

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра «Матеріалознавства та ливарного виробництва»

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри МЛВ

к.т.н., доцент

_____ Олександр КУЗИК

« ____ » _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему:

**«Проектування конвертера малого
бесемерування ємністю 3 т для плавки сталі
35Л із ваграночного чавуну»**

Виконав здобувач вищої освіти 4-го

курсу групи ПМ-22-1

ОПП «Інжиніринг технологій,

мехатроніка та 3D-друк»

спеціальності 131 «Прикладна

механіка»

_____ Матвій ДАВИДОВ

Керівник роботи к.т.н., доцент

_____ Сергій КОНОНЧУК

Рецензент:

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 «Інжиніринг технологій, мехатроніка .
та 3D-друк» .

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МЛВ

к.т.н., доцент

_____ Олександр КУЗИК

« ____ » _____ 2026 р.

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

_____ Давидов Матвій Євгенійович _____

1. Тема роботи: «Проектування конвертера малого бесемерування ємністю 3 т для плавки сталі 35Л із ваграночного чавуну»
2. Керівник роботи: Конончук Сергій Васильович, канд. техн. наук, доцент
3. Строк подання роботи до захисту: 15.06.2026 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Проектування конвертера малого бесемерування ємністю 3 т для плавки сталі 35Л із ваграночного чавуну. Описати будову і принцип роботи конвертера. Розрахувати основні розміри плавильного агрегата а також матеріальний і тепловий баланси плавки сталі. Спроекувати креслення загального виду конвертера та механізму повороту.
5. Перелік графічного матеріалу: 1) Загальний вид конвертера,
2) Механізм повороту

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Оглядовий	Конончук С.В.		
Конструкторський	Конончук С.В.		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури по темі роботи	10.04.2026	
2	Розрахунки по конструкторській частині	30.04.2026	
3	Креслення по конструкторській частині	20.05.2026	
4	Оформлення пояснювальної записки	10.06.2026	
5	Оформлення презентації роботи	15.06.2026	
6	Здача роботи на кафедрі та перевірка на наявність запозичень	15.06.2026	
9	Захист кваліфікаційної роботи	25.06.2026	

Дата видачі завдання

« ____ » _____ 2026 р.

Підпис керівника

_____ Конончук С.В.

Завдання прийнято до виконання

« ____ » _____ 2026 р.

Підпис здобувача

_____ Давидов М.Є.

Анотація

ДАВИДОВ Матвій Євгенійович. Проектування конвертера малого бесемерування ємністю 3 т для плавки сталі 35Л із ваграночного чавуну. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти: ЦНТУ, 2026. 33 с.

Перелік графічного матеріалу: 1) Загальний вид конвертера, 2) Механізм повороту.

У першому розділі наведено опис конструкції та принципу роботи конвертера, розглянуто технологію виробництва сталі з чавуну вагранкової плавки, а також металургійні процеси, що відбуваються під час плавлення.

У другому розділі виконано розрахунок основних параметрів конвертера малого бесемерування місткістю 3 т для плавки чавуну, а також складено матеріальний і тепловий баланси процесу.

Розроблено креслення загального виду конвертера та механізму його повороту

Ключові слова: конвертер малого бесемерування, плавка, сталь, чавун, окислення, вагранка, дуття, механізм повороту.

Abstract

DAVYDOV Matvii. Design of a small bessemeration converter with a capacity of 3 t for melting steel 35L from cupola cast iron. Qualification work for the first (bachelor's) level of higher education: CUNTU, 2026. 33 p.

List of graphic material: 1) General view of the converter, 2) Rotation mechanism.

The first section describes the design and principle of operation of the converter, considers the technology of steel production from cupola cast iron, as well as metallurgical processes occurring during melting.

In the second section, the calculation of the main parameters of a small Bessemerization converter with a capacity of 3 t for melting cast iron is performed, and the material and heat balances of the process are compiled.

A drawing of the general view of the converter and its rotation mechanism has been developed.

Keywords: small Bessemer converter, smelting, steel, cast iron, oxidation, cupola, blowing, rotation mechanism.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	7
1. БУДОВА І ПРИНЦИП РОБОТИ КОНВЕРТЕРА	9
1.1. Розвиток конвертерного процесу	9
1.2. Будова і принцип роботи конвертера малого бесемерування	10
1.3. Технологічний процес плавки	15
2. РОЗРАХУНОК КОНВЕРТЕРА	19
2.1. Розрахунок основних розмірів конвертера	19
2.2. Розрахунок матеріального балансу	22
2.3. Розрахунок теплового балансу плавки	26
ВИСНОВКИ	29
ЛІТЕРАТУРА	30
ДОДАТКИ	33

ВСТУП

Актуальність роботи. Конвертерний спосіб виробництва сталі й сьогодні залишається одним із провідних у світовій металургії, незважаючи на розвиток новітніх технологій. Його подальший розвиток пов'язаний із безперервним удосконаленням процесу та пристосуванням до сучасних виробничих і екологічних вимог. Оптимізація кисневої продувки, застосування кисню високої чистоти та вдосконалення конструкції конвертерів забезпечують зниження енергетичних витрат і підвищення продуктивності агрегатів.

Важливим напрямом розвитку є зменшення негативного впливу на довкілля. Використання сучасних систем очищення відхідних газів дає можливість значно скоротити викиди шкідливих речовин, зокрема оксидів азоту. Одночасно на металургійних підприємствах активно впроваджуються автоматизовані системи керування плавкою, які забезпечують точніше дозування шихтових матеріалів, оптимізацію режимів продувки та стабільне отримання сталі високої якості. Застосування цифрового моделювання й систем прогнозування процесів дозволяє мінімізувати відхилення від заданих технологічних параметрів.

Сучасні конвертери використовують не лише для виплавки звичайних марок сталі, а й для виробництва спеціальних сплавів із високими механічними властивостями, необхідних для різних галузей промисловості. Поєднання конвертерного процесу з іншими способами плавки, зокрема з електродуговими печами, дає змогу отримувати метал із заданими характеристиками та зменшувати собівартість виробництва. Перспективним напрямом також є створення нових конструкцій конвертерів більшої місткості та застосування стійкіших футеровок, що підвищують довговічність агрегатів і покращують якість сталі.

Разом із тим розвиток конвертерного виробництва супроводжується низкою викликів, серед яких конкуренція з альтернативними методами плавки, потреба в модернізації обладнання та підвищенні кваліфікації персоналу. У

зв'язку з цим питання розрахунку і проектування конвертерів, а також удосконалення технології конвертерної плавки сталі залишаються актуальними.

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є проектування конвертера малого бесемерування ємністю 3 т для плавки сталі 35Л із ваграночного чавуну.

Поставлена мета досягнута шляхом вирішення таких задач:

- Опис будови і принципу роботи конвертера;
- розрахунок основних конвертера;
- розрахунок матеріального балансу конвертерної плавки;
- розрахунок теплового балансу;
- розробка конструкції та креслення загального виду плавильного агрегату.

Об'єкт дослідження – конвертер малого бесемерування.

Предмет дослідження – технологічний процес плавки сталі в конвертері малого бесемерування.

Практичне значення – розроблено конструкцію конвертера малого бесемерування ємністю 3 т для плавки сталі 35Л.

Особистий внесок – розраховано матеріальний і тепловий баланси плавки та спроектовано креслення загального виду конвертера.

1. БУДОВА І ПРИНЦИП РОБОТИ КОНВЕРТЕРА

1.1. Розвиток конвертерного процесу

Розвиток конвертерного процесу є одним із найважливіших етапів становлення сучасної чорної металургії. Його поява дала можливість значно збільшити обсяги виробництва сталі, скоротити тривалість плавки та знизити витрати палива.

Першим промисловим конвертерним процесом став бесемерівський спосіб, запропонований у середині XIX століття англійським винахідником Генрі Бесемером. Суть процесу полягала у продуванні рідкого чавуну повітрям через отвори в днищі конвертера. Кисень повітря окислював домішки чавуну — кремній, марганець і вуглець, унаслідок чого виділялася значна кількість тепла, достатня для підтримання металу в рідкому стані без додаткового палива. Бесемерівський процес забезпечив різке зростання виробництва сталі, однак мав суттєві недоліки: неможливість ефективного видалення фосфору та сірки, а також складність точного регулювання складу сталі.

Подальшим етапом став томасівський процес, розроблений наприкінці XIX століття Сідні Томас. Основною відмінністю було використання основної футеровки конвертера та вапна, що дозволило видаляти фосфор із чавуну. Це дало можливість переробляти фосфористі руди, значно розширивши сировинну базу металургії.

На початку XX століття поряд із конвертерними процесами значного поширення набули мартенівські печі, які забезпечували кращий контроль складу сталі. Через це роль класичних конвертерів певний час зменшилася. Проте розвиток техніки та поява кисневої металургії знову зробили конвертерний спосіб провідним.

Справжній прорив відбувся у середині XX століття із впровадженням киснево-конвертерного процесу. У 1950-х роках в Австрія був створений

LD-процес (Linz–Donawitz), у якому замість повітря використовували технічно чистий кисень. Це дозволило значно прискорити плавку, підвищити якість сталі та зменшити втрати тепла. Киснево-конвертерний процес швидко поширився у світі та став основним способом виробництва сталі.

Сучасний розвиток конвертерного процесу пов'язаний із автоматизацією та цифровізацією виробництва. На металургійних підприємствах використовуються автоматизовані системи контролю температури, складу металу та режимів продувки. Комп'ютерне моделювання дозволяє прогнозувати перебіг плавки й оптимізувати витрати сировини та енергії.

Велика увага приділяється екологічним аспектам. Сучасні конвертерні цехи оснащуються системами очищення газів і пилу, а також технологіями утилізації тепла та вторинних ресурсів. Розробляються нові типи футеровок із підвищеною стійкістю, що збільшують термін служби агрегатів і знижують витрати на ремонт.

Сьогодні конвертерний процес залишається одним із найефективніших способів виробництва сталі. Його подальший розвиток спрямований на підвищення енергоефективності, покращення якості металу, скорочення викидів та інтеграцію сучасних цифрових технологій у виробництво.

1.2. Будова і принцип роботи конвертера малого бесемерування

У ливарних цехах застосовують конвертери місткістю від 1 до 5 т чавуну, при цьому найбільш поширеними є агрегати ємністю 2,0–2,5 т. Загальний вигляд конвертера місткістю 2,5 т наведено на рис. 1.1.

Конвертер складається з фундаменту з опорними стійками, реторти, опорного кільця з цапфами, системи подачі дугтя та механізму повороту. Фундамент споруджується з традиційних будівельних матеріалів, а між стійками

передбачають прямик. Опорні стійки, виготовлені зі сталі або чавуну, надійно закріплюються анкерними болтами.

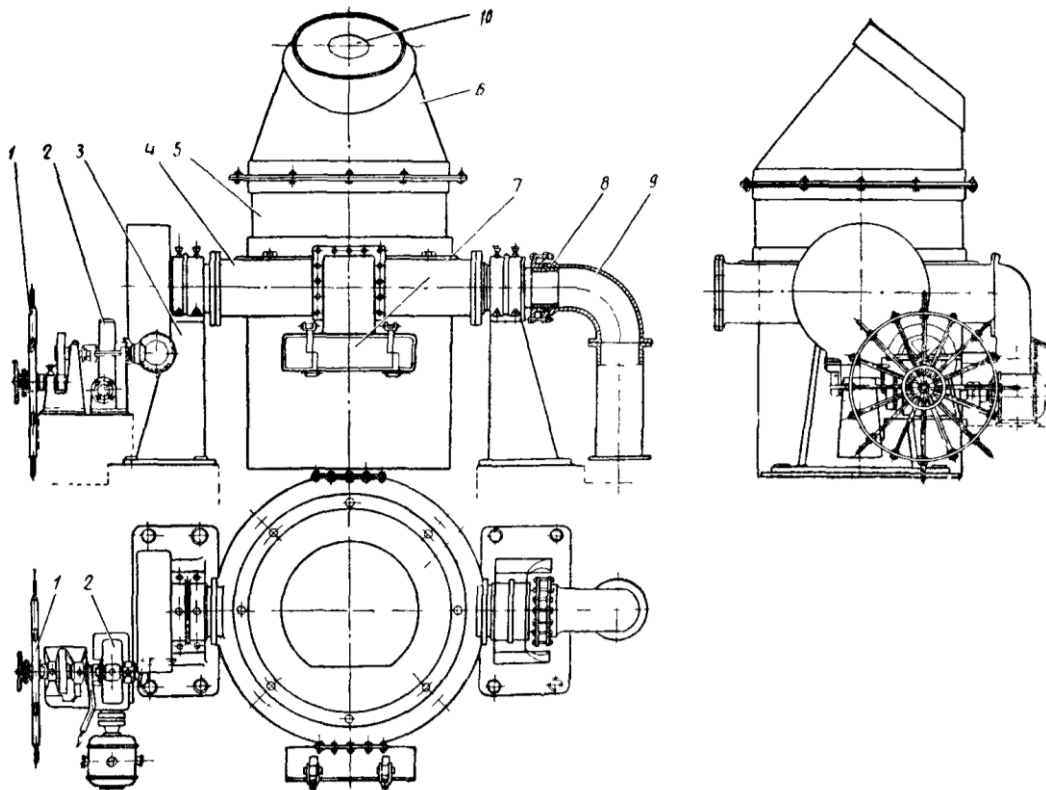


Рис. 1.1. Конвертер з бічним дуттям:

- 1 – штурвал ручного повороту; 2 – механізм повороту; 3 – стійка;
 4 – опорне кільце з цапфами; 5 – реторта; 6 – шолом; 7 – фурмена коробка;
 8 – пустотіла цапфа; 9 – трубопровід дуття; 10 – горловина

Реторта являє собою зварний циліндричний кожух із листової сталі товщиною 10–14 мм, залежно від розмірів агрегату. До кожуха приварюють кільце з кутового профілю для кріплення до опорного кільця. У стінках передбачені отвори для відведення водяної пари під час сушіння футеровки. Верхня частина конвертера закривається шоломом, виготовленим із листової сталі тієї ж товщини. Горловина шолома додатково підсилюється сталеву смугою шириною 300–350 мм. Для транспортування краном до кожуха та шолома приварюються підйомні кільця. Реторту і шолом футерують окремо, після чого з'єднують болтами.

Розміри реторти визначаються з урахуванням практичних вимог до процесу продувки. Повітря повинно ефективно взаємодіяти з усім об'ємом рідкого металу як по поверхні ванни, так і на глибині до 60 мм, не залишаючи «мертвих зон». Це обмежує максимальний діаметр робочого простору конвертера. Для зменшення викидів металу та шлаку під час продувки робочий простір повинен мати достатній об'єм, а діаметр горловини не може бути надмірно великим. Практикою встановлено, що об'єм реторти має перевищувати об'єм металу приблизно у 4–5 разів. Ексцентриситет горловини вибирають таким чином, щоб при горизонтальному положенні реторти в ній повністю розміщувався рідкий метал.

Фурми для подачі дуття зазвичай встановлюють горизонтально або з нахилом до 15° вниз. У сучасних конструкціях вони розташовуються паралельно одна одній, а їх вісь симетрії перпендикулярна до осі циліндричної частини конвертера. Раніше застосовували віялоподібне та тангенціальне розташування фурм, однак ці схеми не набули поширення через недостатню ефективність.

Для футеровки конвертерів використовують шамотну або динасову цеглу, а також спеціальні фасонні вироби для фурм і горловини. Кладку виконують на розчині з меленої глини та піску. Також застосовують набивну футеровку з кварцового піску, яка є більш економічною. Цегляна футеровка складається з кількох шарів: зовнішній шар викладають із шамотної цегли, внутрішній — із динасової, забезпечуючи ретельну герметизацію швів. Горловину і фурменну частину можуть виконувати як цегляними, так і набивними. Залежно від умов роботи футеровка витримує 30–40 плавок, а інколи — до 60, тому в цехах зазвичай експлуатують декілька конвертерів.

Опорне кільце з цапфами (рис. 1.2) виготовляють зварюванням сталевих елементів. До нього кріпляться порожнисті цапфи: одна призначена для подачі дуття, друга — для з'єднання з поворотним

механізмом. Реторта встановлюється на опорне кільце та закріплюється болтами.

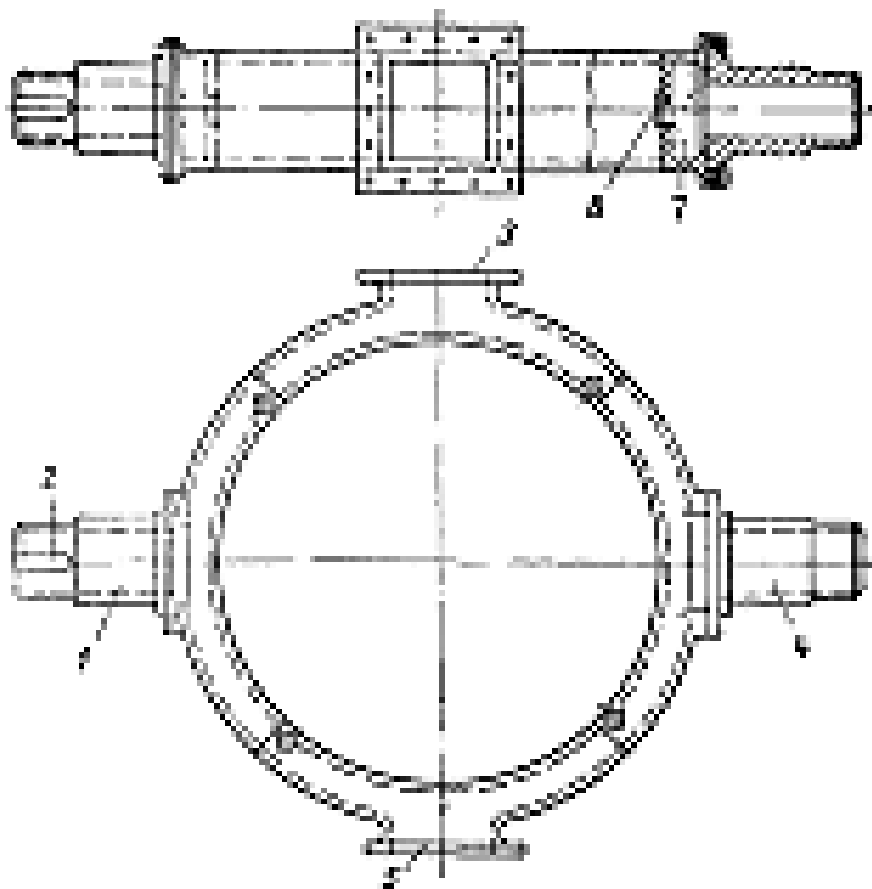


Рис. 1.2. Опорне кільце з цапфами:

- 1 – цапфа приводу; 2 – шпонкова канавка; 3 – квадратний фланець під заглушку;
 4 – пустотіла повітропровідна цапфа; 5 – квадратний фланець під фурменну коробку;
 6 – заглушка технологічного отвору; 7 – повітропідвідна порожнина опорного кільця

Фурменна коробка (рис. 1.3), виготовлена з чавуну, кріпиться до фланця опорного кільця. Її нижня частина розташовується навпроти фурменних отворів. З боку конвертера коробка закривається кришкою з отворами для сопел, які входять у фурми. Із протилежного боку передбачена кришка для очищення та контролю стану фурм. У деяких конструкціях коробка безпосередньо прилягає до корпусу реторти.

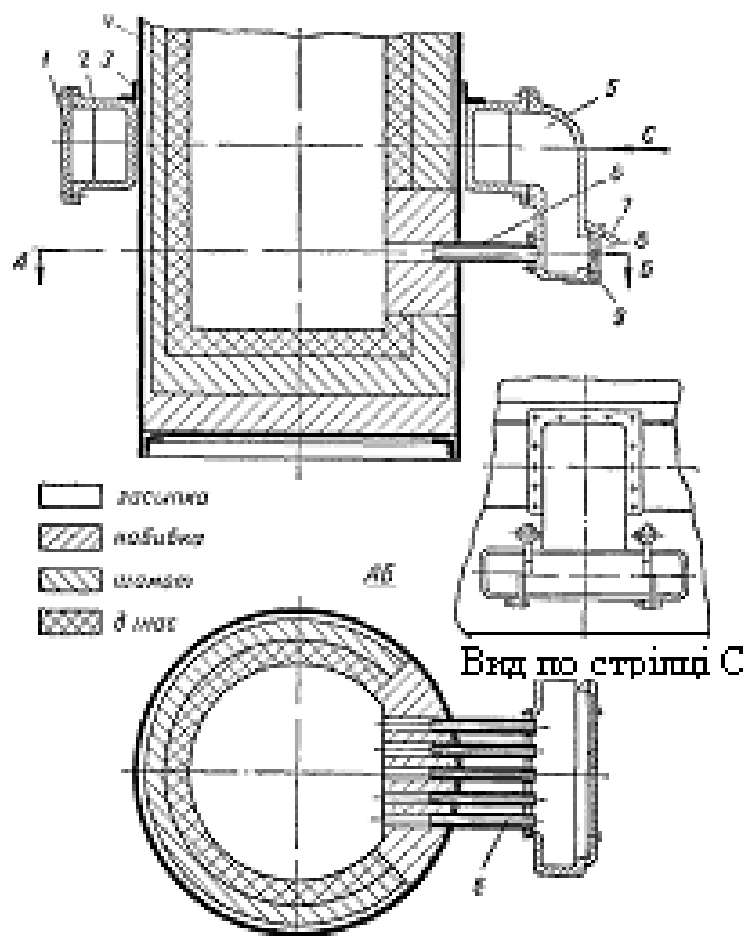


Рис. 1.3. Фурменна коробка:

- 1 – заглушка опорного кільця; 2 – опорне кільце;
 3 – опорний куток реторти; 4 – кожух реторти; 5 – корпус фурменної коробки;
 6 – сопло; 7 – запірний механізм кришки; 8 – кришка; 9 – шарнір кришки

Механізм повороту конвертера (рис. 1.4) забезпечує обертання агрегату як електроприводом, так і вручну. Швидкість обертання становить 1,5–2,0 об/хв.

У сучасних ливарних цехах конвертери переважно встановлюють на рівні підлоги, при цьому вісь обертання розташовується на висоті 1,5–1,6 м. Горловина орієнтується у бік стіни, а над конвертером монтується витяжний ковпак із водяним охолодженням стінок. Дуття під тиском до 0,03 МПа подається вентиляторами через трубопровід і порожнисту цапфу реторти.

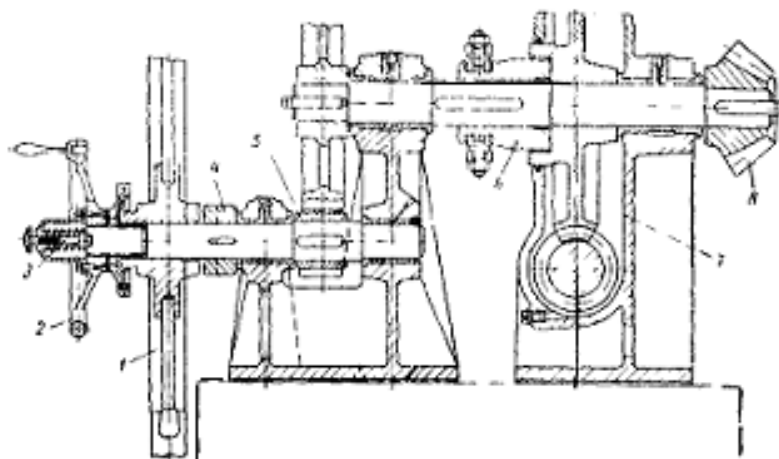


Рис. 1.4. Механізм повороту конвертера:

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

1.3. Технологічний процес плавки

Технологічний процес плавки сталі в конвертері малого бесемерування з чавуну вагранкової плавки є одним із класичних способів отримання литої сталі у ливарному виробництві. Цей процес тривалий час широко застосовувався в ливарних цехах машинобудівних підприємств завдяки простоті обладнання, високій продуктивності та можливості безпосередньої переробки рідкого чавуну, одержаного у вагранках. Основою процесу є продувка рідкого чавуну повітрям, унаслідок чого домішки окислюються, а чавун перетворюється на сталь.

Технологічний цикл починається з підготовки шихтових матеріалів, плавильного обладнання та самого конвертера. Перед початком плавки перевіряють стан футеровки реторти, фурменної частини, механізмів повороту та системи подачі дуття. Особливу увагу приділяють стану футеровки, оскільки вона працює в умовах високих температур і інтенсивного хімічного впливу шлаку та металу. Пошкоджені ділянки футеровки ремонтують набивними масами або замінюють окремі вогнетривкі елементи. Після ремонту футеровку ретельно сушать і

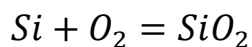
поступово прогрівають для видалення вологи та запобігання її руйнуванню під час контакту з рідким металом.

Одночасно у вагранці здійснюють плавку чавуну. Для малого бесемерування використовують переважно переробний чавун із відносно низьким вмістом сірки та фосфору, оскільки кислий конвертерний процес практично не забезпечує видалення цих домішок. Важливе значення має вміст кремнію та марганцю. Кремній є основним джерелом тепла під час продувки, оскільки його окиснення супроводжується значним тепловиділенням. Зазвичай вміст кремнію в чавуні становить 0,8–1,5 %, а марганцю — 0,4–0,8 %. Температура випуску чавуну з вагранки повинна бути достатньо високою, як правило 1350–1450 °С, щоб забезпечити нормальне протікання конвертерного процесу без надмірного охолодження металу.

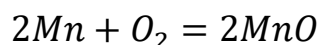
Після накопичення необхідної кількості рідкого чавуну його випускають із вагранки в ківш і транспортують до конвертера. У момент заливання конвертер знаходиться у горизонтальному або дещо нахиленому положенні, що забезпечує безпечне та рівномірне наповнення реторти металом. Об'єм металу, який заливають у конвертер, зазвичай становить лише 20–25 % внутрішнього об'єму реторти. Це необхідно для створення достатнього вільного простору над ванною металу, оскільки під час продувки відбувається інтенсивне спінювання шлаку та викиди продуктів окиснення.

Після заливання металу конвертер повертають у робоче положення, при якому фурми розташовуються нижче рівня металу. Через фурми починають подавати повітря під тиском до 0,02–0,03 МПа. Повітря проходить через шар рідкого металу у вигляді великої кількості бульбашок, створюючи інтенсивне перемішування ванни та активний контакт кисню з компонентами чавуну.

Процес продувки умовно поділяють на кілька періодів. На початковому етапі переважно окислюються кремній і марганець. Кремній окислюється за реакцією:

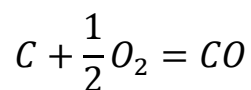


Марганець окислюється за реакцією:



Оксиди кремнію та марганцю переходять у шлак. Ці реакції супроводжуються значним виділенням тепла, завдяки чому температура металу не тільки не знижується, а навіть підвищується. Утворений шлак частково покриває поверхню металу та бере участь у подальших металургійних реакціях.

Після вигорання значної частини кремнію починається інтенсивне окиснення вуглецю:



У результаті утворюється велика кількість оксиду вуглецю, який виділяється через горловину конвертера у вигляді яскравого полум'я. Цей період є найбільш бурхливим і супроводжується сильним кипінням металу. Інтенсивне перемішування ванни сприяє вирівнюванню температури та хімічного складу по всьому об'єму металу. Досвідчені сталевари визначають перебіг процесу за характером полум'я, шумом продувки та кольором диму. Наприкінці продувки полум'я різко скорочується, що свідчить про зменшення вмісту вуглецю у сталі.

Під час продувки частково окислюються також залізо та інші елементи. Оксиди заліза переходять у шлак або залишаються у металі, підвищуючи ступінь його окисленості. Через це після завершення продувки сталь потребує розкислення. Крім того, у процесі малого бесемерування практично не видаляються сірка та фосфор, тому якість вихідного чавуну має вирішальне значення для отримання доброякісної сталі.

Тривалість продувки залежить від місткості конвертера, складу чавуну та інтенсивності подачі дуття і зазвичай становить 10–20 хв. Після завершення продувки подачу повітря припиняють, а конвертер повертають у положення для випуску металу. Сталь випускають у сталерозливний ківш, при цьому намагаються мінімізувати потрапляння шлаку.

У ковші проводять операції розкислення та, за необхідності, легування сталі. Для розкислення застосовують феромарганець, феросиліцій або алюміній. Основні реакції розкислення пов'язані зі зв'язуванням розчиненого кисню в оксиди, які переходять у шлак. Одночасно коригують хімічний склад сталі шляхом введення феросплавів. На цьому етапі також контролюють температуру металу, оскільки від неї залежить якість подальшого розливання.

Після завершення обробки сталь подають на розливання у ливарні форми або виливниці. Розливання може здійснюватися зверху або сифоном, залежно від типу продукції та умов виробництва. У процесі охолодження і кристалізації формуються структура та властивості сталі.

Після випуску плавки конвертер очищають від залишків шлаку та металу, перевіряють стан футеровки й фурм. За необхідності виконують ремонт футеровки, після чого агрегат готують до наступного циклу плавки.

Процес малого бесемерування має низку переваг. До них належать висока швидкість плавки, відсутність потреби у додатковому паливі під час продувки, простота конструкції конвертера та можливість безпосереднього використання рідкого ваграночного чавуну. Разом із тим процес має і суттєві недоліки: обмежені можливості очищення металу від сірки та фосфору, значне вигоряння металу, інтенсивне окиснення заліза та складність точного регулювання хімічного складу сталі. Саме тому з розвитком киснево-конвертерних і електросталеплавильних процесів мале бесемерування поступово втратило своє провідне значення, хоча тривалий час залишалося важливим способом виробництва литої сталі у ливарних цехах.

2. РОЗРАХУНОК КОНВЕРТЕРА

2.1. Розрахунок основних розмірів конвертера

Для розрахунку розмірів профілю реторти (рис. 2.1) використовуються наступні формули .

Об'єм ванни:

$$V = 0,14Q = 0,69d^2h,$$

де 0,14 – питомий об'єм рідкого металу, м³/т;

Q – маса чавуну, який заливається в реторту (місткість реторти), т;

h – глибина ванни – відстань від поду до осі фурм, м;

d – діаметр ванни, м.

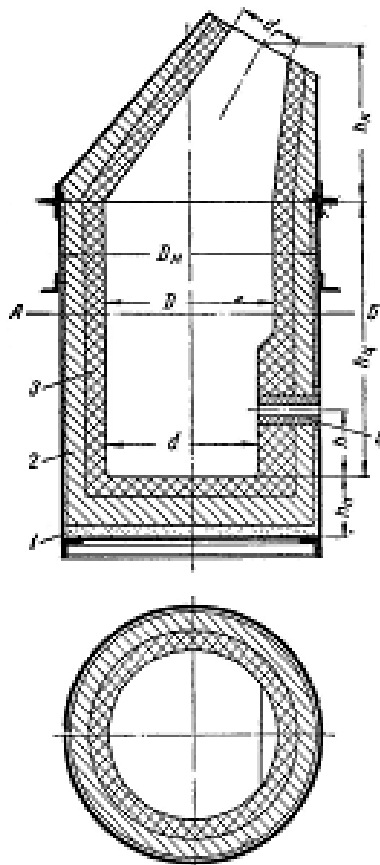


Рис. 2.1. Профіль конвертера бічного дуття:

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

Звідси:

$$d = 0,45\sqrt{Q/h} = 0,45\sqrt{3/0,5} = 1,1 \text{ м.}$$

Величина h – глибина ванни (відстань від поду до осі фурм) приймається 0,5 м – для реторт ємністю більше 1,5 т.

Діаметр робочого простору реторти:

$$D = 1,1d = 1,1 \cdot 1,1 = 1,21 \text{ м;}$$

$$D \approx 0,5\sqrt{Q/h} = 0,5\sqrt{3/0,5} = 1,22 \text{ м.}$$

Приймаємо $D=1,22$ м.

Зовнішній діаметр металевого кожуха:

$$D = D + 2(a + b + c) = 1,22 + 2(0,3 + 0,035 + 0,015) = 1,92 \text{ м,}$$

де $a = 0,3$ м – товщина футеровки стін робочого простору;

$b = 0,035$ м – товщина шару ізоляції;

$c = 0,015$ м – товщина залізного листа.

Внутрішній діаметр горловини:

$$d_{\Gamma} = 0,4D = 0,4 \cdot 1,22 = 0,49 \text{ м.}$$

Висота циліндричної частини реторти – від поду ванни до площини рознімання реторти з горловиною:

$$h_{\text{ц}} = 2,2D = 2,2 \cdot 1,22 = 2,68 \text{ м.}$$

Висота шолома до центра горловини – відстань від площини роз'єму шолома і циліндричної частини до центра вихідного отвору:

$$h_k = 0,95D = 0,95 \cdot 1,22 = 1,16 \text{ м.}$$

При цьому повинно бути витримано співвідношення $h_{\text{ц}} + h_k = 3,15D$ м:

$$2,68 + 1,16 = 3,84 \text{ м.}$$

Товщина поду ванни:

$$h_{\text{ц}} = 0,43D = 0,43 \cdot 1,22 = 0,52 \text{ м.}$$

Величина $h_{\text{ц}}$ береться не менше 400 мм.

Об'єм реторти:

$$V_p = 2,67d^3 = 2,67 \cdot 1,1^3 = 3,55 \text{ м}^3.$$

Об'єм реторти приймається з розрахунку 0,7 – 0,9 м³ на 1 т садки.

Розміри повітророзподільчої коробки:

$$\text{ширина } l_1 = 0,35d = 0,35 \cdot 1,1 = 0,385 \text{ м;}$$

$$\text{висота } l_2 = 0,45d = 0,45 \cdot 1,1 = 0,495 \text{ м;}$$

$$\text{довжина } l_3 = 0,9d = 0,9 \cdot 1,1 = 0,99 \text{ м.}$$

Згідно з [2] площу перерізу фурм на 1 т металу приймаємо – 20 см²/т. Загальна площа перерізу фурм – 20х3=60 см². Діаметр фурм приймаємо 40 мм. Тоді площа перерізу однієї фурми складає:

$$f_{\phi} = \frac{\pi d_{\phi}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 4^2}{4} = 12,56 \text{ см}^2.$$

Кількість фурм: $n = 60/12,56 = 4,77$ шт. Приймаємо $n=5$ фурм.

2.2. Розрахунок матеріального балансу

Рівняння матеріального балансу плавки сталі в конвертері малого бесемерування має вигляд:

$$g_4 + g_{нов} + g_{ф} = g_{ст} + g_{ш} + g_2, \text{ кг,}$$

де g_4 , $g_{нов}$, $g_{ф}$, $g_{ст}$, $g_{ш}$, g_2 - відповідно, витрата ваграночного чавуну, повітря дуття, футеровки, що переходить у шлак, сталі, шлаку, відхідних пічних газів, кг.

Визначимо по черзі всі статті матеріального балансу.

Рідкий чавун – 3,0 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, у дужках – середні значення:

C	Mn	Si	S	P
0,28...0,40	0,50...0,80	0,17...0,37	≤0,06	≤0,06
(0,35)	(0,65)	(0,27)		

В процесі продувки рідкого чавуну повітрям, окислюються наступні елементи:

вуглець $3,80 - 0,26 = 3,54$ %;

марганець 1,00 %;

кремній 2,00 %;

залізо 0,57 % (див. нижче);

Σ 7,11 %.

При цьому утворюється наступна кількість шлаку:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Mn} + \text{O} = \text{MnO} & g_{\text{MnO}} = \frac{3000}{100} \cdot 1 \cdot \frac{71}{55} = 38,7 \text{ кг}; & \\
 \text{Si} + 0,5\text{O}_2 = \text{SiO}_2 & g_{\text{SiO}_2} = \frac{3000}{100} \cdot 2 \cdot \frac{60}{28} = 128,55 \text{ кг}; & \\
 \text{футеровка (1\%)} & g_{\text{фут}} = \frac{3000}{100} \cdot 1 = 30,0 \text{ кг}; & \\
 \hline
 \Sigma = & & 196,5 \text{ кг.} \\
 \\
 \text{FeO (10\%)} & g_{\text{FeO}} = 0,1 \cdot \frac{196,5}{0,9} = 21,83 \text{ кг} & \\
 \hline
 \Sigma\Sigma = & & 218,33 \text{ кг}
 \end{array}$$

Під час продувки рідкого чавуну повітрям дуття окислилося заліза у кількості:

$$g_{\text{Fe}} = 21,83 \cdot \frac{56}{72} = 16,98 \text{ кг (0,57 \%)}.$$

В результаті вигорання елементів під час продувки, маса рідкої сталі буде менше ніж початкова маса рідкого чавуну до продувки:

$$g_{\text{ст}} = 3000 - [(3,8 - 0,26) + 1,0 + 2,0 + 0,57] \cdot \frac{3000}{100} = 3000 \cdot 0,9289 = 2786,7 \text{ кг}.$$

Внаслідок окислення вуглецю під час продувки утворюється газ CO у кількості:

$$g_{\text{CO}} = 0,0354 \cdot 3000 \cdot \frac{28}{12} = 247,8 \text{ кг}.$$

Кількість кисню повітря, яке необхідне для окислення елементів чавуну розраховується за формулою, кг:

$$g_{O_2} = \underbrace{38,7 \cdot \frac{16}{71}}_{g_{O_2, MnO}} + \underbrace{128,55 \cdot \frac{32}{60}}_{g_{O_2, SiO_2}} + \underbrace{21,83 \cdot \frac{16}{72}}_{g_{O_2, FeO}} + \underbrace{247,8 \cdot \frac{16}{28}}_{g_{O_2, CO}} = 8,715 + 68,56 + 4,86 + 141,6 = 223,74$$

Знаходимо хімічний склад повітря у відсотках за масою. Для цього беремо 1 кмоль (22,4 нм³) повітря, в якому буде знаходитись:

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

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

$$\Sigma = 22,4 \text{ нм}^3$$

Рештою елементів в повітрі нехтуємо.

В цій кількості повітря маса газів буде наступною:

$$\text{азоту} - 0,79 \cdot 28 = 22,12 \text{ кг}$$

$$\text{кисню} - 0,21 \cdot 32 = 6,72 \text{ кг}$$

$$\Sigma = 28,84 \text{ кг}$$

Хімічний склад повітря дуття, % за масою:

$$\% N_2 = \frac{22,12}{28,84} \cdot 100 = 76,7 \%$$

$$\% O_2 = \frac{6,72}{28,84} \cdot 100 = 23,3 \%$$

Знаходимо кількість азоту повітря:

$$g_{N_2} = \frac{223,74}{23,3} \cdot 76,7 = 736,5 \text{ кг.}$$

Загальна кількість повітря дуття визначаємо за формулою:

$$g_{\text{пов}} = g_{O_2} + g_{N_2} = 223,74 + 736,5 = 960,24 \text{ кг.}$$

Розраховуємо кількість відхідних газів за формулою:

$$g_{\Gamma} = g_{CO} + g_{N_2} = 247,8 + 736,5 = 984,3 \text{ кг.}$$

Результати розрахунків зводимо у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Матеріальний баланс плавки сталі в конвертері малого бесемерування
ємністю 3 т

№ п/п	Статті прибутку	кг	%	№ п/п	Статті видатку	кг	%
1	Рідкий чавун	3000	75,2	1	Сталь	2786,7	69,8
2	Повітря	960	24,1	2	Шлак	218,33	5,5
3	Футеровка	30	0,7	3	Гази	984,3	24,7
	Всього	3990	100,0		Всього	3990	100,0

Як видно з результатів розрахунку матеріального балансу, втрати металу внаслідок угару елементів під час продувки чавуну в конвертері малого бесемерування склали:

$$\Delta g_m = 3000 - 2786,7 = 213,3 \text{ кг,}$$

$$\text{або } \% \Delta g_m = \frac{3000 - 2786,7}{3000} \cdot 100\% = 7,11\%.$$

2.3. Розрахунок теплового балансу плавки

Для розрахунку теплового балансу плавки сталі з ваграночного чавуну в конвертері малого бесемерування, складаємо його рівняння:

$$Q_{\text{ф.ч.}} + Q_{\text{екз.}} = Q_{\text{м}} + Q_{\text{шл}} + Q_{\text{г}} + Q_{\text{втр}},$$

де $Q_{\text{ф.ч.}}$ – фізична теплота чавуну; $Q_{\text{екз.}}$ – теплота екзотермічних реакцій (окислення C, Si, Mn, Fe); $Q_{\text{м}}$, $Q_{\text{шл}}$ – теплота сталі і шлаку; $Q_{\text{г}}$ – теплота газів; $Q_{\text{втр}}$ – втрати теплоти.

Фізична теплота чавуну розраховується по його кількості (ця стаття береться з матеріального балансу), його теплоємності і температури, яку має чавун після переливання його з вагранки в конвертер:

$$Q_{\text{ф.ч.}} = G_{\text{ч}} c_{\text{ч}} t_{\text{ч}} = 3000 \cdot 0,84 \cdot 1400 = 3528000 \text{ кДж},$$

де $G_{\text{ч}}$ – маса чавуну, кг;

$c_{\text{ч}}$ – теплоємність чавуну, кДж/кг °С;

$t_{\text{ч}}$ – температура чавуну, °С.

Теплоту екзотермічних реакцій визначаємо як суму теплот окислення вуглецю C, кремнію Si, марганцю Mn і заліза Fe, відповідно:

$$Q_{\text{екз}} = Q_{\text{C}} + Q_{\text{Si}} + Q_{\text{Mn}} + Q_{\text{Fe}}, \text{ кДж.}$$

Теплота окислення відповідного елементі i визначається за формулою:

$$Q_i = g_{\text{ч}} \cdot \Delta H_i \cdot \%i/100\%, \text{ кДж},$$

де $g_{\text{ч}}$ – витрата чавуну (беремо з матеріального балансу), кг,

ΔH_i – ентальпія окислення i -го елемента, кДж/кг,

$\%i$ – кількість i -го елемента, що окислюється внаслідок продувки (беремо з матеріального балансу), $\%$ за масою.

Згідно з попередньою формулою, маємо:

$$Q_C = g_c \cdot \Delta H_C \cdot \%C / 100\% = 3000 \cdot 11658 \cdot 3,54 / 100 = 1238079,6, \text{ кДж},$$

$$Q_{Si} = g_c \cdot \Delta H_{Si} \cdot \%Si / 100\% = 3000 \cdot 27696 \cdot 2 / 100 = 1661760, \text{ кДж},$$

$$Q_{Mn} = g_c \cdot \Delta H_{Mn} \cdot \%Mn / 100\% = 3000 \cdot 6435 \cdot 1 / 100 = 193050, \text{ кДж},$$

$$Q_{Fe} = g_c \cdot \Delta H_{Fe} \cdot \%Fe / 100\% = 3000 \cdot 4289 \cdot 0,57 / 100 = 73341, \text{ кДж}.$$

Тоді, теплота екзотермічних реакцій окислення домішок чавуну при продувці його повітрям дуття:

$$Q_{\text{екз}} = 3000 \cdot (0,0354 \cdot 11658 + 0,02 \cdot 27696 + 0,01 \cdot 6435 + 0,0057) \times \\ \times 4289 = 1238079,6 + 1661760 + 193050 + 73341 = 3166231,5 \text{ кДж}.$$

Прибуткову частину теплового балансу визначаємо як суму тепловмісту чавуну та теплоту екзотермічних реакцій:

$$Q_{\text{приб}} = Q_c + Q_{\text{екз}} = 3528000 + 3166231,5 = 6694231,5 \text{ кДж}.$$

Далі розраховуємо витратну частину теплового балансу.

Тепловміст сталі розраховується по кількості сталі, що отримується в конвертері g_M (ця стаття береться з матеріального балансу), її теплоємності c_M і температурі t_M , яку має сталь на випуску з конвертера:

$$Q_M = g_M c_M t_M = 2786 \cdot 0,84 \cdot 1600 = 3745324,8 \text{ кДж}.$$

Тепловміст шлаку розраховується по кількості шлаку, що отримується в конвертері $g_{ш}$ (ця стаття береться з матеріального балансу), його теплоємності $c_{ш}$ і температурі $t_{ш}$:

$$Q_{ш} = g_{ш} c_{ш} t_{ш} = 218,33 \cdot 1,26 \cdot 1600 = 441806,4 \text{ кДж.}$$

Тепловміст колошникових газів, аналогічно, розраховується по кількості газів, що утворюються в конвертері $g_{г}$ (ця стаття береться з матеріального балансу), їх теплоємності $c_{г}$ і температурі $t_{г}$:

$$Q_{г} = (g_{г}) c_{г} t_{г} = (984,3/1,3) \cdot 1,68 \cdot 1600 = 2035229,55 \text{ кДж.}$$

Втрати теплоти через кладку розраховуємо як різницю між прибутковою і витратною частинами теплового балансу за формулою:

$$Q_{втр} = 6694231,5 - 6222360,75 = 471870,75 \text{ кДж.}$$

Результати розрахунку теплового балансу конвертерної плавки зводимо у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Тепловий баланс плавки сталі в конвертері малого бесемерування ємністю 3 т

Прибуток				Видаток			
№ п/п	Статті	кДж	%	№ п/п	Статті	кДж	%
1	$Q_{ф.ч.}$	3528000	52,7	1	$Q_{м}$	3745324,8	56,0
2	$Q_{екз}$	3166231,5	47,3	2	$Q_{ш}$	441806,4	6,6
	Σ	6694231,5	100,0	3	$Q_{г}$	2035229,5	30,4
				4	$Q_{втр}$	471870,75	7,0
					Σ	6694231,5	100,0

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти розв'язане важливе технічне завдання проектування конвертера малого бесемежування ємністю 3 т для плавки сталі 35Л із ваграночного чавуну.

При розв'язанні даного завдання вирішено наступні задачі:

- описано історію розвитку конвертерного процесу, конструкцію і принцип роботи конвертера;
- розраховано основні розміри конвертера;
- розраховано матеріальний і тепловий баланси конвертерної плавки;
- розроблено конструкцію та спроектовано креслення загального виду плавильного агрегату та механізму повороту.

В першому розділі описано розвиток конвертерного процесу, конструкцію конвертера малого бесемежування, технологічний процес плавки.

В другому розділі розраховано основні розміри конвертера малого бесемежування для плавки сталі з ваграночного чавуну ємністю 3 т, а також матеріальний і тепловий баланси плавки.

Розроблені креслення Загального виду конвертера та Механізму повороту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жуковський С.С. Про задачі Всесоюзної асоціації ливарників. - Ливарне виробництво. - № 12, 1989. - З. 2-4.
2. Мінаєв А.М., Шипілін Б.М. Ливарні печі та сушила. - М.: Машгіз, 1959. - 472 с.
3. Долотов Г.П., Кондаков Є.А. Печі та сушила ливарного виробництва. - М.: Машинобудування, 1990. - 304 с.
4. Металургійна теплотехніка. У 2-х томах. Т 2. Конструкція та робота печей: Підручник для вузів / Кривандін В.А., Неведомська І.М., Кобахідзе В.В. та ін. - М.: Металургія, 1986. - 592 с.
5. Андрєєв Б.А. Мале бесемерування. - М.: Машгіз, 1948.
6. Андрєєв Б.А. Проектування конвертерів малого бесемерування. - М.: "Сталь". - № 6, 1948.
7. Сонцев М.А., Чемоданов Л.М., Кузін А.А. Виливок сталевий арматури із малобесемерівської сталі. - М.: «Ливарне виробництво». - № 5, 1953.
8. Методичні вказівки до дослідницьких лабораторних робіт із застосуванням ЕОМ за курсом «Металургійні печі та плавка». / І.М. Москальов, Т. Г. Сабірзянов. - Кіровоград: КІСМ, 1988. - 84 с.
9. Матеріальні і теплові баланси печей ливарного виробництва: Методичні вказівки до курсового проекту з дисципліни „Печі ливарних цехів” для студентів спеціальності „Обладнання ливарного виробництва” / Т.Г.Сабірзянов. – Кіровоград: КДТУ, 2001 – 20 с.
10. Розрахунки горіння палива: Методичні вказівки до практичних занять проекту з дисципліни „Печі ливарних цехів” для студентів спеціальності „Обладнання ливарного виробництва” / Т.Г. Сабірзянов. – Кіровоград: КДТУ, 2001 – 21 ст.
11. Т.Г. Сабірзянов, С.В. Конончук. Метод розрахунку горіння коксу у вагранці // Наукові записки. – Вип. 4. – Кіровоград: КДТУ, 2003. – С. 158-168.

12. Удосконалення роботи коксової вагранки на основі дослідження взаємозв'язку між параметрами ваграночного процесу / С.В. Конончук, Т.Г. Сабірзянов // *Металургія машинобудування*, 2013. - № 1. - С. 5-7.
13. Марієнбах Л.М. Печі ливарного виробництва. - М.: Машинобудування, 1964. - 248 с.
14. Благонрахов Б.П., Грачов В.А., Сухарчук Ю.С. Печі у ливарному виробництві: Атлас конструкцій. - Москва: Машинобудування, 1989. - 156 с.
15. Марієнбах Л.М. *Металургійні основи ваграночного процесу*. - М.: Машгіз, 1960. - 327 с.
16. Сабірзянов Т.Г. Печі ливарних цехів: Навчальний посібник для студентів-ливарників вищих на-вчальних закладів III–IV рівнів акредитації. – Кіровоград: КНТУ, 2007. – 182 с.
17. Сабірзянов Т.Г. *Теплотехніка ливарних процесів [Навчальний посібник для студентів-ливарників]* / Т.Г. Сабірзянов, В.М. Кропівний. – Кіровоград: КНТУ, 2005. – 402с.
18. Сабірзянов Т.Г. Сучасний стан термодинаміки металургійних розплавів та її практичне використання // *Наукові праці Кіровоградського державного технічного університету*. - 1999. - В.5. - С. 221-224.
19. Конончук С.В. Принципи побудови математичної моделі ваграночного процесу / С.В. Конончук, Т.Г. Сабірзянов // *Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник: Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. – Кіровоград: КДТУ, 2003. – Ст 33. – С. 255 – 263.
20. Конончук С.В. Дослідження залежності ентальпії вагранкових шлаків від їхньої температури та хімічного складу / С.В. Конончук, Т.Г. Сабірзянов// *Процеси лиття*. - Київ: ФТІМС, 2005. - № 2. - С. 20 - 25.
21. Конончук С.В. Основні параметри ваграночного процесу, що впливають на горіння коксу у вагранці / С.В. Конончук., Т.Г. Сабірзянов // *Тези доповідей I міжнар. наук.-техн. конф. «Перспективні технології, матеріали та*

обладнання у ливарному виробництві». 7 – 11 вересня 2008 р. – Краматорськ: ДДМА, 2008. – С. 41-42.

22. Твердопаливна вагранка: Патент на винахід UA 74082 C2 МПК 7 F27B1/10, C21B11/02 // С.В. Конончук, Т.Г. Сабірзянов, В.М. Кропивний. - № 2004021123; заявлено 17.02.2004; Опубл. 17.10.2005. Бюл. 10.

23. Конончук С.В. Вплив температури дуття та вмісту в ньому кисню на повноту горіння коксу у вагранці / С.В. Конончук // Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. «Перспективні технології, матеріали та обладнання у ливарній індустрії», м. Київ: ФТІМС, 2010 р. – С. 126-127.

24. Конончук С.В. Дослідження ваграночного процесу за умов ливарного цеху ПАТ «Червона Зірка» / С.В. Конончук // Матеріали Міжнар. наук.-практ. конференції «Ливарне виробництво: технології, матеріали, обладнання, економіка та екологія», м. Київ: ФТІМС, 2011 р. – С. 126-127.

25. Конончук С.В. Особливості плавки чавуну у твердопаливній вагранці / С.В. Конончук, Т.Г. Сабірзянов // Матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. «Ливарне виробництво: технології, матеріали, обладнання, економіка та екологія», м. Київ: ФТІМС, 2012 р. – С. 162-164.

26. Конончук С.В. Особливості плавки чавуну у твердопаливній вагранці / С.В. Конончук, Т.Г. Сабірзянов // Процеси лиття. – Київ: ФТІМС, 2013. – № 1. – С. 20 – 25.

ДОДАТКИ