

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 конвертера малого бесемеру-**  
**вання продуктивністю 1 т/год.”**

Виконав здобувач вищої освіти  
IV курсу, групи ПМ-22мб-1  
спеціальності 131  
«Прикладна механіка»  
\_\_\_\_\_ Андрій ГРОНТ  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 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**

**Гронта Андрія Геннадійовича**

1. Тема роботи: Проектування і розрахунок конвертера малого бесеме-рування продуктивністю 1 т/год.
2. Керівник роботи: Старший викладач Босий Микола Вікторович
3. Строк подання роботи до захисту
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: вивчення конструкції робо-ти конвертера малого бесеме-рування та розрахувати основні розміри проектного конвертера. Визначити матеріальний і тепловий баланси конвертера.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та науко-вої літератури		
2	Проведення розрахунку основних		

	розмірів, та характеристик, матеріальний та тепловий баланси проєктованого 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

\_\_\_\_\_ Андрій ГРОНТ

## АНОТАЦІЯ

Гронт А.Г. "Проектування і розрахунок конвертера малого бесемерування продуктивністю 1 т/год." спеціальність 131 «Прикладна механіка», ОПП – «Комп'ютерний інжиніринг технологій, робототехніка і 3D друк», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2025. 31 с. Матеріали ілюстрації 2 іл.

Мета кваліфікаційної бакалаврської роботи полягає у вивченні конструкції роботи конвертера малого бесемерування та розрахунок основних розмірів проєктованого конвертера, також визначення матеріального та теплового балансу конвертера.

В даній бакалаврській кваліфікаційній роботі розрахований спроектований кисневий конвертер продуктивністю 1 т/год.

Розрахунок конвертера включає: розрахунок основних розмірів конвертера, тобто його реторти, а також матеріального і теплового балансу проєктованого обладнання.

Графічна частина включає, перше: загальний вигляд конвертера малого бесемерування та друге – це механізм повороту конвертера.

**конвертер малого бесемерування, матеріальний баланс, тепловий баланс.**

## ABSTRACT

Gront A.G. "Design and calculation of a small Bessemer converter with a capacity of 1 t/h." specialty 131 "Applied Mechanics", OPP – "Computer Engineering Technologies, Robotics and 3D Printing", Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2025. 31 p. Illustration materials 2 ill.

The purpose of the qualification bachelor's thesis is to study the design of the small Bessemer converter and calculate the main dimensions of the designed converter, as well as determine the material and heat balance of the converter.

In this bachelor's qualification thesis, a designed oxygen converter with a capacity of 1 t/h is calculated.

The calculation of the converter includes: calculation of the main dimensions of the converter, i.e. its retort, as well as the material and heat balance of the designed equipment.

The graphic part includes the first general view of the small Bessemer converter and the second is the converter rotation mechanism.

**small Bessemer converter, material balance, heat balance.**

## ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. Конструкція та робота конвертера.....	8
1.1. Фундамент.....	9
1.2. Реторта.....	9
1.2.1. Розрахунок розмірів профілю реторти конвертера.....	10
1.3. Футеровка конвертера.....	13
1.4. Опорне кільце з цапфами.....	14
1.5. Фурмена коробка.....	15
1.6. Механізм повороту конвертера.....	15
РОЗДІЛ 2. Матеріальний баланс плавлення в конвертері.....	18
РОЗДІЛ 3. Тепловий баланс плавлення в конвертері .....	21
ВИСНОВКИ.....	23
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	24
ДОДАТКИ.....	25
Додаток 1. Конвертер малого бесемерування.....	26
Додаток 2. Профіль конвертера бокового дугтя.....	27
Додаток 3. Загальний вид конвертера малого бесемерування .....	28
Додаток 4. Механізм повороту конвертера.....	29

## ВСТУП

На машинобудівних підприємствах для плавки металів та сплавів дуже широко використовується плавильне устаткування. В плавильних відділеннях машинобудівних підприємств використовують індукційні та дугові електричні печі, а також високочастотні печі, бесемерівські конвертери та ін. В формувальних та стержневих відділеннях встановлюють пічні сушила різних конструкцій, які використовують для сушки форм та стержнів, а сумішеприготувальні сушила використовують для сушки піску та глини.

Частина виливків відповідно піддається відпалу або нормалізації в термічних печах. Конструкції печей дуже різноманітні. Слід відмітити, що конструкції більшості пічного плавильного обладнання порівняно різноманітні, але теплові процеси, які здійснюються в них, дуже складні [1-3].

Дійсно, при розгляді процесу нагрівання металу в плавильних печах, необхідно враховувати закони передачі теплоти теплопровідністю, конвекцією, тепловим випромінюванням та руху газів в пічному просторі, також взаємодію пічних газів з рідким металом та інше [2,3].

Процесу теплообміну повинно підпорядковуватися: перше – горіння палива – це перетворення хімічної енергії в теплову енергію; друге – перетворення електричної енергії в теплову енергію; рух газів в робочому просторі плавильних печей [2].

При проектуванні плавильних печей різних типів важливу роль відіграють розрахунки матеріальних і теплових балансів, вони надають інформацію, яка необхідна для кількісного аналізу процесів, що відбуваються в плавильних печах та для подальших розрахунків їх, а також для виявлення можливих шляхів покращення їх роботи та конструкції [2,3].

## РОЗДІЛ 1. КОНСТРУКЦІЯ ТА РОБОТА КОНВЕРТЕРА

На виробництві при випуску дрібних, а також середніх виливків звичайної якості, переважно використовують такі плавильні агрегати як конвертери малого бесемерування з боковим дуттям. Конвертерна сталь також використовується і для виробництва складних тонкостінних виливків [1-4].

Основні елементи конвертера – це такі його частини: фундамент з опорними стояками, сам конвертер або реторта, опорне кільце з цапфами, пристрій для подачі дуття в конвертер, механізм повороту конвертера (рис 1.1., рис 1.2) [2].

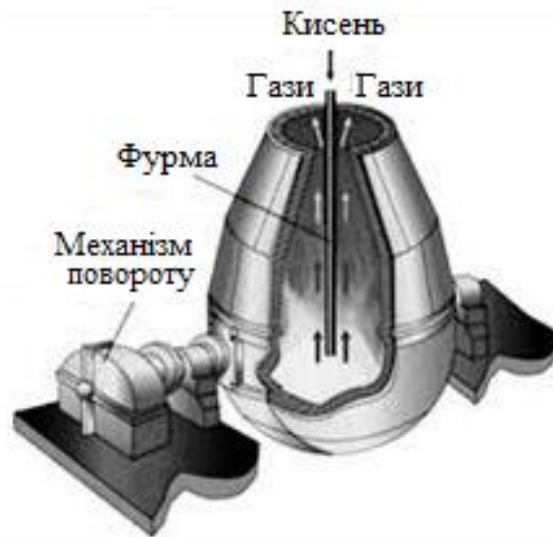


Рис. 1.1 Загальний вид конвертера

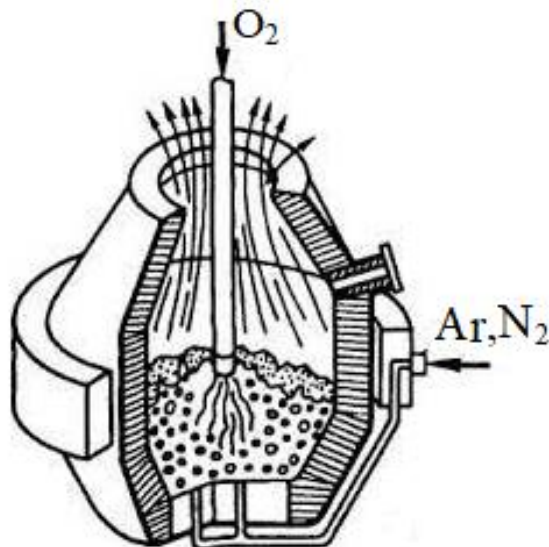


Рис. 1.2 Конвертер в розрізі

Із конвертера малого бесемерування сталь виходить в малих кількостях через невеликі проміжки часу. Капітальні затрати на встановлення конвертерів на виробництві невеликі, устаткування просте, а більша його частина може виготовлятися і на місці [2,3].

### **1.1. Фундамент**

Фундамент під конвертер виконується з звичайних будівельних матеріалів. Між стояками під конвертером робиться прямокутний. Литі сталеві або чавунні стояки повинні кріпитися до фундаменту болтами.

### **1.2. Реторта**

Реторта являє собою зварний циліндричний кожух із сталюого листа 10-14 мм в залежності від розміра конвертера. До кожуха конвертера приварюється кільце із кутового заліза з отворами для закріплення реторти до опорного кільця. В стінках реторти треба просвердлити отвори для виходу водяної пари при сушці футеровки. Шолом реторти зварюється також з сталюого листа тієї ж товщини, що і кожух. Невеликий отвір шолома (горловини) посилюється полоскою листової сталі шириною 300-350 мм. До кожуха циліндричної частини реторти і до шолому приварюється кільце для підйому краном. Реторту та шолом футерують відповідно окремо, а потім вже збирають на болтах. Розміри реторти вибираються також на основі досвідно проектних даних. При цьому приймаються до уваги такі умови: перше, ванна рідкого металу повинна піддаватись дії повітря, яке повинно продуватися по його поверхні або під дзеркалом ванни відповідно на глибині до 6 см. Отже при цьому не повинно залишатись таких зон, до яких повітря не може досягти. Ці вимоги при даній продуктивності конвертера обмежуються відповідно максимальним діаметром його робочого простору [2, 5, 6,7].

Для зменшення викидів металу та шлаку із конвертера під час процесу продувки його повітрям об'єм робочого простору конвертера повинен бути

достатньо великим, а от горловина не повинна бути дуже великого діаметру [2,5,6,7].

Ексцентриситет горловини треба вибирати таким, щоб в реторту, поставлену в горизонтальне положення завжди поміщався увесь рідкий метал. Практично встановлено, що об'єм реторти завжди повинен бути більше об'єму металу в 4-5 разів.

### 1.2.1. Розрахунок розмірів профілю реторти

На (рис. 1.3) наведено профіль кисневого конвертера розрахунок розмірів реторти здійснюється за відповідними методиками [2,3,6,7]: та за формулами (1.1) - (1.13).

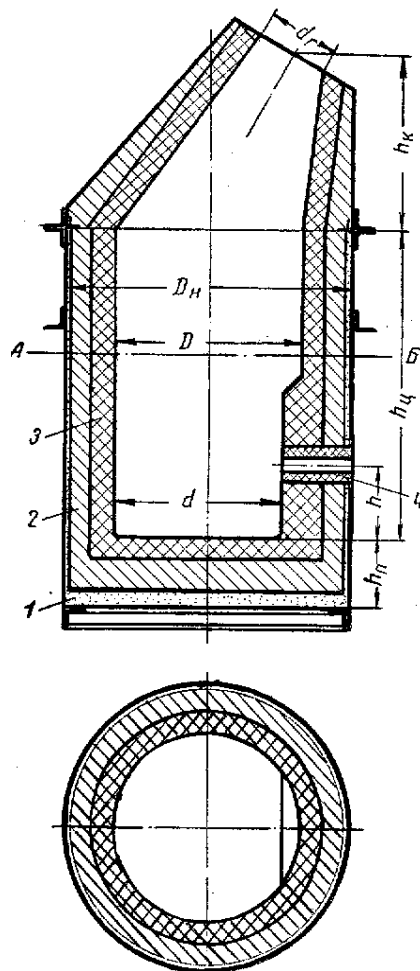


Рис. 1.3 Профіль конвертера

- 1 – засипка; 2 – шамотна кладка; 3 – динасова цегла;
- 4 – спеціальна фурменна цегла

Об'єм ванни:

$$V = 0,14Q = 0,69d^2h, \quad (1.1)$$

де 0,14 – питомий об'єм рідкого металу, м<sup>3</sup>/т;

$Q$  – маса чавуну, який заливають в реторту, т;

$h$  – глибина ванни – це відстань від поду до віссі фурм, м;

$d$  – діаметр ванни, м.

$$d = 0,45\sqrt{Q/h} \quad (1.2)$$

Величина  $h$  приймається біля 0,4 м для реторт продуктивністю 0,5 і 1,5 т та 0,5 м для реторт продуктивністю вище 1,5 т.

$$d = 0,45\sqrt{1,0/0,4} = 0,225 \text{ м}$$

$$V = 0,69 \cdot 0,4 \cdot 0,225^2 = 0,014 \text{ м}^3$$

Діаметр робочого простору реторти конвертера

$$D = 1,1d \approx 0,5\sqrt{Q/h}, \text{ м} \quad (1.3)$$

$$D = 0,5\sqrt{1,0/0,4} = 0,79 \text{ м}$$

Зовнішній діаметр металевого кожуха конвертера

$$D_k = D + 2(a + b + c), \text{ м} \quad (1.4)$$

де  $a$  – товщина футеровки стін робочого простору конвертера дорівнює 0,24-0,36 м;

$b$  – товщина шару ізоляції, повинна дорівнювати 0,024-0,04 м;

$c$  – товщина залізного листа, повинна дорівнювати 0,01-0,015 м.

$$D_k = 0,79 + 2(0,24 + 0,024 + 0,01) = 1,398 \text{ м}$$

Внутрішній діаметр горловини конвертера:

$$d_2 = 0,4D, \text{ м} \quad (1.5)$$

$$d_2 = 0,4 \cdot 0,79 = 0,316 \text{ м}$$

Висота циліндричної частини реторти конвертера (від поду ванни до площини роз'єму реторти з горловиною)

$$h_y = 2,2D, \text{ м} \quad (1.6)$$

$$h_y = 2,2 \cdot 0,79 = 1,738 \text{ м}$$

Висота шолома до центра горловини конвертера – (відстань від площини роз'єму шолома та циліндричної частини конвертера до центра вихідного отвору).

$$h_k = 0,95D, \text{ м} \quad (1.7)$$

$$h_k = 0,95 \cdot 0,79 = 0,75 \text{ м}$$

При цьому повинно виконуватись співвідношення

$$h_y + h_k = 3,15D, \text{ м} \quad (1.8)$$

$$1,738 + 0,75 = 3,15 \cdot 0,79$$

$$2,48 = 2,48$$

Товщина поду ванни визначається за виразом

$$h_n = 0,43D, \text{ м} \quad (1.9)$$

$$h_n = 0,43 \cdot 0,79 = 0,339 \text{ м}$$

Величина  $h_n$  береться не менше 400 мм.

Об'єм реторти конвертера

$$V_p = 2,67d^3, \text{ м}^3 \quad (1.10)$$

$$V_p = 2,67 \cdot 0,79^3 = 1,31, \text{ м}^3$$

Розміри повітророзподільної коробки конвертера:

- ширина

$$l_1 = 0,35d, \text{ м} \quad (1.11)$$

$$l_1 = 0,35 \cdot 0,225 = 0,078 \text{ м}$$

- висота

$$l_2 = 0,45d, \text{ м} \quad (1.12)$$

$$l_2 = 0,45 \cdot 0,225 = 0,101 \text{ м}$$

- довжина

$$l_3 = 0,90d, \text{ м} \quad (1.13)$$

$$l_3 = 0,90 \cdot 0,225 = 0,202 \text{ м}$$

Площа розрізу фурм конвертера на 1 т береться в межах 20-50 см<sup>2</sup>. Діаметр фурм біля 30-35 мм. Кількість фурм береться від 5 до 12, а частіше це 5-6.

Фурми повинні підводитись горизонтально або з нахилом до низу під кутом біля 15<sup>0</sup>. В сучасних конвертерах наразі фурми підводяться паралельно одна до одної. Середня фурма, або при парній кількості фурм, вісь їх симетрії повинна розташовуватися перпендикулярно вісі циліндричної частини конвертера. Фурми, які підводяться тангенціально, ускладнюють пристрій футеровки та практично нічим не впливають на процес бесемерування сталі, тому вони не знайшли розповсюдження.

### **1.3. Футеровка конвертера**

Для футерування конвертера використовується шамотна або динасова цегла нормальна; для фурм використовується спеціальна фурменна цегла; для горловини використовується також шамотна та спеціальна фасонна динасова цегла. Цегляна кладка виконується на розчині, який складається з 20-25 % меленої глини, яка просівається через сито № 70 та 75-80% кварцового піску за об'ємом. Горловина та фурменна частина футеровки конвертера виконується набивними із кварцового піску або можна з дробленого кварцу, який просівається через сито №70 на глині або рідкому склі. Добре виконана набивна футеровка конвертера має достатню стійкість не меншу, ніж цегляна, а вартість її відповідно значно нижче в порівнянні з іншими [2,3,5,6,8].

Цегляна кладка конвертера виконується таким чином. На дні реторти пневматичною або ручною трамбівкою треба ущільнити шар піску або формувальної суміші. Потім на ущільнений та вже вирівняний пісок кладеться два шари шамотної цегли відповідно перший ряд – на плашку і другий вже на ребро кладуть. Далі зверху цих шарів викладається щільно на ребро шар динасової цегли на глиняному розчині. Потім вже викладаються по шаблону стіни реторти конвертера. Між кожухом та зовнішнім шаром цегли залишається деякий проміжок, в нього засипається та втрамбується відповідно сухий кварцовий пісок. Зовнішній шар реторти викладається із шамотної цегли нормальної або також з спеціальної фасонної цегли. Фурменна стінка повин-

на викладатися з прямої цегли. Зовнішній шар відповідно підтесується по радіусу кожуха конвертера, внутрішня стінка пряма. Для фурм використовується спеціальна цегла. Внутрішній шар кладки треба викладати з динасової цегли дуже ретельно з товщиною швів до 2 мм, щоб метал не зміг відповідно проникнути в проміжки між цеглинами до того, як поверхня кладки зашлакується. Горловина реторти викладається також, як і циліндрична частина, це відповідно двома шарами цегли: зовнішній шамотним, внутрішній динасовим. При набивній футеровці реторти горловина набивається піщано-глинистою масою за шаблоном. Також набивається і фурменна частина кладки реторти. Отвори фурм отримуються, коли закладають в масу дерев'яні конічні круглі стержні, які потім виймаються по завершенні виконання набивки. Можна використовувати і комбіновану футеровку – горловина набивна, зовнішній шар циліндричної частини також з шамотної цегли, а внутрішній шар буде набивним. Після закінчення футерування реторти треба ретельно просушити, а також повільно підігріти внутрішню поверхню конвертера до світло-жовтого світіння [2,5,6,8].

При необхідних ремонтах реторти змінюється тільки шар динасової цегли. Зазвичай, футеровка витримує біля 30-40, рідко до 60 плавок металу. Отже на виробництві треба використовувати 2-3 реторти, з яких одна буде знаходитися в роботі, а інша на ремонті [2,6].

#### **1.4. Опорне кільце з цапфами**

Опорне кільце зварюється із частин, які відливаються з сталі 25Л. До кільця закріплюються відповідно болти з послідовною проваркою стиків дві пустотілі цапфи. Одна з цапф застосовується для подачі повітря у фурми реторти, а її отвори з'єднуються з порожниною опорного кільця. Друга цапфа повинна з'єднуватися з поворотним механізмом.

Реторта опирається на опорне кільце, яке приварене до неї уголком та кріпиться болтами. Уголок кріпиться відповідно на такій висоті, щоб реторта разом з опорними кільцями, а також фурменною коробкою була в цілому врівноважена в різному положенні [2,3,6].

## 1.5. Фурменна коробка

Фурменна коробка реторти відливається із чавуну. Вона повинна кріпитися до фланця опорного кільця. Нижня розширена частина коробки відповідно розташовується проти фурменних отворів. З сторони, зверненої до конвертера, фурменна коробка повинна закриватися кришкою з отворами для закріплення залізних трубок – це сопла, які входять у фурми реторти. А з другого боку отвір фурменної коробки реторти треба закривати кришкою. Ця кришка дозволяє чистити фурми та відповідно слідкувати за їх станом [2,3].

## 1.6. Механізм повороту

Механізм повороту конвертера виконується таким чином, щоб поворот міг здійснюватись за допомогою елетродвигуна, так і вручну на випадок вимкнення електроенергії, або навіть при необхідності повільного і точного повороту, наприклад, при наповненні з конвертера ковшів невеликої продуктивності. Швидкість повороту конвертера 1,5-2,0 об/хв. (рис. 1.4).

Наразі в сучасних виробничих відділеннях конвертери взагалі встановлюють на рівні підлоги цеху, так, щоб вісь обертання знаходилась на висоті біля 1,5-1,6 м. Горловина конвертера під час продувки повітрям повинна бути направлена до однієї з стін прольоту. Над конвертером треба встановлювати витяжний ковпак. Стінка ковпака, на яку буде викидатися під час продувки повітрям краплини шлаку та металу, інтенсивно обризкуються водою для запобігання нагрівання та налипання на неї металу та шлаку. Дуття повітря під тиском до 0,3 атм конвертери отримують від вентиляторів. Повітря поступає по трубопроводу, який розташований під підлогою цеху та надходить через сальник в пустотілу цапфу реторти [2,3,6]. Для перетворення розплавленого чавуну в розплавлену сталь треба витратити біля 400-800 кДж теплоти на 1 кг сталі. Аналіз технологічного процесу показує, що якщо ми використовуємо теплоту, яка буде виділятися при горінні таких елементів як вуглець, крем-

ній, марганець, то можливо отримати сталь з чавуну, не витрачаючи при цьому додаткову теплоту.

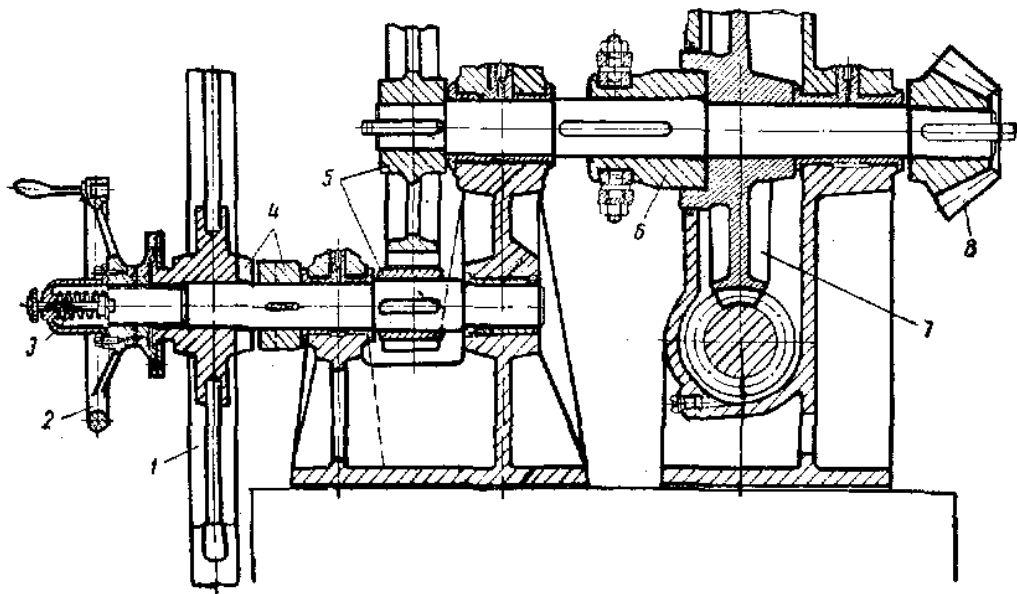


Рис. 1.4. Механізм повороту конвертера:

1 – штурвал ручного повороту; 2 – маховичок включення ручного повороту; 3 – механізм стопорний; 4 – муфта включення ручного повороту; 5 – передаточні шестерні; 6 – муфта включення приводу повороту; 7 – черв'ячний редуктор; 8 – шестерня повороту реторти

Застосовують конвертери відповідно і з кисневим дуттям. При подачі кисню в рідкий чавун, який заливають в конвертер розпочинається процес інтенсивного окислення вуглецю, кремнію, марганцю, заліза. Кисень подають до отримання в конвертері металу необхідного хімічного складу і температури. На окислення 1% кремнію, який входить до складу 1 т металу, який продувається, треба біля  $8\text{ м}^3$  кисню,  $2\text{ м}^3$  марганцю та  $2\text{ м}^3$  заліза.

Ступінь перегрівання металу в конвертері залежить від кількості теплоти, яка буде виділятися в результаті окислення елементів і втрат теплоти відповідно через стінки і отвори конвертера з вихідними газами [2,3,6].

При виборі режиму продування конвертера треба враховувати те, що метал необхідно перегрівати (при продувці білого чавуну) до необхідної температури за рахунок вигорання найменш дорогоцінних елементів.

Тиск кисню біля 1 МН/м<sup>2</sup>, витрати кисню 15-18 м<sup>3</sup>/хв; рівень металу над місцем вводу кисню 100-150 мм.

При подачі кисню з горловини конвертера появляється темно-бурий дим. Далі по мірі продування характер полум'я змінюється. Темно-бурий відтінок змінюється на світлий. Висота полум'я становить біля 3-3,5 м. В другій половині плавлення полум'я стає дуже білим. Загальна тривалість продувки становить 12 хвилин при температурі чавуну, який заливають в конвертер 1270-1290 °С. Температура сталі після продувки киснем становить 1690-1720 °С [2,3,6].

## РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛЬНИЙ БАЛАНС ПЛАВЛЕННЯ В КОНВЕРТЕРІ

Матеріальний баланс конвертера являє собою співставлення матеріальних потоків як на вході, та і виході з конвертера. Він показує кількісну картину як надходження в конвертер вхідних матеріалів, так і вихід із конвертера продуктів їх теплової переробки. Дані матеріального балансу будуть використовуватися в подальших проектних розрахунках, зокрема при складанні теплового балансу конвертера [2,3,6,7,8].

Рідкий чавун – 1,0 т:

Хімічний склад чавуну, % за масою:

C	Si	Mn	S	P
3,8	2,0	1,0	0,04	0,02

Хімічний склад сталі 35Л, % за масою

C	Mn	Si	S	P
0,22...0,30	0,50...0,80	0,17...0,37	≤ 0,06	≤ 0,06

середнє (0,26) (0,65) (0,27)

Окислюється:

Вуглецю  $3,80 - 0,26 = 3,54$  %

Марганцю 1,00 %

Кремнію 2,00 %

Заліза 0,57 %

---

$\Sigma$  7,11 %

Кількість шлаку

$$\text{Mn} + \text{O} = \text{MnO} \quad g_{\text{MnO}} = \frac{1000}{100} \cdot 1 \frac{71}{55} = 12,9 \text{ кг} \quad (2.1)$$

$$\text{Si} + 0,5\text{O}_2 = \text{SiO}_2 \quad g_{\text{SiO}_2} = \frac{1000}{100} \cdot 2 \frac{60}{28} = 42,85 \text{ кг} \quad (2.2)$$

$$\text{Футеровка (1\%)} \quad g_{\text{фум}} = \frac{1000}{100} \cdot 1 = 10,0 \text{ кг} \quad (2.3)$$

---

$\Sigma$  65,75 кг

$$\text{FeO (10\%)} \qquad g_{FeO} = 0,1 \frac{65,75}{0,9} = 7,3 \text{ кг} \qquad (2.4)$$

$$\Sigma \qquad 73,05 \text{ кг}$$

При цьому окислюється залізо:

$$g_{Fe} = 7,3 \cdot \frac{56}{72} = 5,67 \text{ кг (0,57\%)} \qquad (2.5)$$

Маса рідкої сталі становить:

$$g_{cm} = 1000 - [(3,8 - 0,26) + 1,0 + 2,0 + 0,57] \cdot \frac{1000}{100} = 935,77 \text{ кг} \qquad (2.6)$$

Скільки утворюється CO:

$$g_{CO} = 0,0354 \cdot 1000 \frac{28}{12} = 66,64 \text{ кг} \qquad (2.7)$$

Визначення кількості кисню повітря, що витрачається на окислення елементів горіння

$$g_{O_2} = \underbrace{12,9 \cdot \frac{16}{71}}_{g_{O_2, MnO}} + \underbrace{42,85 \cdot \frac{32}{60}}_{g_{O_2, SiO_2}} + \underbrace{7,3 \cdot \frac{16}{72}}_{g_{O_2, FeO}} + \underbrace{66,64 \cdot \frac{16}{28}}_{g_{O_2, CO}} = 2,91 + 22,85 + 1,62 + 38,08 = 65,46 \text{ кг} \qquad (2.8)$$

Визначаємо хімічний склад повітря у відсотках за масою. Для цього враховуємо 1 кмоль ( $22,4 \text{ нм}^3$ ) повітря, в якому буде знаходитись

$$\text{Азоту} - 0,79 \cdot 22,4 = 17,7 \text{ нм}^3$$

$$\text{Кисню} - 0,21 \cdot 22,4 = 4,7 \text{ нм}^3$$

$$\Sigma \qquad 22,4 \text{ нм}^3$$

В цій кількості повітря вага

$$\text{Азоту} - 0,79 \cdot 28 = 22,12 \text{ нм}^3$$

$$\text{Кисню} - 0,21 \cdot 32 = 6,72 \text{ нм}^3$$

$$\Sigma \qquad 28,84 \text{ нм}^3$$

$$\%N_2 = 22,12/28,84 \cdot 100 = 76,7$$

$$\%O_2 = 6,72/28,84 \cdot 100 = 23,3$$

Кількість азоту повітря

$$g_{N_2} = 65,46/23,3 \cdot 76,7 = 215,48 \text{ кг} \quad (2.9)$$

Кількість повітря

$$g_{нов.} = g_{O_2} + g_{N_2} = 65,46 + 215,48 = 280,94 \text{ кг} \quad (2.10)$$

Відхідні газы:

$$g_2 = g_{CO} + g_{N_2} = 66,64 + 215,48 = 282,12 \quad (2.11)$$

Результаты виконаного розрахунку матеріального балансу наводимо в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Матеріальний баланс плавлення сталі в конвертері малого  
бесемерування продуктивністю 1,0 т

№	Статті прибутку	кг	%	№	Статті видатку	кг	%
1.	Рідкий чавун	1000	77,47	1.	Сталь	935,77	72,48
2.	Повітря	280,94	21,76	2.	Шлак	73,05	5,66
3.	Футеровка	10	0,77	3.	Газы	282,12	21,86
	Всього	1290,94	100,0		Всього	1290,94	100,0

### РОЗДІЛ 3. ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС ПЛАВЛЕННЯ В КОНВЕРТЕРІ

В тепловий баланс конвертера входить співставлення енергетичних потоків на вході та виході з нього. Тепловий баланс складають у таких випадках: перше, при проектуванні конвертера, друге – також при аналізі теплової роботи конвертера. Ціллю складання теплового балансу для першого випадку є визначення витрати енергоносія (палива або електроенергії). В другому випадку тепловий баланс відповідно треба складати для кількісної оцінки наявних енергетичних потоків та їх аналіз, а також розробка рекомендацій, які будуть спрямовані на покращення теплової роботи плавильного агрегату [2,3,6,7,8].

Наводимо рівняння теплового балансу конвертера:

$$Q_{ф.ч.} + Q_{екз} = Q_{м} + Q_{шл} + Q_{г} + Q_{втр} \quad (3.1)$$

де  $Q_{ф.ч.}$  – фізична теплота чавуну;

$Q_{екз}$  – теплота екзотермічних реакцій (окислення C, Si, Mn, Fe);

$Q_{м}$ ,  $Q_{шл}$  – теплота сталі та шлаку;

$Q_{втр}$  – втрати теплоти.

$$Q_{ф.ч.} = G_{ч} \cdot C_{ч} \cdot t_{ч} = 1000 \cdot 0,84 \cdot 1400 = 1176000 \text{ кДж/кг}$$

$$Q_{екз} = Q_{C} + Q_{Si} + Q_{Mn} + Q_{Fe} \quad (3.2)$$

Згідно з даними маємо:

$$Q_{C} = 139,9 \div 12 \cdot 1000 = 11658 \text{ кДж/кг}_{C} \quad (3.3)$$

$$Q_{Mn} = 353,9 \div 55 \cdot 1000 = 6435 \text{ кДж/кг}_{Mn} \quad (3.4)$$

$$Q_{Si} = 775,5 \div 28 \cdot 1000 = 27696 \text{ кДж/кг}_{Si} \quad (3.5)$$

$$Q_{Fe} = 240,2 \div 56 \cdot 1000 = 4289 \text{ кДж/кг}_{Fe} \quad (3.6)$$

Визначаємо теплоту екзотермічних реакцій

$$\begin{aligned} Q_{екз.} &= 0,0354 \cdot 1000 \cdot 11658 + 0,02 \cdot 1000 \cdot 27696 + 0,01 \cdot 1000 \cdot 6435 + 0,0057 \cdot 1000 \cdot 4289 = \\ &= 1055410,5 \text{ кДж/кг} \end{aligned}$$

Розрахуємо прибуток

$$Q_{\text{приб}} = 1176000 + 1055410,5 = 2231410,5 \text{ кДж/кг} \quad (3.7)$$

Визначимо теплоту сталі

$$Q_m = 935,77 \cdot 0,84 \cdot 1600 = 1257674,88 \text{ кДж/кг} \quad (3.8)$$

Визначимо теплоту шлаку

$$Q_{\text{шл}} = 73,05 \cdot 1,26 \cdot 1600 = 147268,8 \text{ кДж/кг} \quad (3.9)$$

Визначимо теплоту газів

$$Q_g = (282,12/1,3) \cdot 1,68 \cdot 1600 = 583337,35 \text{ кДж/кг} \quad (3.10)$$

Визначимо втрати теплоти

$$Q_{\text{втр}} = 2231410,5 - 1988281 = 243129,5 \text{ кДж/кг} \quad (3.11)$$

Результати проведених розрахунків теплового балансу конвертера при плавленні сталі приведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Тепловий баланс конвертера малого  
бесемерування продуктивністю 1,0 т

Прибуток				Видаток			
№	Статті	кДж/кг	%	№	Статті	кДж/кг	%
1.	$Q_{\text{ф.ч.}}$	1176000	52,7	1.	$Q_m$	1257674,88	56,36
2.	$Q_{\text{екз}}$	1055410,5	47,3	2.	$Q_{\text{шл}}$	147268,8	6,6
	Всього	2231410,5	100,0	3.	$Q_g$	583337,35	27,14
				4.	$Q_{\text{втр}}$	243129,5	10
					Всього	2231410,5	100,0

Розрахунок К.К.Д.

$$\eta = \frac{100(Q_m + Q_{\text{шл}})}{\Sigma Q} = \frac{100(1257674,88 + 147268,8)}{2231410,5} = 62,96\% \quad (3.12)$$

## ВИСНОВКИ

В бакалаврській роботі виконано проектування конвертера малого бесемерування ємністю 1,0 т, розглянута його конструкція та принцип роботи. Виконано розрахунок основних розмірів профілю реторти, розраховано також матеріальний та тепловий баланси.

Враховуючи розрахунки матеріального балансу робимо висновок, що з чавуну 77 % при його вазі 1000 кг на виході відповідно отримуємо 72 % сталі.

З розрахунків теплового балансу робимо висновок, що маємо на 52,7 % теплоти фізичної більше, ніж екзотермічної теплоти, яка становить 47,3 % (а такі елементи C, Si, Mn, Fe при цьому окисляються) – це стосується прибутку, а з видатку звісно втрачається 10 % тепла, що стосується теплоти металу 56,36 %, теплоти газів 27,14 %, теплоти шлаку 6,6 %.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологія основних виробництв: навч. посіб. для студентів денної та заочної форм навчання / Кропивний В.М. та ін. 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. 179 с.
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.

# ДОДАТКИ