

Міністерство освіти і науки України

**Луцький національний технічний університет
Факультет митної справи, матеріалів та технологій**

Кафедра матеріалознавства

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»**

**Проект конвеєрної полум'яної печі з розробкою
технологічного процесу термічної обробки деталей типу
вилка / Project of a conveyor flame furnace with development
of a technological process for heat treatment of fork-type parts**

спеціальність 132 Матеріалознавство

освітня програма «Індустріальний інжиніринг і менеджмент»

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ПМ(ПМ)с-31
Сличко Євгеній Миколайович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Мисковець Сергій Васильович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 2026 р.
к.т.н., доцент
Гарант освітньої програми:
Гусачук Дмитро Анатолійович

(підпис)

Луцьк – 2026 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет митної справи, матеріалів, технологій та гостинності

Кафедра матеріалознавства

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 132 Матеріалознавство

Освітня програма: Індустріальний інжиніринг і менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Імбирович Н.Ю.

“03” січня 2026 року

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Сличку Євгенію Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Проект конвеєрної полум'яної печі з розробкою технологічного процесу термічної обробки деталей типу вилка/Project of a conveyor flame furnace with development of a technological process for heat treatment of fork-type parts
керівник роботи Мисковець Сергій Васильович, к.т.н., доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 31.12.25 року № 540/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи
« 19 » травня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи креслення деталі, програма випуску $N=1250000$ шт., склад природного газу: $CH_4=81\%$, $C_2H_6=9\%$, $C_3H_8=0,8\%$, $C_4H_{10}=0,7\%$, $N_2=5\%$

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) вступ; розділ 1 технічне обґрунтування; розділ 2 технологічна частина; розділ 3 конструкторська частина; висновки; список використаних джерел; додатки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Мета і задачі дипломної роботи - 1л. ф.А4, 2. Креслення деталі - 1л. ф.А4,

3.Хімічний склад природного газу і продуктів горіння палива-1л. ф.А4, 4. Креслення печі -

2л. ф.А4 5. Креслення горілки -1л. ф.А4, 6.Креслення рекуператора-1л. ф.А4,

7. Тепловий баланс печі - 1л. ф.А4, 8.Висновки - 1л. ф.А4.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Н. контоль</i>	<i>Мисковець С.В., доцент</i>	<i>03.01.26</i>	<i>19.05.26</i>

7. Дата видачі завдання «03» січня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
<i>1</i>	<i>Вступ, розділ 1 Технічне обґрунтування</i>	<i>05.05.26</i>	
<i>2</i>	<i>Розділ 2 Технологічна частина</i>	<i>12.05.26</i>	
<i>3</i>	<i>Розділ 3 Конструкторська частина, висновки</i>	<i>19.05.26</i>	

Здобувач вищої освіти _____ *Сличко Є.М.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ *Мисковець С.В.*
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Сличко Євгеній Миколайович. Проєкт конвеєрної полум'яної печі з розробкою технологічного процесу термічної обробки деталей типу вилка. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Індустріальний інжиніринг і менеджмент» спеціальності 132 Матеріалознавство. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2026.

В даній роботі розроблено проєкт конвеєрної полум'яної печі з розробкою технологічного процесу гартування деталей типу вилка.

На основі технологічних розрахунків визначено тип та розміри робочої камери печі.

Для визначення витрат палива було складено тепловий баланс. Тепловий баланс печі враховує нагрів металу та конвеєра, всі втрати тепла через стіни склепіння та черинь печі, втрати тепла через відкриті вікна печі та втрати тепла з продуктами горіння.

Для підвищення коефіцієнту корисної дії печі спроектовано рекуператор трубчатого типу.

Бакалаврська робота складається з графічної частини та пояснювальної записки. Пояснювальна записка містить 39 сторінку формату А4, 2 таблиці, 8 рисунків та 13 літературних джерела. Графічна частина містить 9 листів формату А4 у додатку А.

Ключові слова: паливо , конвеєрна піч, рекуператор, горілка, тепловий баланс.

					БП 4826.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	Сличко				Проект конвеєрної полум'яної печі з розробкою технологічного процесу термічної обробки деталей типу вилка	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Мисковець						3	54
Реценз.						ЛНТУ, каф. матеріалознавства, гр. ПМ(ІІМ)с-31		
Н. Контр.	Мисковець							
Затв.	Імдірович							

ANNOTATION

Slychko Yevgeny Mykolayovych. Project of a conveyor flame furnace with the development of a technological process for heat treatment of fork-type parts. Manuscript.

Bachelor's qualification work OP "Industrial Engineering and Management" specialty 132 Materials Science. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2026.

In this work, a project of a conveyor flame furnace was developed with the development of a technological process for hardening fork-type parts.

Based on technological calculations, the type and dimensions of the furnace working chamber have been determined.

To determine fuel consumption, a heat balance was drawn up. The heat balance of the furnace takes into account the heating of the metal and the conveyor, all heat losses through the walls of the vault and the furnace lining, heat losses through open furnace windows and heat losses with combustion products.

To increase the efficiency of the furnace, a tubular recuperator has been designed.

The bachelor's thesis consists of a graphic part and an explanatory note. The explanatory note contains 39 pages of A4 format, 2 tables, 8 figures and 13 literary sources. The graphic part contains 9 sheets of A4 format in Appendix A.

Keywords: fuel, conveyor furnace, recuperator, vodka, heat balance.

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	8
1.1. Аналіз креслення деталі, технічних умов, визначення типу виробництва	8
1.2. Аналіз існуючого технологічного процесу	9
1.3 Вибір раціонального технологічного процесу	10
1.4. Мета і задачі дипломної роботи	11
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	12
2.1. Розрахунок горіння палива	12
2.2. Тривалість нагріву металу.....	14
2.3. Тепловий баланс печі.....	17
2.3.1. Нагрів металу.....	17
2.3.2. Нагрів конвеєра	18
2.3.4. Витрати тепла через стіни, склепіння і під печі.....	19
2.3.5. Втрати теплоти через вікна печі	21
2.3.6. Кількість тепла, що повертається через рекуператор у піч	22
2.3.7. Розрахунок теплового балансу печі	22
2.4. Швидкість охолодження деталей	23
2.5. Проектний технологічний процес гартування деталі вилка	24
РОЗДІЛ 3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	26
3.1. Розрахунок розмірів робочої камери печі	26
3.2. Вибір матеріалів для побудови печі.....	29
3.3. Вибір горілок	30
3.4. Розрахунок рекуператора	32
ВИСНОВКИ.....	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	38
ДОДАТКИ	

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Термічною обробкою (ТО) називаються процеси, сутність яких полягає в нагріві і охолодженні виробів за певними режимами, в результаті чого відбуваються зміни структури, фазового складу, механічних і фізичних властивостей матеріалу, без зміни хімічного складу [1].

Термічну обробку застосовують на різних стадіях виробництва деталей машин і металовиробів. В одних випадках вона може бути проміжною операцією, що служить для поліпшення оброблюваності сплавів тиском, різанням, в інших – є остаточною операцією, що забезпечує необхідний комплекс показників механічних, фізичних і експлуатаційних властивостей виробів або напівфабрикатів. Напівфабрикати піддають термічній обробці для поліпшення структури, зниження твердості (поліпшення оброблюваності), а деталі – для додання їм певних, необхідних властивостей (твердості, зносостійкості, міцності та інших). У результаті термічної обробки властивості сплавів можуть бути змінені в широких межах. Можливість значного підвищення механічних властивостей після термічної обробки у порівнянні з вихідним станом дозволяє збільшити допустимі напруження, зменшити розміри і масу машин і механізмів, підвищити надійність і термін служби виробів. Поліпшення властивостей в результаті термічної обробки дозволяє застосовувати сплави більш простих складів, а тому більш дешеві. Сплави набувають також деякі нові властивості, у зв'язку з чим розширюється сфера їх застосування.

У наш час термічні цехи машинобудівної промисловості оснащені сучасним устаткуванням і приладами, у багатьох цехах здійснені комплексна механізація й автоматизація технологічних процесів.

Обладнання для термічної обробки поділяється на три групи: основне, доповнювальне та допоміжне. Основне обладнання застосовується для виконання основних технологічних операцій термообробки. До нього належать нагрівальні печі й установки, механізовані агрегати, обладнання для

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

охолодження (гартівні баки і машини, установки для обробки металу холодом тощо). Доповнювальне обладнання містить устаткування для виправлення й очищення деталей (гідравлічні та механічні правильні преси, травильні установки, мийні машини, дробо- і гідропіскострумні апарати та ін.). До допоміжного обладнання належать контрольно-вимірювальна апаратура, пристрої для охолодження гартівних рідин, підйально-транспортне, санітарно-технічне обладнання, установки для приготування захисних атмосфер тощо.

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

1.1. Аналіз креслення деталі, технічних умов, визначення типу виробництва

37 Хімічний склад та фізичні властивості даної сталі вказані у таблиці 1.1 та 1.2.

Конструкційна сталь – це група сталей з яких виготовляють деталі механізмів, машин, зварні конструкції тощо. Такі сталі можуть містити в собі вуглецю 0,50...0,70%. Залежно від вмісту сірки і фосфору сталі бувають якісними (0,03% і 0,035%) і високоякісними (0,02% і 0,03% відповідно).

Густина сталі 60C2H2A при температурі 20°C становить 7800 кг/м³. [2]

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 60C2H2A

Хім. елемент	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
Вміст, %	0,56-0,64	1,4-1,8	0,4-0,7	1,4-1,7	до 0,025	до 0,025	до 0,3	до 0,2

Таблиця 1.2 – Фізичні властивості сталі 60C2H2A

Температура, при якій отримані дані, Град	Модуль пружності, 10 ⁻⁵ МПа	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·град)	Питомий електроопір, Ом·м
20	1,91	58	1,71·10 ⁻⁷

Це багатофункціональна несуча деталь. Її габаритні розміри 230,8×192,5×80 мм. На рисунку 1.1 представлена 3D модель деталі вилка.

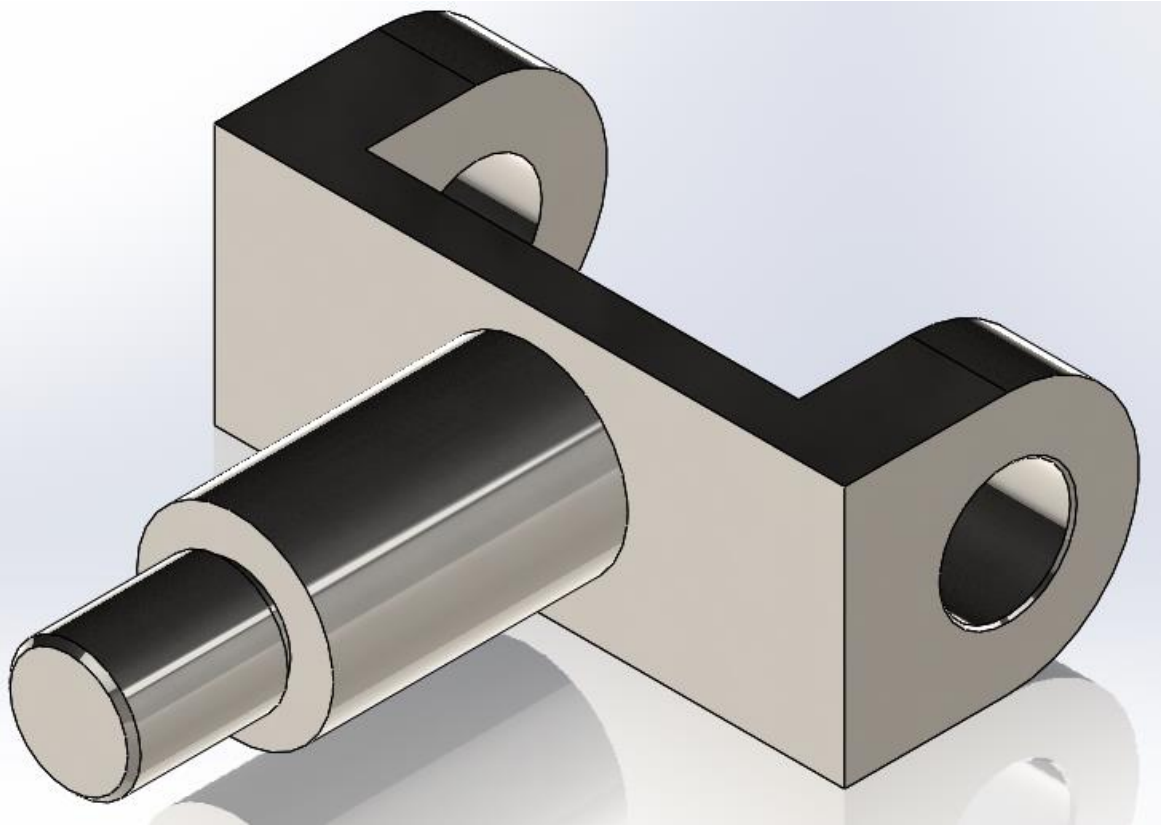


Рисунок 1.1

1.2. Аналіз існуючого технологічного процесу

Гартуванням називається операція, при якій сталь нагрівають на $30...50^{\circ}\text{C}$ вище від точки A_{c1} або A_{c3} , витримують при цій температурі, а потім швидко (звичайно з швидкістю, більшою за критичну) охолоджують. Внаслідок гартування в сталі, як правило, формується мартенситна структура, тому твердість і міцність її досягають максимальної величини.

Нагрівання при гартуванні потрібне для переведення структури сталі в стан аустеніту, а швидке охолодження – для того, щоб запобігти розпаданню аустеніту на ферито-цементитні суміші (троостит, сорбіт) і переохолодженню його до температури мартенситного перетворення.

Швидкість охолодження сталі при гартуванні визначається охолодною здатністю гартівного середовища (найчастіше води або мінеральної оливи).

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Залежно від складу сталі, форми і розмірів виробів, що гартуються, застосовують різні способи гартування [1].

1.3 Вибір раціонального технологічного процесу

Для термічної обробки деталі вилка даної марки сталі використовують як камерні так і методичні печі.

Методична піч – піч з великою різницею за довжиною, шириною робочого простору і з різною температурою в різних її точках. Призначена для нагрівання або термічної обробки різноманітних матеріалів. Типовий представник камерної печі для нагріву – конвеєрна піч. Одна з основних відмінностей режимів нагріву і режимів термообробки в близьких за конструкцією печей полягає в тому, що в термічних печах часто реалізується режим при заданому законі зміни температури поверхні металу.

Перевага методичних печей – їх вищий коефіцієнт корисної дії ніж у камерних печей.

З врахуванням програми випуску нагрів деталей будемо проводити у конвеєрній печі. Відповідно у печі має бути три зони нагріву:

- перша зона з температурою від 200 до 600° С має забезпечити початковий нагрів деталей без тріщин і дефектів;
- друга зона з температурою від 600 до 800° С служить для врівноваження зміни об'ємів між фазами;
- третя зона з температурою від 800 до 920° С використовується для вирівнювання температури на поверхні і всередині деталі.

Після нагріву деталей до температури 870° С їх необхідно охолодити в оліві.

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.4. Мета і задачі дипломної роботи

Метою дипломної роботи є розробка проєкт конвеєрної полом'яної печі з розробкою технологічного процесу обробки деталей типу вилка

Відповідно для цього необхідно:

- провести технологічні розрахунки для горіння палива, тривалості нагріву металу;
- скласти тепловий баланс печі
- розробити технологічний процес термічної обробки загартування для деталей типу вилки;
- спроектувати конвеєрну піч для реалізації технологічного процесу.

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Розрахунок горіння палива

При розрахунку горіння палива визначається:

- теплотворність палива;
- кількість повітря, яка необхідна для повного спалювання одиниці палива;
- кількість і склад утворених при цьому продуктів горіння [4].

2.1.1. Теплотворність палива

Теплотворність для газоподібного палива визначається за формулою:

$$Q_n^p = 127CO + 108H_2 + 234H_2S + 357CH_4 + \sum Q \frac{C_m H_n}{100}$$
$$Q_n^p = 357 \cdot 84 + \frac{63500 \cdot 9 + 91100 \cdot 0,6 + 118600 \cdot 0,7}{100} = 37079,8 \text{ кДж/м}^3,$$

де CO , H_2 і т.д. – відсотковий вміст відповідних компонентів в паливі. Член $\sum Q \frac{C_m H_n}{100}$ виражає суму добутків теплоти згорання компонентів газу на їх відсотковий вміст у газі.

2.1.2. Кількість повітря, яка необхідна для повного спалювання одиниці палива

Кількість повітря, яка необхідна для повного спалювання одиниці палива для газоподібного палива:

$$L_o = \alpha_n L_0,$$

де α_n – коефіцієнт витрат повітря, що рівний 1,05,

L_0 – теоретична кількість повітря, яка необхідна для спалювання одиниці газоподібного палива.

$$L_o = 1,05 \cdot 9,96 = 10,45 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L_0 = 0,0476[0,5CO + 0,5H_2 + 1,5H_2S + 2CH_4 + \sum \left(m + \frac{n}{4}\right) C_m H_n - O_2](1 + 0,00124d_n)$$

$$L_0 = 0,0476[2 \cdot 84 + \left(2 + \frac{6}{4}\right) \cdot 9 + \left(3 + \frac{8}{4}\right) \cdot 0,6 + \left(4 + \frac{10}{4}\right) \cdot 0,7 - 0,3] \cdot (1 + 0,00124 \cdot 10) = 9,96 \text{ м}^3/\text{м}^3,$$

де d_n – вологовміст сухого повітря, що складає $10 \text{ г}/\text{м}^3$.

2.1.3. Кількість і склад продуктів повного спалювання палива

Для газоподібного палива.

Вміст вуглекислого газу визначається:

$$V_{CO_2} = (CO + CO_2 + CH_4 + \sum m C_m H_n) \cdot 0,01 \text{ м}^3/\text{м}^3,$$

$$V_{CO_2} = (0,4 + 84 + 2 \cdot 9 + 3 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,7) \cdot 0,01 = 1,07 \text{ м}^3/\text{м}^3,$$

Вміст водяної пари:

$$V_{H_2O} = \left(H_2 + H_2S + 2CH_4 + \sum \frac{n}{2} C_m H_n + H_2O + 0,124L_0d_n \right) \cdot 0,01 \text{ м}^3/\text{м}^3, \quad (2.5)$$

$$V_{H_2O} = \left(2 \cdot 84 + \frac{6}{2} \cdot 9 + \frac{8}{2} \cdot 0,6 + \frac{10}{2} \cdot 0,7 + 0,124 \cdot 10,14 \cdot 10 \right) \cdot 0,01 = 2,14 \text{ м}^3/\text{м}^3,$$

Вміст діоксиду сірки:

$$V_{SO_2} = 0,01H_2S = 0 \text{ м}^3/\text{м}^3,$$

Вміст кисню:

$$V_{O_2} = 0,21(\alpha_n - 1)L_0 \text{ м}^3/\text{м}^3,$$

$$V_{O_2} = 0,21(1,05 - 1) \cdot 9,96 = 0,10458 \text{ м}^3/\text{м}^3,$$

Вміст азоту:

$$V_{N_2} = (N_2 + 79L_0) \cdot 0,01 \text{ м}^3/\text{м}^3,$$

$$V_{N_2} = (5 + 79 \cdot 10,45) \cdot 0,01 = 8,3055 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Сумарний об'єм продуктів горіння:

$$V_{\text{д}} = V_{CO_2} + V_{H_2O} + V_{SO_2} + V_{O_2} + V_{N_2} \text{ м}^3/\text{м}^3,$$

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$V_o = 1,07 + 0,10458 + 8,3055 + 2,14 = 11,61868 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

Відсотковий вміст продуктів горіння:

Для вуглекислого газу:

$$CO_2 = \frac{V_{CO_2}}{V_o} \cdot 100\% = \frac{1,07}{11,61868} \cdot 100\% = 9,21\%,$$

Для парів води:

$$H_2O = \frac{V_{H_2O}}{V_o} \cdot 100\% = \frac{2,14}{11,61868} \cdot 100\% = 18,41\%,$$

Для кисню:

$$O_2 = \frac{V_{O_2}}{V_o} \cdot 100\% = \frac{0,10458}{11,61868} \cdot 100\% = 0,90\%,$$

Для азоту:

$$N_2 = \frac{V_{N_2}}{V_o} \cdot 100\% = \frac{8,30}{11,61868} \cdot 100\% = 71,47\%.$$

2.2. Тривалість нагріву металу

При розрахунку часу нагріву нагрів розбивається на три інтервали:
I – 20...600 °С, II – 600...800 °С, III – 800...870 °С.

Для тонких тіл тривалість нагріву визначимо за формулою:

$$\tau = \frac{S \rho C_p}{k_1 \alpha} \ln \frac{t_{nec} - t_n}{t_{nec} - t_k},$$

де S – розрахункова товщина тіла, що нагрівається (половина товщини при двосторонньому нагріві);

k_1 – коефіцієнт форми, який для циліндра дорівнює 2;

ρ – густина металу, кг/м³;

C_p – середня теплоємність, Дж/кг·град;

α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м²·град;

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$t_{печ}$ – температура печі, °C;

t_n – початкова температура тіла, °C;

t_k – кінцева температура тіла, °C;

$$\tau_1 = \frac{30 \cdot 7800 \cdot 570}{2 \cdot 145,0984} \cdot \ln \frac{950 - 20}{950 - 600} = 449,2 \text{ с};$$

$$\tau_2 = \frac{30 \cdot 7800 \cdot 990}{2 \cdot 219,9858} \cdot \ln \frac{950 - 600}{950 - 800} = 446,1 \text{ с};$$

$$\tau_3 = \frac{30 \cdot 7800 \cdot 1060}{2 \cdot 258,5995} \cdot \ln \frac{950 - 800}{950 - 870} = 301,5 \text{ с}.$$

Середня теплоємність металу в інтервалі температур розрахуємо за формулою:

$$C_{pt_n}^{t_k} = \frac{i_0^{t_k} - i_0^{t_n}}{t_k - t_n},$$

де i^t – тепловміст при температурі t , кДж/кг.

Для першого інтервалу:

$$C_{pt_n1}^{t_k} = \frac{343,7 - 9,54}{600 - 20} = 0,57 \text{ кДж/кг}.$$

Для другого інтервалу:

$$C_{pt_n2}^{t_k} = \frac{542,2 - 343,7}{800 - 600} = 0,99 \text{ кДж/кг}.$$

Для третього інтервалу:

$$C_{pt_n3}^{t_k} = \frac{616,6 - 542,2}{870 - 800} = 1,06 \text{ кДж/кг}.$$

Коефіцієнт тепловіддачі розрахуємо за формулою:

$$\alpha^* = \sigma_{печ} \frac{\left(\frac{T_{печ}}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_n}{100}\right)^4}{t_{печ} - t_n},$$

де $t_{печ}(T_{печ})$ – температура печі, °C(°K);

$t_n(T_n)$ – температура поверхні, °C(°K);

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\sigma_{печ} = \varepsilon \sigma_0$ - приведений коефіцієнт випромінювання, Вт/м²·°К⁴,

де $\sigma_0 = 5,76$ Вт/м²·°К⁴;

ε – степiнь чорноти.

Коефіцієнт тепловіддачі за температури 20° С:

$$\alpha_1^* = 4,07 \frac{\left(\frac{1223}{100}\right)^4 - \left(\frac{293}{100}\right)^4}{950 - 20} = 97,58.$$

Коефіцієнт тепловіддачі за температури 600° С:

$$\alpha_2^* = 4,07 \frac{22372 - 5808,4}{950 - 600} = 192,61.$$

Коефіцієнт тепловіддачі за температури 800° С:

$$\alpha_3^* = 4,07 \frac{22372 - 13255,6}{950 - 800} = 247,36.$$

Коефіцієнт тепловіддачі за температури 870° С:

$$\alpha_4^* = 4,07 \frac{22372 - 17068}{950 - 870} = 269,84.$$

Середнє значення коефіцієнту тепловіддачі визначимо за формулою:

$$\alpha = \frac{\alpha_n + \alpha_k}{2}.$$

Для першого інтервалу:

$$\alpha_1 = \frac{97,58 + 192,61}{2} = 145,0984.$$

Для другого інтервалу:

$$\alpha_2 = \frac{192,61 + 247,36}{2} = 219,9860.$$

Для третього інтервалу:

$$\alpha_3 = \frac{247,36 + 269,84}{2} = 258,60.$$

Загальний час нагріву становитиме:

$$\tau = 449,2 + 446,1 + 301,5 \text{ с} = 19,8 \text{ хв.}$$

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Тепловий баланс печі

Під час роботи печі відбувається безперервна передача тепла від більш гарячих тіл до більш холодних.

Тепловий баланс печі враховує всі джерела приходу і витрати тепла у печі.

Прибуткова частина теплового балансу печі складається з тепла, яке виділилося при спалюванні палива та тепла, яке повертається в піч через рекуператор.

Видаткова частина балансу буде складатися з декількох статей:

- нагрів металу;
- нагрів конвеєра;
- втрати з продуктами горіння;
- втрати через стіни, склепіння і черинь печі;
- втрати тепла через вікна печі;

2.3.1. Нагрів металу

Тепло, витрачене на нагрів металу, тобто деталей, що піддаються термічній обробці, – це єдина корисна складова балансу. Кількість тепла на нагрівання металу визначається за формулою:

$$Q_{мет} = (i_k - i_n) \Pi,$$

де Π – продуктивність печі, кг/год.

$$Q_{мет} = (616,7 - 9,46) \cdot 1634,843 = 991768,6 \text{ кДж.}$$

Продуктивність печі визначимо за формулою:

$$\Pi = \frac{N_c \cdot m_d}{\tau_{заг}},$$

де m_d – маса деталі, що рівна 6,28 кг.

$$\Pi = \frac{252 \cdot 6,28}{0,97} = 1633,24 \text{ кг/год,}$$

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3.2. Нагрів конвеєра

Тепло, витрачене на нагрів конвеєра, – небажана складова балансу. Чим важчий конвеєр, тим менше к.к.д. печі. Кількість тепла на нагрівання конвеєра за 1 год визначається за формулою:

$$Q_m = C_m (i_k - i_n) \cdot G_m,$$

$$Q_m = 0,538 \cdot (616,7 - 9,38) \cdot 2730,55 = 919313,6 \text{ кДж.}$$

де G_m – маса тари, що нагрівається за 1 год, кг;

C_m – теплоємність матеріалу тари, яка рівна 0,538 кДж/(кг·°С)

$$G_m = G_l + G_o + G_z,$$

$$G_m = 2204,4 + 331,5 + 1199,52 = 2730,55 \text{ кг.}$$

де G_l – маса ланок конвеєра (рисунок 2.1), кг;

G_o – маса барабанів, яка рівна 331,5 кг;

G_z – маса з'єднувальних стержнів дорівнює 1199,52 кг.

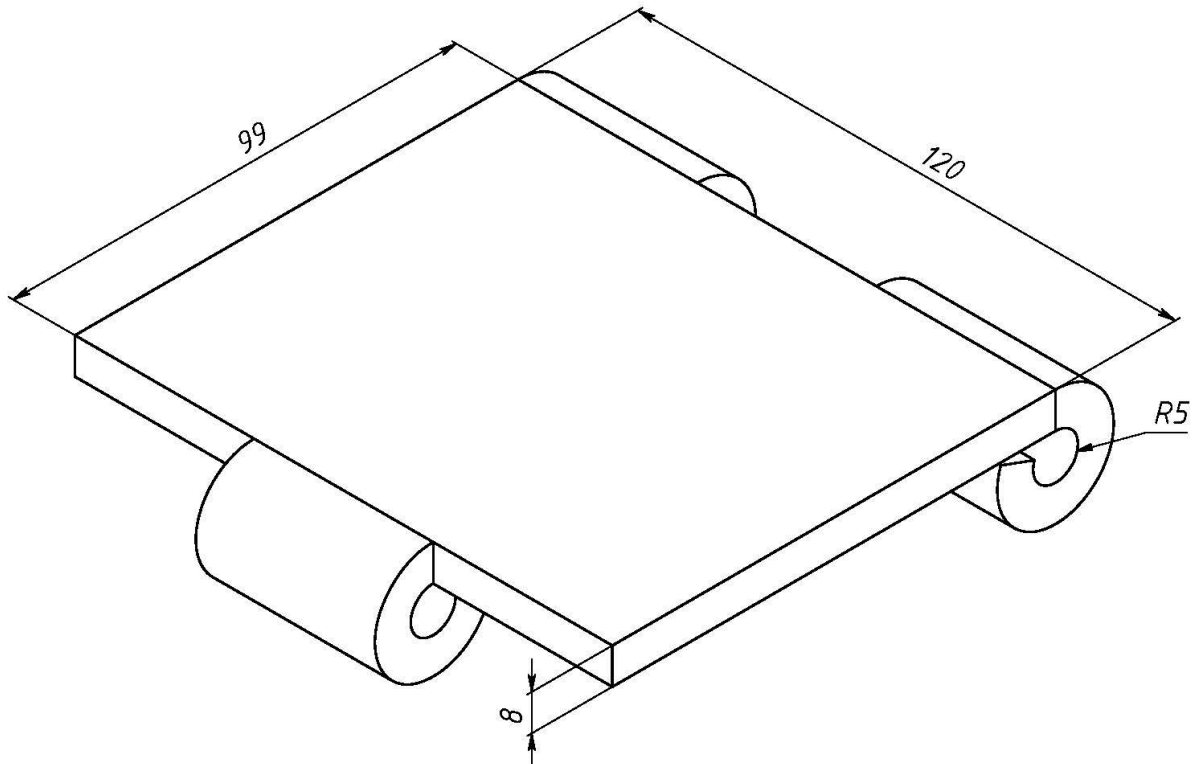


Рисунок 2.1 – Ланка конвеєра

$$G_{\text{л}} = V_{\text{л}} \cdot n_{\text{л}},$$

$$G_{\text{л}} = 1,2 \cdot 1837 = 2204,4 \text{ кг.}$$

де $n_{\text{л}}$ – кількість ланок конвеєра, яка дорівнює 1837 шт;

$V_{\text{л}}$ – маса однієї ланки, яка рівна 1,2 кг.

2.3.3. Втрати тепла з димовими газами

Продукти, що утворюються при спалюванні палива, виходячи з печі, несуть із собою велику кількість тепла, яке визначається за формулою:

$$Q_{\text{н.г.}} = i_{\text{н.г.}} \cdot V_{\text{н.г.}},$$

$$Q_{\text{н.г.}} = 1354,047 \cdot 11,62 = 15732,24 \text{ кДж,}$$

де $i_{\text{н.г.}}$ – теплоємність продуктів горіння, кДж/м³;

$V_{\text{н.г.}}$ – об'єм продуктів горіння, м³/м³;

$$i_{\text{н.г.}} = \frac{i_{\text{CO}_2} \cdot \text{CO}_2 + i_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \text{H}_2\text{O} + i_{\text{O}_2} \cdot \text{O}_2 + i_{\text{N}_2} \cdot \text{N}_2}{100\%},$$

$$i_{\text{н.г.}} = \frac{1967,5 \cdot 9,21\% + 1526,8 \cdot 18,41\% + 1320,2 \cdot 0,90\% + 1247,7 \cdot 71,47\%}{100\%} = 1354,047 \text{ кДж/м}^3.$$

2.3.4. Витрати тепла через стіни, склепіння і під печі

Зовнішня поверхня печі має більш високу температуру, ніж навколишнє середовище, тому відбувається безупинна передача тепла печі навколишньому повітрю за рахунок конвекції і навколишньому простору за рахунок випромінювання.

Кількість тепла, що витрачається стінами печі вогнетривкого шару можна визначити за формулою:

$$Q_{\text{ст.в}} = k_{\text{ш}} \cdot (t_1 - t_2) \cdot F,$$

де $k_{\text{ш}}$ – коефіцієнт теплопередачі шамотної цегли, Вт/(м²·°C),

t_1 – температура в печі, 950 °C,

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

t_2 – температура на межі вогнетривкого і теплоізоляційного шару, 185 °С,

F – площа стінок печі, м².

$$k_{ш} = 0,9 + 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 950 = 1,185 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}.$$

$$F = F_1 + F_2 + F_3,$$

де F_1 – площа правої і лівої стінок, 59,8 м²,

F_2 – площа задньої і передньої стінок, 8,51 м²,

F_3 – площа нижньої частини печі, 17,58 м².

$$F = 59,8 + 8,51 + 17,58 = 85,89 \text{ м}^2.$$

$$Q_{ст.в} = 1,185 \cdot (950 - 185) \cdot 85,89 = 77861,41 \text{ кДж}.$$

Кількість тепла, що витрачається стінами печі теплоізоляційного шару можна визначити за формулою:

$$Q_{ст.м.із.} = k_{\delta} \cdot (t_3 - t_4) \cdot F$$

де k_{δ} – коефіцієнт теплопередачі діатомітової цегли, Вт/(м²·°С),

t_3 – температура на межі внутрішнього і теплоізоляційного шару, 185 °С,

t_4 – температура зовнішніх стінок печі 60 °С.

$$k_{\delta} = 0,163 + 0,313 \cdot 10^{-3} \cdot 950 = 0,46 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}.$$

$$Q_{ст.м.із.} = 0,46 \cdot (185 - 60) \cdot 85,89 = 4938,67 \text{ кДж}.$$

Кількість тепла, що витрачається склепінням печі внутрішнього шару можна визначити за формулою:

$$Q_{ск.в} = k_{ш} \cdot (t_1 - t_2) \cdot F,$$

де $k_{ш}$ – коефіцієнт теплопередачі шамотної цегли, Вт/(м²·°С),

F – площа внутрішнього шару, 16,83 м².

$$Q_{ск.в} = 1,185 \cdot (950 - 185) \cdot 16,83 = 15218,19 \text{ кДж}.$$

Кількість тепла, що витрачається теплоізоляційним шаром можна визначити за формулою:

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{ск.т.і} = k_{із.з.вулк.} \cdot (t_3 - t_4) \cdot F,$$

де $k_{із.з.вулк.}$ – коефіцієнт теплопередачі теплоізоляційного шару, Вт/(м·°С),

F – площа теплоізоляційного шару, 26,81 м².

$$k_{із.з.вулк.} = 0,078 + 0,186 \cdot 10^{-3} \cdot 950 = 0,25 \text{ Вт/(м·°С)}.$$

$$Q_{ск.т.і} = 0,25 \cdot (185 - 60) \cdot 26,81 = 837,8 \text{ кДж}.$$

Загальні витрати тепла через стіни:

$$Q_{пов} = Q_{ст.в} + Q_{ст.т.із} + Q_{ск.в} + Q_{ск.т.із}$$

$$Q_{пов} = 77861,41 + 4938,67 + 15218,19 + 837,8 = 98856,075 \text{ кДж}.$$

2.3.5. Втрати теплоти через вікна печі

У момент відкриття завантажувального та розвантажувального вікон печі з камери нагрівання за рахунок випромінювання витрачається тепло. Кількість тепла можна визначити за формулою:

$$Q_{вік} = 5,7 F_{вік} \varphi \tau \left(\frac{T_n}{100} \right)^4,$$

$$Q_{вік} = 5,7 \cdot 0,76 \cdot 0,64 \cdot 1 \left(\frac{1223}{100} \right)^4 = 62026,07 \text{ кДж}.$$

де $F_{вік}$ – площа відкритого вікна, м²;

φ – коефіцієнт діафрагмування, що залежить від конфігурації вікна і товщини стіни, 0,64;

τ – частка часу протягом години, коли вікно відкрите, 1 год;

T_n – температура в печі, 1223К.

$$F_{вік} = H \cdot B = 0,500 \cdot 1,518 = 0,76 \text{ м}^2.$$

де H – висота отвору при відкритому вікні, м;

B – ширина отвору при відкритому вікні, м;

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3.6. Кількість тепла, що повертається через рекуператор у піч

Кількість тепла, що повертається через рекуператор у піч, визначається за формулою:

$$Q_{рек} = L_0 i_0,$$

де L_0 – кількість повітря, яка необхідна для спалювання одиниці палива, $10,45 \text{ м}^3/\text{м}^3$;

i_0 – тепловміст підігрітого повітря, $533 \text{ кДж}/\text{м}^3$.

$$Q_{рек} = 10,45 \cdot 533 = 5569,85 \text{ кДж}.$$

2.3.7. Розрахунок теплового балансу печі

Після визначення всіх статей складаємо рівняння теплового балансу:

$$1,18(Q_{мет} + Q_m + Q_{н.г.} B + Q_{нов} + Q_{вік}) = Q_n^p B + Q_{рек} B,$$

де B – витрати палива, м^3 .

$$1,18(991768,6 + 919313,6 + 15732,24 \cdot B + 98856,075 + 62026,07) = 37079,8 \cdot B + 5569,8 \cdot B$$

$$B = 101,5 \text{ м}^3.$$

Знайдемо кількість тепла, що витрачається через інші причини:

$$Q_{мет} + Q_m + Q_{н.г.} B + Q_{нов} + Q_{вік} + Q_{ін} = Q_n^p B + Q_{рек} B$$

$$991768,6 + 919313,6 + 15732,24 \cdot 101,5 + 97918,4 + 130070,8 + Q_{ін} = 37079,8 \cdot 101,5 + 5569,85 \cdot 101,5$$

Звідси:

$$Q_{ін} = 593045,715 \text{ кДж}.$$

Кількість тепла утвореного від спалювання палива становить:

$$Q_{ннов.}^p = 3763599,7 \text{ кДж}.$$

Загальний прихід тепла в піч становить:

$$Q_{заг.} = 4328939,475 \text{ кДж}.$$

Графічне зображення теплового балансу показано на рисунку 2.2.

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

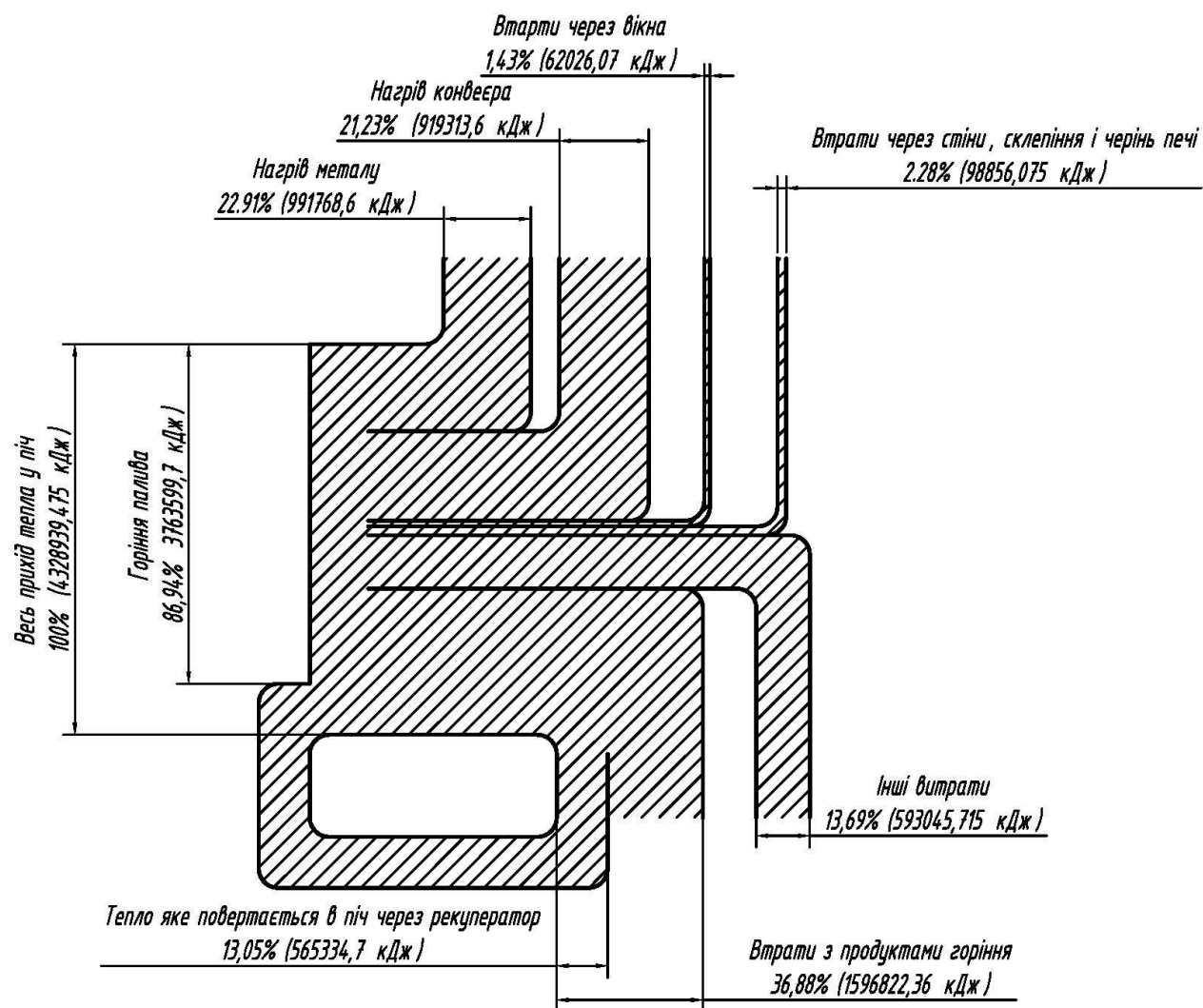


Рисунок 2.2 – Тепловий баланс печі

2.4. Швидкість охолодження деталей

Швидкість охолодження дуже важлива стадія в процесі загартування.

Основним показником при виборі середовища охолодження, служить критична швидкість охолодження, що визначається за формулою:

$$V_{кр} = \frac{T_z - T_{min}}{1.5 \cdot \tau_{min}} \text{ град./с ,}$$

де, T_z – температура загартування, $T_z=870^\circ\text{C}$;

T_{min} – температура мінімальної тривалості $A_{ост}$;

τ_{min} – час мінімальної тривалості $A_{ост}$;

T_{min} і τ_{min} визначається по С- подібній кривій, вони рівні:

$$T_{min}=500^{\circ}\text{C};$$

$$\tau_{min}=8\text{сек},$$

$$V_{кр} = \frac{870 - 500}{1,5 \cdot 8} = 30,8 \text{град./с},$$

Так як швидкість охолодження мала, то гартівним середовищем є олива.

Для охолодження вибираємо індустріальну оливу И-20А.

2.5. Проектний технологічний процес гартування деталі вилка

Проектний технологічний процес матиме такий вигляд:

005 Транспортувальна

Обладнання: тара з візком.

Зміст операції: 1. Завантажити деталі в тару

2. Транспортувати до ділянки термічної обробки

010 Підготовча

Обладнання: конвеєрна полум'яна піч типу БП 4826.00.00.000 СК.

Зміст операції: 1. Нагріти піч до температури 950°C

015 Завантажувальна

Обладнання: конвеєрна полум'яна піч типу БП 4826.00.00.000 СК.

Зміст операції: 1. Завантажити деталі на конвеєр печі – 252 шт.

020 Гартувальна

Обладнання: Конвеєрна полум'яна піч типу КП 0014.00.000 СК, гартувальний бак.

Зміст операції: 1. Нагріти деталі, витримати протягом 43,8 хв за температури 870°C

2. Охолодити деталі в оливі з температурою 20°C

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

025 Контрольна

Обладнання: Стіл контролера

Зміст операції: 1. Відібрати деталі 10 шт.

2. Очистити деталі від окалин

3. Провести контроль твердості 10% від партії

4. Провести контроль лінійних розмірів

5. Провести контроль мікроструктури

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3
КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Розрахунок розмірів робочої камери печі

Для визначення розмірів робочої камери печі необхідно знайти кількість деталей у садці:

$$N_c = \frac{N}{K_c} \text{ шт.},$$

де N – програма випуску, що рівна 1250000 шт;

K_c – кількість садок в рік.

$$N_c = \frac{1250000}{4960} = 252,05 \text{ шт.}$$

Приймаємо $N_c = 252$ шт.

Кількість садок в рік визначається за формулою:

$$K_c = \frac{\Phi_{p.o.} \cdot K_z \cdot n}{\tau_{заг}},$$

де $\Phi_{p.o.}$ – фонд роботи обладнання в одну змінну, 2015 год;

n – кількість робочих змін, що рівна 3;

K_z – коефіцієнт завантаження обладнання, що рівний 0,8;

$\tau_{заг}$ – загальний час садки, год.

$$K_c = \frac{2015 \cdot 0,86 \cdot 3}{0,97} = 4959,28.$$

Приймаємо $K_c = 4960$ шт

Визначаємо загальний час садки:

$$\tau_{заг} = \tau_{н.з.с.} + \tau_{\partial},$$

де $\tau_{н.з.с.}$ – час нагріву заготовки у садці, год;

τ_{∂} – додатковий час, год.

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\tau_{заг} = 43,89 + 14,63 = 58,52 \text{ хв.}$$

Отже, $\tau_{заг} = 58,52 \text{ хв} = 0,97 \text{ год.}$

Час нагріву заготовки у садці:

$$\tau_{н.з.с.} = \tau \cdot \alpha,$$

де τ – час нагріву заготовки, год;

α – коефіцієнт, що враховує спосіб розташування заготовки в печі, приймаємо його рівним 2,2 [4].

$$\tau_{н.з.с.} = 19,95 \cdot 2,2 = 43,89 \text{ хв.}$$

Додатковий час:

$$\tau_o = \frac{1}{3} \cdot \tau_{н.з.с.} = \frac{1}{3} \cdot 43,89 = 14,63 \text{ хв};$$

Ширина черені печі:

$$B_n = z_1 \cdot l + (z_1 + 1) \cdot \delta,$$

де z_1 – кількість рядків, приймаємо її рівною 6;

l – довжина заготовки, 230,8 мм;

δ – зазор між торцями заготовки, $\delta = 0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 15 = 7,5 \text{ мм.}$

$$B_n = 6 \cdot 230,8 + (6 + 1) \cdot 7,5 = 1207,5 \text{ мм.}$$

Оскільки деталі завантажуються в піч з тарою, то для вільного проходу тари збільшимо ширину печі черені на 200 мм:

$$B_n = 1207,5 + 200 = 1407,5 \text{ мм.}$$

Довжина черені:

$$L_n = z_2 \cdot b + (z_2 + 1) \cdot \delta,$$

де z_2 – кількість рядків, приймається рівна 42;

b – ширина заготовки, 192,5 мм;

δ – зазор між торцями заготовки, $\delta = 0,5 \cdot d = 0,5 \cdot 15 = 7,5 \text{ мм.}$

$$L_n = 42 \cdot 192,5 + (42 + 1) \cdot 7,5 = 9693,6 \text{ мм.}$$

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки деталі в печі знаходяться на конвеєрі, то для вільного проходу конвеєра збільшимо довжину печі черіні на 200 мм:

$$L_n = 9693,6 + 200 = 9893,6 \text{ мм.}$$

Знайдемо розміри печі з врахуванням розмірів і положення цегли. Розмір цегли становить 250×125×65 мм.

Ширина печі:

$$\frac{B_n}{(250 + 3)} = \frac{1407,5}{253} = 5,56 \text{ шт.}$$

Приймаємо 6 цеглин за шириною печі.

$$B_n = 6 \cdot (250 + 3) = 1518 \text{ мм.}$$

Довжина печі:

$$\frac{L_n}{(125 + 3)} = \frac{9893,6}{128} = 77,3 \text{ шт.}$$

Приймаємо 78 цеглин за довжиною печі.

$$L_n = 78 \cdot (125 + 3) + 125 = 9984 \text{ мм.}$$

Висота камери печі:

$$H = 1,2 \cdot B_n = 1,2 \cdot 1518 = 1821,6 \text{ мм.}$$

$$\frac{H}{(65 + 3)} = \frac{1821,6}{68} = 26,8 \text{ шт.}$$

Приймаємо 27 цеглин за висотою печі.

$$H = 27 \cdot (65 + 3) = 1836 \text{ мм.}$$

Розміри робочого простору печі вказані на рисунку 3.1.

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

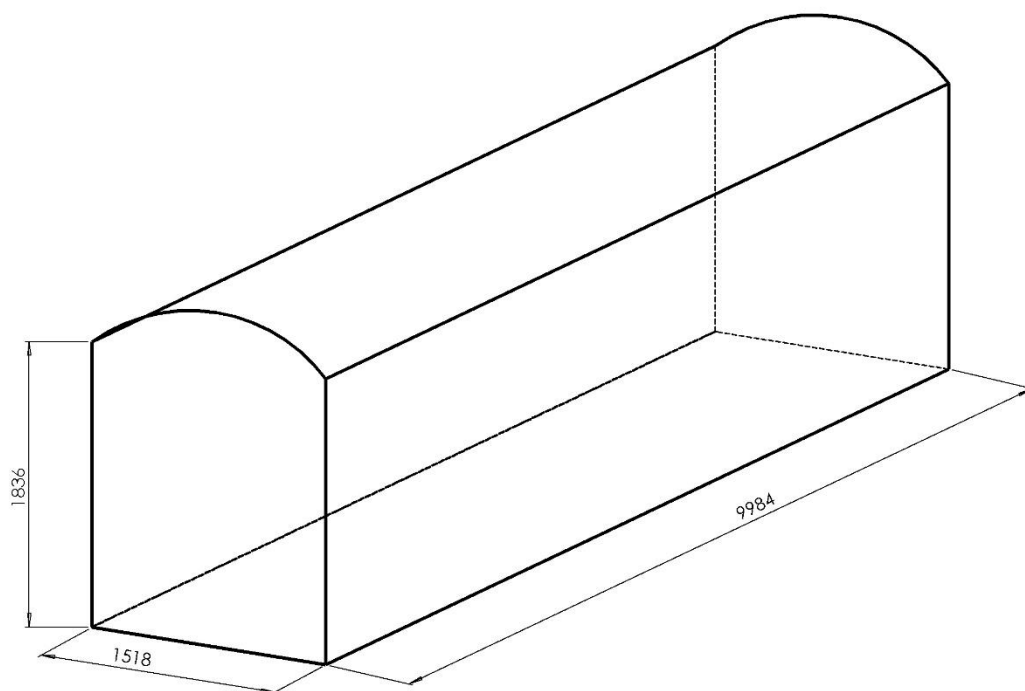


Рисунок 3.1 – Робочий простір печі

3.2. Вибір матеріалів для побудови печі

Вибір матеріалів для побудови печі проводиться за даними з вище наведених розрахунків.

Згідно наших даних підбираємо стіни (рисунок 3.2), внутрішній шар яких шамот класу А товщиною 250 мм та шар теплоізоляції діатомітова цегла товщиною також 250мм [4].

Склепіння печей (рисунок 3.2) вибираємо з внутрішнім шаром – шамот класу Б товщиною 300 мм, та теплоізоляційним шаром – товщиною 200 мм ізоляційної засипки.

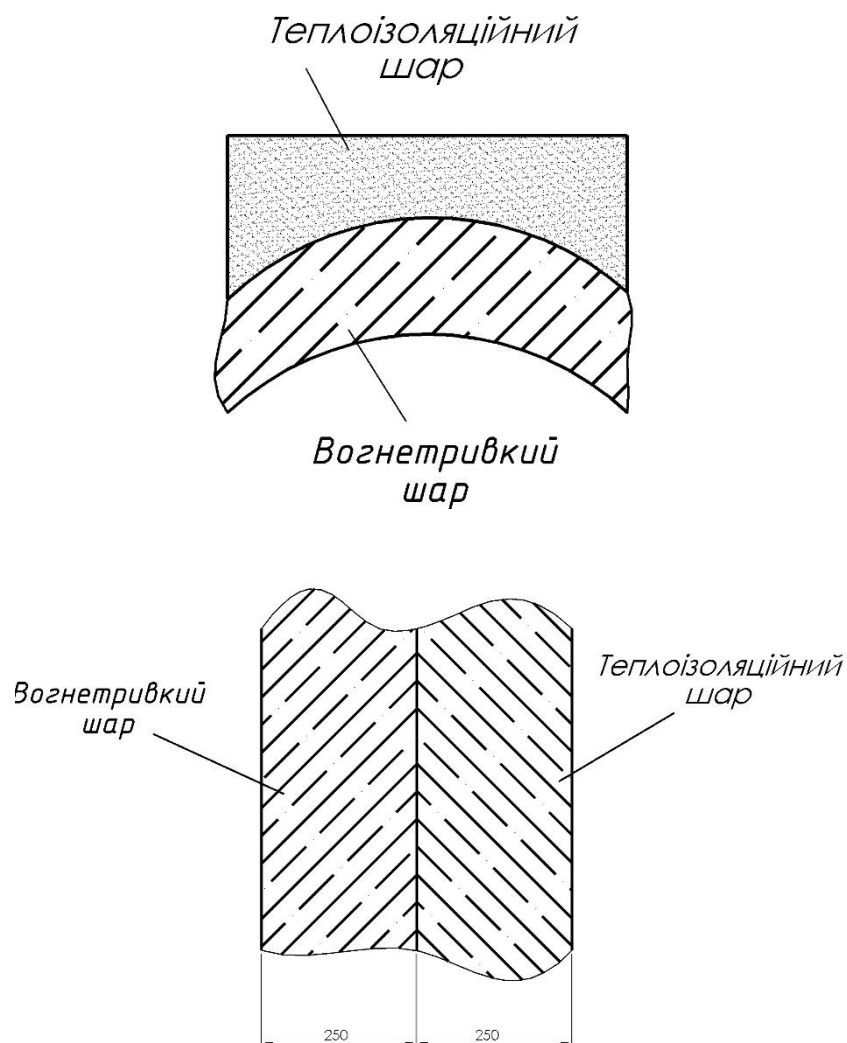


Рисунок 3.2 – Схеми склепіння та стін печі

3.3. Вибір горілок

Вибір горілок для спалювання газоподібного палива обумовлюється взаємністю технологічних, експлуатаційних і економічних умов: конструкцією і продуктивністю печі, температурою в робочому просторі, видом газу і його тиском, якістю спалювання газу, вартістю установки і зручністю її обслуговування.

За ширини печі 1518 мм горілка має мати короткий факел полум'я. Горілки розмістимо в шаховому порядку на протилежних бокових сторонах стін печі вздовж конвеєра. За довжини $L=9,98$ м, в даній камерній печі буде встановлено $N_{г}=10$ шт. горілок.

Для вибору горілки необхідно розрахувати її продуктивність за формулою:

$$\Pi_{г} = K_{з.г.} \cdot \frac{B}{N_{г}}, \quad (3.12)$$

де $K_{з.г.}$ – коефіцієнт запасу;

B – витрати палива: $101,5 \text{ м}^3$;

$N_{г}$ – кількість горілок в печі.

Підставивши дані в формулу (3.12), отримаємо:

$$\Pi_{г} = 1,15 \cdot \frac{101,5}{10} = 11,67 \text{ м}^3/\text{год.}$$

Врахувавши всі вище перераховані умови обираємо горілку ГТПС-20 (рисунок 3.3).

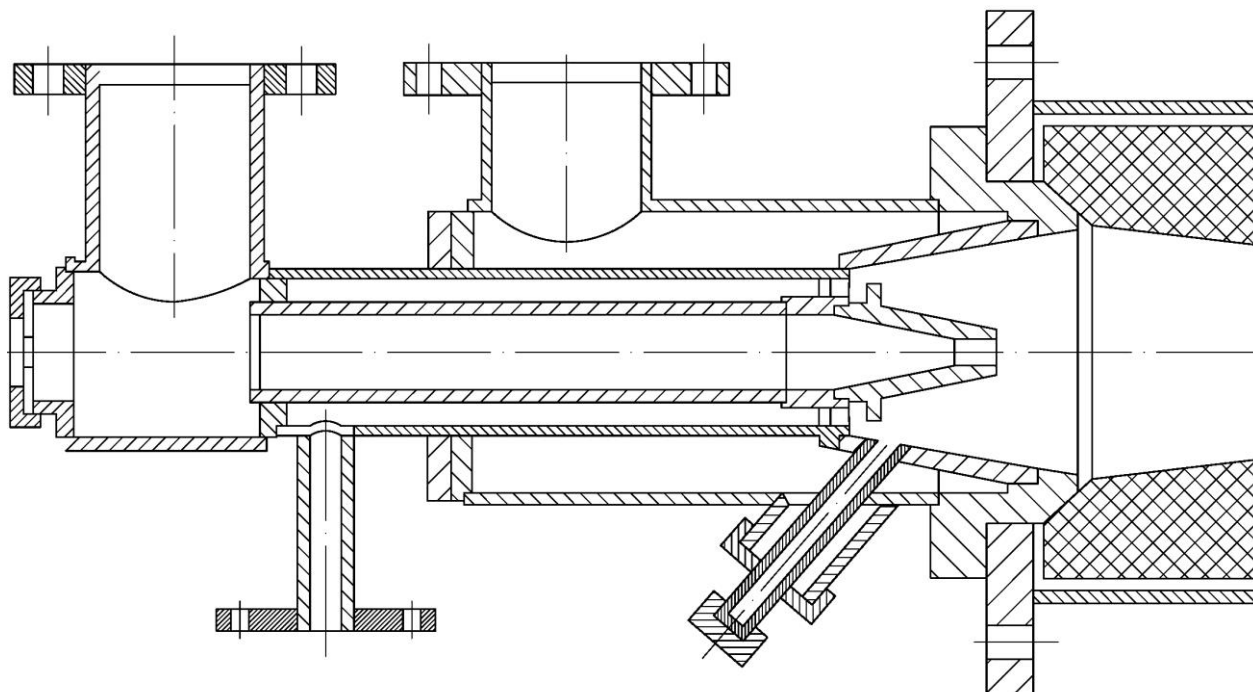


Рисунок 3.3 – Горілка типу ГТПС

В піч встановлюємо 10 (десять) горілок типу ГТПС – 20. Основні характеристики даної горілки:

$\Pi_z = 20$ – продуктивність горілки, м³/год.;

$D_{газ} = 25$ – діаметр підводу газу, мм;

$D_{пов} = 70 \times 2$ – діаметр підводу повітря мм,

$D_1 = 100$ – діаметр вихідного сопла горілки, мм;

$L = 457$ – довжина горілки мм.

3.4. Розрахунок рекуператора

При проектуванні рекуператора метою розрахунків є визначення поверхні нагріву і деяких інших величин, які характеризують конструкцію.

Вихідними формулами для розрахунку є рівняння теплопередачі:

$$Q = kF\Delta t_c,$$

рівняння теплового балансу:

$$V_o(i_o' - i_o'')\xi = V_n(i_n' - i_n''),$$

де Q , $V_n(i_n' - i_n'')$ – кількість тепла, що передається через всю поверхню нагріву, Вт;

F – поверхня нагріву рекуператора, м²;

k – коефіцієнт теплопередачі, Вт/ м²·град;

t_c – середня різниця температур між продуктами горіння і повітрям, °С;

V_o – витрати продуктів горіння, м³/с;

V_n – витрати повітря, м³/с;

i_o' і i_o'' – початковий і кінцевий тепловміст диму кДж/м³;

ξ – коефіцієнт, який враховує витрати тепла через кладку рекуператора, 0,8.

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Витрати повітря:

$$V_n = BL_o$$

$$V_n = 101,5 \cdot 10,45 = 1060,675, \text{ м}^3/\text{год.}$$

Витрати продуктів горіння:

$$V_o = BV_o$$

$$V_o = 101,5 \cdot 11,5 = 1167,2, \text{ м}^3/\text{год.}$$

Кінцевий тепловміст диму:

$$i_o'' = i_o' - \frac{V_n}{V_o \xi} (i_n' - i_n'')$$

$$i_o' = 1366,01 \text{ кДж/м}^3.$$

$$i_n' = 20 \text{ кДж/м}^3.$$

$$i_n'' = 533 \text{ кДж/м}^3.$$

$$i_o'' = 1366,01 - \frac{1426}{1584,3 \cdot 0,8} (533 - 20) = 818,45 \text{ кДж/м}^3.$$

За тепловмістом i_o'' виберемо необхідну температуру:

При 700 °С:

$$i_{n.z.}(810) = i_{CO_2} \cdot CO_2 + i_{H_2O} \cdot H_2O + i_{O_2} \cdot O_2 + i_{N_2} \cdot N_2$$

$$i_{n.z.}(700) = \frac{1475,1 \cdot 9,2\% + 1143,0 \cdot 18,4\% + 1004,5 \cdot 0,9\% + 950,9 \cdot 71,5\%}{100\%} = 1034,95$$

При 650 °С:

$$i_{n.z.}(650) = \frac{1355,75 \cdot 9,2\% + 1053,65 \cdot 18,4\% + 927,65 \cdot 0,9\% + 670,15 \cdot 71,5\%}{100\%} = 806,12$$

Отже, вибираємо температуру $t_o'' = 650$ °С, $t_o' = 880$ °С, $t_n' = 20$ °С, $t_n'' = 350$ °С.

Середня різниця температур між продуктами горіння і повітрям:

$$\Delta t_c = \frac{(t_o' - t_n') - (t_o'' - t_n'')}{\ln \frac{t_o' - t_n'}{t_o'' - t_n''}}.$$

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Delta t_c = \frac{(880 - 20) - (650 - 350)}{\ln \frac{880 - 20}{650 - 350}} = 533,3^\circ\text{C}.$$

Коефіцієнт теплопередачі:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_o} + \frac{S}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_n}},$$

α_o – коефіцієнт тепловіддачі від диму до стінки, Вт/м²град;

S – товщина стінки, м;

λ – коефіцієнт теплопровідності стінки, Вт/м·град;

α_n – коефіцієнт тепловіддачі від стінки до повітря або газу, Вт/м²град;

Коефіцієнт тепловіддачі від диму до стінки:

$$\begin{aligned} \alpha_o &= (7,4 + 0,00924t_o) \frac{W_o^{0,65}}{d^{0,35}} = \\ &= (7,4 + 0,0094 \cdot 880) \cdot \frac{4^{0,65}}{0,02^{0,35}} = 73,96 \text{ Вт/ м}^2 \cdot \text{град.} \end{aligned}$$

де t_o – температура диму, °С;

W_o – швидкість руху диму, м/с;

d_o – діаметр труби, м.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки до повітря:

$$\begin{aligned} \alpha_n &= (7,54 + 0,0058t_n) \frac{W_o^{0,65}}{d^{0,35}} = \\ &= (7,54 + 0,0058 \cdot 185) \cdot \frac{10^{0,65}}{0,02^{0,35}} = 151,45 \text{ Вт/ м}^2 \cdot \text{град;} \end{aligned}$$

Отже коефіцієнт теплопередачі:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{73,96} + \frac{0,002}{13} + \frac{1}{151,45}} = 50,18 \text{ Вт/ м}^2 \cdot \text{град.}$$

Знайдемо кількість тепла, що передається через всю поверхню нагріву:

$$Q = V_n (i_n' - i_n'') = 1426 \cdot (533 - 20) = 731541,58 \text{ Вт.}$$

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Поверхня нагріву рекуператора:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t_c} = \frac{731541,58}{50,18 \cdot 533,33} = 27,32 \text{ м}^2.$$

Загальна довжина трубок в рекуператорі знаходиться за формулою:

$$l_{\text{тр. заг.}} = \frac{F}{\pi d} \quad (8.8)$$

де d – діаметр трубок, 0,02 м.

$$l_{\text{тр. заг.}} = \frac{27,32}{3,14 \cdot 0,02} = 435 \text{ м.}$$

Приймаємо довжину трубки $l=1,45$ м. Кількість трубок становитиме 300 штук (15х20). Розташування трубок – коридорне (рисунок 3.4)

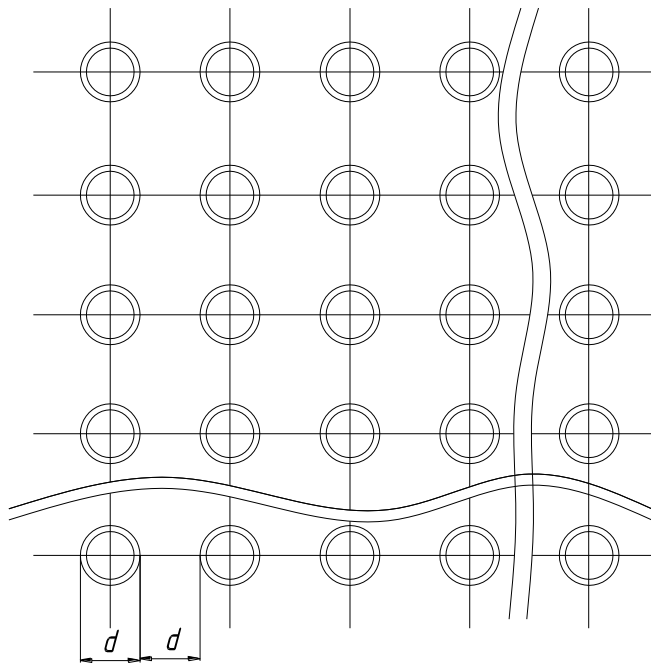


Рисунок 3.4 – Схема коридорного розташування трубок рекуператора

Основною частиною рекуператора є трубчатий блок у якому відбувається передача тепла від димових газів до повітря що йде на спалювання газоподібного палива. Рекуператор обладнується чотирма колекторами, два з яких для повітря і два для димових газів. До повітряних колекторів приєднуються фланці для з'єднання з трубами для підводу і відводу повітря до

рекуператора. Широким колектором для відводу димових газів рекуператор вмонтовується у склепіння печі. Інший колектор з'єднується з системою для відводу димових газів.

Загальна будова рекуператора показана на рисунку 3.5.

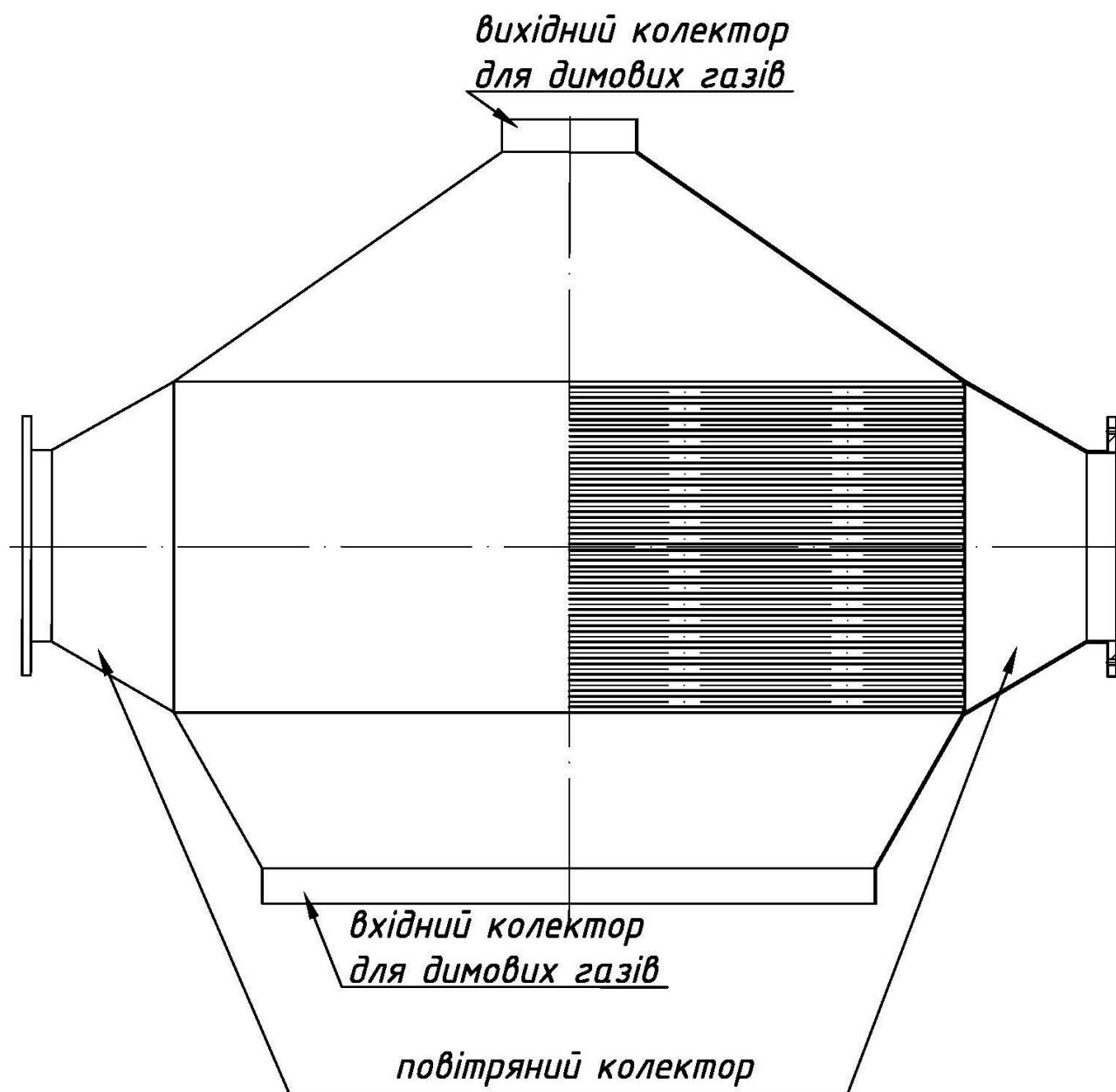


Рисунок 3.5

ВИСНОВКИ

В даному дипломному проєкті розроблено проєкт конвеєрної полум'яної печі для гартування деталей типу вилка.

На основі технологічних розрахунків визначено тип та розміри робочої камери печі. Визначені матеріали які необхідні для побудови конвеєрної печі, яка працює на газоподібному паливі.

В дипломній роботі був проведений розрахунок горіння палива з визначенням теплотворності палива, складу і кількості продуктів згоряння, що утворюються при спалюванні природного газу. Проведений розрахунок часу нагріву металу.

Для визначення витрат палива було складено тепловий баланс. Тепловий баланс печі враховує нагрів металу та конвеєра, всі втрати тепла через стіни склепіння та черинь печі, втрати тепла через відкриті вікна печі та втрати тепла з продуктами горіння.

Для підвищення коефіцієнту корисної дії печі спроектовано рекуператор трубчатого типу. Рекуператор повертає частину тепла димових газів назад у піч, шляхом підігріву повітря яке йде для спалювання газоподібного палива.

Розроблено технологічний процес гартування деталей типу вилка.

Даний проєкт може застосовуватись на машинобудівних підприємствах.

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологія конструкційних матеріалів. Підручник/ М. Н. Сологуб, І. О. Рожнецький, О. І. Некоз та ін. За ред.. М. Н. Сологуба – К.:Вища школа; 2002 – 374с.
2. <http://www.splav-kharkov.com/main.php> – база даних сталей та сплавів
3. Металознавство: підручник / О.М. Бялік, В.С. Черненко та ін. – 2-ге вид., перер. і доп. – К. ІВЦ «Політехніка», 2002. – 384 с.
4. Устаткування процесів теплової обробки : метод. вказівки до практичних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освітніх програм «Матеріалознавство», «Індустріальний інжиніринг» спец. G8 Матеріалознавство галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво денної та заоч. форм навч. / уклад.: С. В. Мисковець, Д. А. Гусачук. Луцьк : ЛНТУ, 2025. 40 с.
5. Устаткування процесів теплової обробки. Методичні вказівки до виконання курсового проекту для студентів спеціальності 6.090100 – “Прикладне матеріалознавство” для всіх форм навчання/ С.В.Мисковець, Ю.П.Фещук, О.Д.Клименко - Луцьк: ЛНТУ, 2009.- 44 с.
6. Устаткування процесів теплової обробки : конспект лекцій для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освітніх програм «Матеріалознавство», «Індустріальний інжиніринг» спец. G8 Матеріалознавство галузі знань G Інженерія, виробництво та будівництво денної та заоч. форм навч. / уклад.: С.В. Мисковець, Д.А. Гусачук. Луцьк : ЛНТУ, 2025. 100 с.
7. Кузін О.А., Яцюк Р.А. Металознавство та термічна обробка металів: підручник. – Л.: «Афіша», 2002. – 304 с.
8. Атаманюк В.В. Технологія конструкційних матеріалів/В.В. Атаманюк. – К.: Кондор, 2016. – 528 с.
9. Леговані сталі та сплави з особливими властивостями. Підручник / Куцова В.З., Ковзель М.А., Носко О.А. – Дніпропетровськ: НМетАУ, 2008. – 348 с.

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Леговані сталі та сплави : навч. посіб. / Л. Ф. Руденко, Т. П. Говорун. – Суми : Сумський державний університет, 2012. – 171 с.

11. Термічна обробка: методичні вказівки до лабораторних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітніх програм «Матеріалознавство» та «Індустріальний інжиніринг та менеджмент» спеціальності 132 Матеріалознавство, галузі знань 13 Механічна інженерія денної та заочної форм навчання / уклад. Н.П. Зайчук., Ю.П. Фещук Луцьк: ЛНТУ, 2022. – 74 с.

12. Конспект лекцій з дисципліни «Теорія і практика термообробки» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності 104 Фізика та астрономія, за освітньо-професійною програмою «Фізика та астрономія» всіх форм навчання / Укладач: Лисенко О.Б. – Кам'янське: ДДТУ, 2019.– 124 с.

13. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлення [Текст]. – Введ. 2015-06-22. – К.: Держстандарт України, 2017. – 29 с.

14. Кваліфікаційна робота: методичні вказівки до оформлення кваліфікаційних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньо-професійної програми «Матеріалознавство», «Індустріальний інжиніринг та менеджмент» галузі знань 13 Механічна інженерія спеціальності 132 Матеріалознавство денної та заочної форм навчання / уклад. М.Д. Мельничук, Ю.П. Фещук, Д.А. Гусачук, С.В. Мисковець. Луцьк : ЛНТУ, 2023. 52 с.

					БП 4826.00.00.000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		