газів надходить, головним чином, із коксу:

$$V_{H_2O} = 0,01 W^P 22,4/18 = 1,2444 \cdot 10^{-2} W^P. \quad (3.18)$$

Кількість CS_2 у продуктах згорання, згідно з попереднім, становить:

$$V_{CS_2} = 0,01 S^P 0,55 \cdot 22,4/64 = 1,925 \cdot 10^{-3} S^P. \quad (3.19)$$

Склавши кількості всіх шести компонентів, знаходимо загальну кількість відхідних газів:

$$\begin{aligned} V_\alpha &= \underbrace{3,7333(\alpha-0,5)(g_C + g_{C,O^P})}_{CO_2} + 2,24 \cdot 10^{-3} m_B C^P / m_C + \\ &+ \underbrace{3,7333(1-\alpha)(g_C + g_{C,O^P})}_{CO} + 1,2444 \cdot 10^{-3} g_{H_2O} L_\alpha^{c.п.} + \underbrace{0,79 L_\alpha^{c.п.} + 0,008 N^P}_{N_2} + \\ &+ \underbrace{1,2444 \cdot 10^{-3} g_{H_2O} L_\alpha^{c.п.} + 0,112 N^P}_{H_2} + \underbrace{1,2444 \cdot 10^{-3} W^P}_{H_2O} + \underbrace{1,925 \cdot 10^{-3} S^P}_{CS_2}. \end{aligned} \quad (3.20)$$

Вміст того чи іншого компонента у відхідних газах в об'ємних відсотках визначається за формулою:

$$i = 100V_i/V_\alpha. \quad (3.21)$$

Величини витрат, що визначаються за виведеними формулами, а також дані, що містяться в умовах розрахунку, надають можливість

розрахувати окремі статті прибутку і видатку матеріального балансу ваграночної плавки. Витрати матеріалів у кг/кг коксу можна розрахувати за наступними формулами:

- металозавалка

$$g_{\text{мз.}} = 0,01 C^P 100 / m_C ; \quad (3.22)$$

- повітря при $\rho_{\text{пов.}} = 1,29 \text{ кг/нм}^3$

$$g_{\text{пов.}} = 1,29 L_{\alpha}^{\text{в.п.}} ; \quad (3.23)$$

- вапняк

$$g_{\text{вап.}} = 0,01 m_B g_{\text{мз.}} ; \quad (3.24)$$

- футеровка при її витраті $m_{\text{ф}} = 0,74 \%$ від м.з.

$$g_{\text{ф.}} = 0,0074 g_{\text{мз.}} ; \quad (3.25)$$

- чавун при виході рідкого металу $B = 98 \%$

$$g_{\text{ч.}} = 0,98 g_{\text{мз.}} ; \quad (3.26)$$

- шлак при $g_{\text{шл.}} = III \%$ від $g_{\text{мз.}}$

$$g_{\text{шл.}} = 0,01 III g_{\text{мз.}} ; \quad (3.27)$$

- відхідні гази при $\rho_{\text{в.г.}} = 1,34 \text{ кг/нм}^3$

$$g_{\text{в.г.}} = 1,34 V_{\alpha} . \quad (3.28)$$

Поняття про температуру горіння для вагранки втрачає свій звичайний зміст, оскільки температура газів безперервно змінюється по висоті робочого простору печі. Тому, розглядаючи вагранку як об'єкт із зосередженими параметрами, під температурою горіння будемо розуміти температуру газу на колошнику t_r . Цю температуру можна визначити за допомогою як теоретичної, так і статистичної математичних моделей.

Теоретичну модель знаходимо у вигляді рівняння теплового балансу вагранки, складеного заради зручності у кДж на один квадратний метр площі поперечного перерізу вагранки за хвилину:

$$Q_{\text{х.п.}} + Q_{\text{екз.}} + Q_{\text{шл.у.тв}} = Q_{\text{ч}} + Q_{\text{ш}} + Q_{\text{г}} + Q_{\text{виш.в}} + Q_{\text{р.в.}} + Q_{\text{втр.}} , \quad (3.29)$$

де $Q_{x.п.}$ – теплота згорання коксу; $Q_{екз.}$ – теплота екзотермічних реакцій окислення домішок металу; $Q_{шл.утв.}$ – теплота шлакоутворення; $Q_ч$, $Q_{ш}$ і $Q_г$ – ентальпія чавуну, шлаку і газів на виході із робочого простору вагранки; $Q_{вип.в.}$ – теплота випаровування води; $Q_{р.в.}$ – теплота розкладу вапняку; $Q_{втр.}$ – втрати теплоти в навколишнє середовище.

Величину $Q_{x.п.}$, з урахуванням рівняння (2.13), знаходимо за формулою:

$$Q_{x.п.} = (L'_\alpha 0,21/22,4\alpha) [2(\alpha - 0,5)395610 + 2(\alpha - 1)114470] = L'_\alpha (5271,4 - 1562,5/\alpha), \quad (3.30)$$

де 395610 і 114470 кДж/(кг-ат С) – теплові ефекти реакцій окислення С до CO_2 і СО.

Теплоту екзотермічних реакцій можна знайти за формулою:

$$Q_{екз.} = \sum (-\Delta H_i) g_i, \quad (3.31)$$

де ΔH_i – зміна ентальпії при окисленні i -ої домішки металу, яка становить -32970 , -29000 , -7000 і -4760 кДж/кг, відповідно, для С, Si, Mn і Fe; g_i – маса i -ої домішки, що окислюється, кг/м²·хв.

Прийнявши, що окислюється 0 % С, 0,37 % Si, 0,12 % Mn і 0,4 % Fe від маси металозавалки, матимемо:

$$Q_{екз.} = \left(L'_\alpha 0,21 \cdot 12 \cdot \frac{100}{22,4\alpha m_C} \right) [0,01 (29000 \cdot 0,37 + 7000 \cdot 0,12 + 4760 \cdot 0,4)] = 1516 \frac{L'_\alpha}{\alpha m_C}. \quad (3.32)$$

Теплота шлакоутворення при кількості шлаку 6 % від маси металозавалки і питомій теплоті шлакоутворення 529 кДж/кг шлаку:

$$Q_{шл.утв.} = (0,06 L'_\alpha 0,21 \cdot 12 \cdot 100 / 22,4\alpha m_C) 529 = 357 L'_\alpha / \alpha m_C. \quad (3.33)$$

Корисна теплота при тепловмісті чавуну і шлаку $q_ч = 0,87t_ч + 50$ і $q_{ш} = 1,89t_{ш} - 1100$ кДж/кг, а також при $t_{ш} = t_ч + 50^\circ C$ і $B = 98$ буде:

$$Q_ч + Q_{ш} = \left(L'_\alpha 0,21 \cdot 12 \cdot \frac{100}{22,4\alpha m_C} \right) 0,01B(0,87t_ч + 50) + \left(0,06 L'_\alpha 0,21 \cdot 12 \cdot \frac{100}{22,4\alpha m_C} \right) \times \\ \times 0,01B[1,89(t_ч + 50) - 1100] = (10,8419t_ч - 113,89) \frac{L'_\alpha}{\alpha m_C}. \quad (3.34)$$

Теплота, що виноситься відхідними газами, розраховується за формулою:

$$Q_r = V_r c_r t_r, \quad (3.35)$$

де V_r – вихід продуктів згорання, $\text{нм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{хв}$; $c_r = 1,48 \text{ кДж}/\text{нм}^3 \cdot \text{К}$ – теплоємність колошникового газу при $t_r = 500 \text{ }^\circ\text{С}$.

Врахувавши всі джерела надходження відхідних газів (повітря, кокс і вапняк), одержуємо:

$$V_r = (0,7987 + 0,2170/\alpha + 0,0914/\alpha m_c) L'_\alpha, \text{ нм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{хв}. \quad (3.36)$$

Таким чином,

$$Q_r = (1,182 + 0,321/\alpha + 0,135/\alpha m_c) L'_\alpha t_r. \quad (3.37)$$

Теплота випаровування води при питомій теплоті випаровування $2445 \text{ кДж}/\text{кг}$ H_2O , концентрації води в коксі 3% і у вапняку $0,8 \%$, концентрації вуглецю в коксі $80,9 \%$ і відносній витраті вапняку $m_B = 3,5 \%$ від маси металозавалки:

$$Q_{\text{вип. вол}} = 2445 \left(\frac{L'_\alpha 0,21 \cdot 12}{22,4\alpha 0,01 \cdot 80,9} \cdot 0,01 \cdot 3 + \frac{L'_\alpha 0,21 \cdot 12 \cdot 100}{22,4\alpha m_c} \cdot 0,01 \cdot 3,5 \cdot 0,01 \cdot 0,8 \right) =$$

$$= \left(10,2 + \frac{7,7}{m_c} \right) \frac{L'_\alpha}{\alpha}, \text{ кДж}/\text{м}^2 \cdot \text{хв}. \quad (3.38)$$

Теплові втрати внаслідок розкладу вапняку при $m_B = 3,5 \%$, відносній молекулярній масі карбонату кальцію $M_{\text{CaCO}_3} = 100$ і мольній теплоті розкладу останнього $161440 \text{ кДж}/\text{кмоль}$:

$$Q_{\text{розкл. в.}} = \frac{L'_\alpha 0,21 \cdot 12 \cdot 100}{22,4\alpha m_c} \cdot \frac{0,01 \cdot 3,5}{100} \cdot 161440 = 636 L'_\alpha / \alpha m_c. \quad (3.39)$$

Втрати теплоти в навколишнє середовище, будучи вираженими у $\text{кДж}/\text{м}^2 \cdot \text{хв.}$, мають бути приблизно сталою величиною незалежно ні від продуктивності і розмірів вагранки, ні від вхідних параметрів L'_α і m_c . Ці втрати були знайдені шляхом складання теплових балансів для різних діючих вагранок:

$$Q_{\text{втр.}} \cong 56000 \text{ кДж/м}^2 \cdot \text{хв.} \quad (3.40)$$

Підставивши у рівняння теплового балансу вирази окремих статей прибутку і видатку теплоти, після перетворень одержуємо:

$$t_{\Gamma} = \frac{5271 - 1572,7/\alpha + 1343,2/\alpha m_C - 10,842 t_{\text{ч}}/\alpha m_C - 56000/L'_{\alpha}}{0,321/\alpha + 0,135/\alpha m_C + 1,182} \text{ } ^{\circ}\text{C}. \quad (3.41)$$

Для користуванням рівнянням (3.41) при заданих L'_{α} і m_C треба знати залежність $t_{\text{ч}}(L'_{\alpha}, m_C)$. Ця залежність була знайдена у вигляді статистичної математичної моделі на підставі експериментальних даних, які узагальнюються вищезазначеною номограмою Патерсона (див. рис. 3.2). З цією метою було складено композиційний план, який найбільш повно охоплює область експериментальних даних (табл. 3.1)

Таблица 3.1

Залежність $g'_{\text{ч}}$, $t_{\text{ч}}$ і t_{Γ} від L'_{α} і m_C

№ точ-ки	X_1	X_2	L'_{α} , нм ³ /м ² хв	m_C , % від маси металозава- лки.	α	$g'_{\text{ч}}$, т/м ² хв		$t_{\text{ч}}$, °C		t_{Γ} , °C	
						експ.	розн.	експ.	розн.	експ.	розн.
1	1	1	115	12,5	0,74	8,2	8,3	1490	1489	610	632
2	1	-1	115	9,5	0,79	10,2	10,2	1415	1417	575	574
3	-1	1	85	12,5	0,74	6,1	6,1	1456	1455	573	569
4	-1	-1	85	9,5	0,79	7,5	7,5	1415	1417	480	453
5	0	0	100	11,0	0,76	8,0	7,9	1460	1459	562	567
6	2	0	130	11,0	0,76	10,4	10,3	1425	1425	661	649
7	-2	0	70	11,0	0,76	5,5	5,6	1392	1392	451	465
8	0	2	100	14,0	0,75	6,6	6,6	1505	1506	633	623
9	0	-2	100	8,0	0,82	9,8	10,1	1400	1399	435	448

Знайдена залежність $t_{\text{ч}}(L'_{\alpha}, m_C)$ має вигляд:

$$t_{\text{ч}} = 1459 + 8,3x_1 + 27,2x_2 + 8,5x_1x_2 - 12,7x_1^2 - 1,7x_2^2, \quad (3.42)$$

де $x_1 = (L'_{\alpha} - 100)/15$ і $x_2 = (m_C - 11)/1,5$ – кодовані значення факторів.

Аналогічно одержано рівняння залежності $t_{\Gamma}(L'_{\alpha}, m_C)$ при тих же кодованих значеннях факторів:

$$t_{\Gamma} = 567,3 + 46,0x_1 + 43,7x_2 - 14,5x_1x_2 - 2,5x_1^2 - 8,0x_2^2. \quad (3.43)$$

При використанні натуральних значень факторів залежність (3.44) має вигляд:

$$t_{\Gamma} = -1310,1 + 12,4L'_{\alpha} + 171,7m_C - 0,01111(L'_{\alpha})^2 - 3,5555m_C^2 - 0,6444L'_{\alpha}m_C. \quad (3.45)$$

Результати розрахунків за рівнянням (2.56) представлені в табл. 3.1. Вони задовільно узгоджуються з експериментальними даними, а також із значеннями t_{Γ} , що відповідають рівнянню (3.41) з урахуванням виразу (3.42).

Залежність $g'_{\text{ч}}(L'_{\alpha}, m_C)$ можна було б знайти аналогічно попереднім статистичним моделям. Однак є можливість визначити її теоретично:

$$g'_{\text{ч}} = L'_{\alpha} 0,21 \cdot 12 \cdot 100 \cdot 0,01B60 / 22,4 \alpha m_C 1000,$$

що при $B = 98 \%$ дає:

$$g'_{\text{ч}} = 0,6615L'_{\alpha} / \alpha m_C. \quad (3.46)$$

Результати розрахунків за формулою (3.46) добре узгоджуються з експериментальними даними (див. табл. 3.1).

3.3. Матеріальний баланс ваграночної плавки

Вагранка продуктивністю 15 т/год

Матеріальний баланс. Розрахунок матеріального балансу проводимо на 100 кг метало завалки [2-10].

Прибуток

1) Металозавалка – 100 кг.

2) Кокс. Приймавши $L'_a = 122 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{хв})$ і $t_{\text{ч}} = 1430 \text{ }^\circ\text{C}$, за допомогою номограми Патерсона (див. рис. 3.2) 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

$$m_{\text{п}} = 6L'_a f_b \rho_{\text{п}} / P,$$

де f_b – площа поперечного перерізу вагранки, яка для 15-тонної нормалізованої вагранки становить $1,61 \text{ м}^2$; $\rho_{\text{п}}$ – густина повітря, яку приймаємо $1,29 \text{ кг} / \text{м}^3$; P – продуктивність вагранки, т/год.

Маємо: $m_{\text{п}} = 6 \cdot 125 \cdot 1,61 \cdot 1,29 / 15 = 104 \text{ кг} / (100 \text{ кг м/з})$

5) Футеровка. Згідно з виробничими даними приймаємо витрату футеровки $m_{\text{ф}} = 0,74 \text{ кг} / (100 \text{ кг м/з})$.

Видаток

1) Чавун. Кількість чавуну на виході із вагранки дорівнює масі металозавалки мінус угар кремнію m_{Si} , угар марганцю m_{Mn} , угар заліза m_{Fe} , угар (пригар) вуглецю $\pm m_{\text{C}}$, 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 $U_{\text{Si}} = 20 \%$, $U_{\text{Mn}} = 30 \%$, $U_{\text{C}} = 0 \%$. Далі на підставі заводських даних приймаємо $m_{\text{Fe}} = 0,4 \text{ кг} / 100 \text{ кг м/з}$, $m_{\text{н.в.}} = 0,2 \text{ кг} / (100 \text{ кг м/з})$.

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

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

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

$$m_q = 100 - 0,65 - 0,43 - 0,4 - 0,2 = 98,32 \text{ кг}/(100 \text{ кг м/з}).$$

2) Шлак. Визначаємо кількість шлаку, враховуючи всі статті надходження до нього:

$$m_{ш} = m_{ш,Si} + m_{ш,Mn} + m_{ш,Fe} + m_{ш,н.в.} + m_{ш,в} + m_{ш,ф} + m_{ш,к},$$

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

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

$$m_{ш} = 0,65 \cdot 60 / 28 + 0,43 \cdot 71 / 55 + 0,4 \cdot 72 / 56 + 0,2 + 3 \cdot 56 / 100 + 0,74 + 13 \cdot 12,5 / 100 = 6,71 \text{ кг}/(100 \text{ кг м/з})$$

3) Відхідні газы. Кількість газів розраховуємо як суму кількості повітря, коксу (за мінусом золи), CO₂ із вапняку мінус кисень, який пішов на окислення кремнію, марганцю і заліза:

$$m_T = 104 + 13 \cdot 87,5 / 100 + 3 \cdot 44 / 100 - 0,65 \cdot 32 / 28 - 0,43 \cdot 16 / 55 - 0,4 \cdot 16 / 56 = 115,71 \text{ кг}/(100 \text{ кг м/з})$$

Складаємо таблицю матеріального балансу (табл. 3.2).

Таблиця 3.2.

Матеріальний баланс плавки чавуну у коксовій вагранці продуктивністю 15 т/год

№ статті	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	13,00	2	Шлак	6,71
3	Вапняк	3,00	3	Відхідні газы	115,71
4	Повітря	104		Всього	220,74
5	Футеровка	0,74			
	Всього	220,74			

3.4. Тепловий баланс ваграночної плавки

Тепловий баланс. Прибуток теплоти. Приймаємо такий хімічний склад коксу, % за масою: [2-10].

C^p	H^p	O^p	N^p	S^p	A^p	W^p	Σ
81,7	0,8	0,2	0,2	0,6	12,5	4,0	100,0

Теплотворність коксу за формулою

$$Q_n^p = 339C^p + 1256H^p + 109(S^p - O^p) - 25(9H^p + W^p) = 339 \cdot 81,7 + 1256 \cdot 0,8 + 109(0,6 - 0,2) - 25(9 \cdot 0,8 + 4,0) = 28465 \text{ кДж/кг.}$$

Хімічна теплота коксу

$$Q_{x.p.} = 28465 B, \text{ кВт.}$$

Оскільки кокс, а також інші шихтові матеріали спеціально не підігріваються,

$$Q_{ф.п.} = 0; \quad Q_m = 0.$$

Фізична теплота повітря, якщо прийняти $t_{пов} = 400 \text{ }^\circ\text{C}$,

$$Q_{ф.пов.} = (104 / 1,29) 1,35 \cdot 400 (15000 / 100) / (0,9832 \cdot 3600) = 1845 \text{ кВт.}$$

Знаходимо теплоту екзотермічних реакцій окислення домішок чавуну, а також заліза, прийнявши теплові ефекти реакцій окислення кремнію, марганцю і заліза, відповідно, 31430, 7000 і 4810 кДж/кг:

$$Q_{екз} = (31430 \cdot 0,65 + 7000 \cdot 0,43 + 4810 \cdot 0,4) 15000 / (3600 \cdot 0,9832 \cdot 100) = 1074,87 \text{ кВт.}$$

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

$$Q_{ч} = (0,88 \cdot 1400 + 105) 15000 / 3600 = 5570 \text{ кВт;}$$

$$Q_{ш} = 0,0671(1,46 \cdot 1450 + 209) 15000 / (0,9832 \cdot 3600) = 661 \text{ кВт.}$$

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

$$Q_2 = \frac{115,71}{1,29} \cdot 1,5 \cdot 900 \cdot 15000 / (3600 \cdot 0,9832 \cdot 100) = 5131,7 \text{ кВт;}$$

$$Q_3 = \frac{115,71}{1,29} \cdot 0,10 \cdot 12750 \cdot 15000 / (3600 \cdot 0,9832 \cdot 100) = 4846,34 \text{ кВт.}$$

Втратами теплоти внаслідок фізичного недопалу палива нехтуємо:

$$Q_4 = 0.$$

Втрати теплоти теплопровідністю через кладку знаходимо для таких умов: зовнішній діаметр вагранки $D_{\text{зовн}} = 1,43$ м, корисна висота робочого простору $H = 6,65$ м; температура кожуха $t_k = 100$ °С; температура повітря $t_{\text{п}} = 20$ °С; ефективний коефіцієнт тепловіддачі від кожуха до навколишнього повітря $\alpha = 15 \cdot 10^{-3}$ кВт/(м²·К). Маємо:

$$Q_{5,\text{кл}} = \alpha(t_k - t_{\text{п}}) F = 15 \cdot 10^{-3} (100 - 20) \pi 1,43 (6,65 + 1,43/4) = 37,35 \text{ кВт.}$$

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

$$Q_{5,\text{охол.}} = 0,05 B 28465 = 1423 B, \text{ кВт}$$

Всі інші статті втрат серії $Q_{5,i}$, 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:

$$28465 B + 1845 + 1074,87 = 5570 + 661 + 5131,7 + 4846,61 + 37,68 + 1423 B;$$

$$27042 B = 13327; B = 0,493 \text{ кг/с.}$$

Витрата металозавалки за секунду

$$P' = 15000 / (3600 \cdot 0,9832) = 4,237 \text{ кг/с.}$$

Відносна витрата коксу

$$K = 0,493 \cdot 100 / 4,237 = 11,63 \text{ \%}.$$

Результати розрахунку теплового балансу зводимо у табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Тепловий баланс вагранки продуктивністю 15 т/год

№ п/п	Прибуток теплоти	кВт	%%	№ п/п	Видаток теплоти	кВт	%%
1	$Q_{х.п.}$	14028	82,6	1	$Q_{чав}$	5570	29,4
2	$Q_{ф.пов.}$	1845	11,7	2	$Q_{шл}$	661	3,5
3	$Q_{екз}$	1074,87	5,7	3	Q_2	5131,7	32,2
	Всього	16947,8	100,0	4	Q_3	4846,34	30,4
				5	$Q_{5,кл}$	37,35	0,4
				6	$Q_{5,охол}$	701,5	4,1
					Всього	16947,8	100,0

Коефіцієнт корисної дії вагранки

$$\eta = (5570 + 661)100 / 14028 = 44,42 \%$$

ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній бакалаврській роботі виконано проектування кисневої вагранки ємністю 15,0 т розглянуто її устрій та принцип роботи. Виконано розрахунок основних розмірів профілю вагранки, розраховано матеріальний і тепловий баланси.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кропівний В.М., Кузик О.В., Босий М.В., Молокост Л.А. Технологія основних виробництв: навч. посіб. для студ. 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. Конвертерне виробництво сталі в прикладах і задачах: навч. посіб. / Величко О.Г. та ін. Дніпро: НМетАУ, 2018. 98 с.
4. Клименко В. М, Шиліна О. П., Осадчук А. Ю. Технологія конструкційних матеріалів. *Конструкційні матеріали: властивості, класифікація, виробництво*: навч. посіб. Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2005. 97 с.
5. Пахаренко В. Л., Марчук М.М. Матеріалознавство та технологія конструкційних матеріалів (металургія, ливарне виробництво): навч. посіб. Рівне: НУВГП, 2009. 179с.
6. Системи технологій та промислова екологія: метод. вказівки до практичних занять та розрахункової роботи з дисципліни для студ. усіх форм навч. спец. 101 «Екологія». [уклад.: Самойленко Н.М., Горбунова О.В., Аверченко В.І.]. Харків : НТУ «ХП», 2017. 28 с.
7. 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. К: Видавничий дім “Вініченко”, 2016. 224 с.
8. Турич В.В., Руткевич В.С. Матеріалознавство: навч. посіб. Вінниця: РВВ ВНАУ, 2012. 100с.
9. Бузило В.І., Сердюк В.П., Яворський А.В., Гайдай О.А. Матеріалознавство: навч. посіб. М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка» . Дніпро : НТУ «ДП», 2021. 243 с .
10. Шиліна О.П. Технологія конструкційних матеріалів. Частина друга. Заготівельне виробництво : навчальний посібник [Електронний ресурс]. Вінниця: ВНТУ, 2025. 154 с.

ДОДАТКИ