

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет

Кафедра «Матеріалознавства та ливарного виробництва»

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри МЛВ

к.т.н., доцент

_____ Олександр КУЗИК

« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти

на тему:

**«Розробка технології плавки сталі 35Л із
ваграночного чавуну в конвертері малого
бесемерування ємністю 2 т»**

Виконав здобувач вищої освіти 4-го

курсу групи ПМ(ОЛ)-21

ОПП «Компютерний інжиніринг

технологій, робототехніка і 3D друк»

спеціальності 131 «Прикладна

механіка»

_____ Михайло ПРОДАН

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 «Комп'ютерний інжиніринг технологій,
робототехніка і 3D друк» .

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МЛВ

к.т.н., доцент

_____ Олександр КУЗИК

« ____ » _____ 2025 р.

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

Продан Михайло Миронович

1. Тема роботи: «Розробка технології плавки сталі 35Л із ваграночного чавуну в конвертері малого бесемерування ємністю 2 т»
2. Керівник роботи: Конончук Сергій Васильович, канд. техн. наук, доцент
3. Строк подання роботи до захисту: 15.06.2025 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Розробка технології плавки сталі 35Л із ваграночного чавуну в конвертері малого бесемерування ємністю 2 т. 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	10.04.2025	
2	Розрахунки по конструкторській частині	30.04.2025	
3	Креслення по конструкторській частині	20.05.2025	
4	Оформлення пояснювальної записки	10.06.2025	
5	Оформлення презентації роботи	15.06.2025	
6	Здача роботи на кафедрі та перевірка на наявність запозичень	15.06.2025	
9	Захист кваліфікаційної роботи	25.06.2025	

Дата видачі завдання

« ____ » _____ 2025 р.

Підпис керівника

_____ Конончук С.В.

Завдання прийнято до виконання

« ____ » _____ 2025 р.

Підпис здобувача

_____ Продан М.М.

Анотація

ПРОДАН Михайло Миронович. Розробка технології плавки сталі 35Л із ваграночного чавуну в конвертері малого бесемерування ємністю 2 т. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти: ЦНТУ, 2025. 31 с.

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

В першому розділі описано конструкцію і принцип роботи конвертера, технологію виробництва сталі з чавуну вагранкової плавки, та металургійні процеси, що протікають під час плавки.

В другому розділі розраховано основні розміри конвертера малого бесемерування для плавки чавуну ємністю 2 тони, матеріальний і тепловий баланси плавки.

Розроблені креслення Загального виду конвертера та Механізму повороту.

Ключові слова: конвертер, сталь, чавун, окислення, матеріальний баланс, тепловий баланс, футеровка, механізм повороту.

Abstract

PRODAN Mykhailo. Development of technology for melting 35L steel from cupola cast iron in a small Bessemer converter with a capacity of 2 tons. Qualification work for the first (bachelor's) level of higher education: CUNTU, 2025. 31 p.

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

The first section describes the design and principle of operation of the converter, the technology for producing steel from cupola cast iron, and the metallurgical processes that occur during melting.

The second section calculates the main dimensions of a small Bessemer converter for melting cast iron with a capacity of 2 tons, the material and heat balances of melting.

Drawings of the General view of the converter and the Turning mechanism have been developed.

Keywords: converter, steel, cast iron, oxidation, material balance, heat balance, lining, turning mechanism.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	7
1. БУДОВА І ПРИНЦИП РОБОТИ КОНВЕРТЕРА	9
1.1. Розвиток конвертерного процесу	9
1.2. Конструкція конвертера	10
1.3. Технологічний процес плавки	15
2. РОЗРАХУНОК КОНВЕРТЕРА	17
2.1. Розрахунок основних розмірів конвертера	17
2.2. Розрахунок матеріального балансу	20
2.3. Тепловий баланс плавки	24
ВИСНОВКИ	27
ЛІТЕРАТУРА	28
ДОДАТКИ	31

ВСТУП

Актуальність роботи. Конвертерний спосіб плавки сталі залишається одним з найважливіших у світовому виробництві, попри появу нових технологій. Його перспективи тісно пов'язані з постійним удосконаленням та адаптацією до сучасних вимог. Оптимізація процесів продувки киснем, використання кисню високої чистоти та вдосконалення конструкції конвертерів дозволяють знизити витрати енергії та підвищити продуктивність. Впровадження систем очищення газів, що виділяються під час плавки, значно зменшує шкідливий вплив на навколишнє середовище. Дослідження спрямовані на мінімізацію викидів оксидів азоту та інших шкідливих речовин. Сучасні конвертерні цехи активно впроваджують автоматизовані системи керування процесом плавки, що підвищує точність дозування матеріалів, оптимізує режими продувки та покращує якість сталі. Використання цифрових технологій для моделювання та прогнозування процесів дозволяє мінімізувати відхилення від заданих параметрів. Конвертери використовуються для плавки не тільки звичайних сталей, але й спеціальних сплавів з високими механічними властивостями, що відповідають потребам різних галузей промисловості. Поєднання конвертерного способу з іншими методами плавки, наприклад, електродугова піч, дозволяє отримувати сталь з заданими властивостями та знижувати собівартість виробництва. Розробляються нові конструкції конвертерів, що дозволяють плавити більші об'єми металу та покращувати якість сталі. Досліджуються конвертери з більш стійкими футеровками, що збільшують термін їх служби. Проте, перспективи конвертерного способу плавки сталі також пов'язані з певними викликами, такими як конкуренція з іншими методами плавки, необхідність постійного оновлення обладнання та підвищення кваліфікації персоналу. Тому задачі розрахунку та проектування конвертерів та розробки технології конвертерної плавки сталі є актуальними.

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є розробка технології плавки сталі 35Л в конвертері малого бесемерування з 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 – технологічний процес плавки сталі в конвертері малого бесемерування.

Предмет дослідження – матеріальний і тепловий баланси конвертерної плавки.

Практичне значення – розроблено конструкцію конвертера малого бесемерування ємністю 2 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

Спосіб переробки чавуну в сталь шляхом продувки рідкого чавуну повітрям був запропонований у 1858 році видатним англійським винахідником, металургом, членом Лондонського королівського товариства Г. Бесемером. На заводах чорної металургії використовувались потужні бесемерівські конвертери ємністю більше 10 т, в яких метал продувався повітрям через отвори (фурми) в днищі конвертера. Такі конвертери мали нечувану продуктивність, оскільки тривалість плавки в них становила 20 – 30 хвилин. Для сталеливарних цехів була потрібна значно менша продуктивність, тому в них пробували використовувати конвертери меншої ємності (2 – 3 т), які являли собою зменшені копії вищезазначених металургійних конвертерів. Але через несприятливий тепловий баланс плавки одержати рідку сталь в них виявилось неможливим, бо питомі втрати теплоти в навколишнє середовище були занадто високими, вони перевищували надходження теплоти за рахунок окислення домішок чавуну. Тому метал при продувці охолоджувався, а не нагрівався, і в решті-решт затвердівав, після чого процес повністю припинявся. Однак завдяки наполегливій роботі металургів різних країн (Швеція, Англія, США, Франція та інші) проблема одержання в малих конвертерах рідкої сталі із рідкого чавуну шляхом продувки останнього повітрям була вирішена. Це вдалося зробити при використанні не донної, а бокової продувки металу, що дозволило значно покращити тепловий баланс процесу за рахунок допалювання СО всередині конвертера, а не за його межами, як це відбувається в звичайних бесемерівських конвертерах з донною продувкою. Так народився новий спосіб одержання рідкої сталі – так зване мале бесемерування в конвертерах з боковою продувкою.

Даний спосіб використовується в фасонно-ливарних цехах при

виробництві дрібних та середніх відливків звичайної якості, а також складних тонкостінних відливків.

Малобесемерівський процес, як і звичайний бесемерівський, є безперервним. Для забезпечення безперервності роботи встановлюється не один конвертер, а блок із двох – трьох конвертерів, з яких один знаходиться в роботі, а інші перебувають в ремонті.

Рідкий чавун для конвертера плавиться у вагранках. Таким чином, малобесемерівський процес є дуплекс-процесом “вагранка – конвертер малого бесемерування”.

Сталь випускається із конвертера через кожні 15 – 25 хвилин малими порціями, що відповідають ємності конвертера. Це робить його зручним в ливарному виробництві. Капітальні витрати на установку конвертерів невеликі, обладнання просте, більша його частина може бути виготовлена на місці.

1.2. Конструкція конвертера

В ливарних цехах використовують конвертери ємністю від 1 до 5 т чавуну, найбільш поширені конвертери ємністю 2,0 – 2,5 т.

Загальний вигляд конвертера ємністю 2,5 т зображений на рис. 1.1.

Конвертер складається з ключових компонентів: міцного фундаменту з опорними стійками, власне конвертера (або реторти), опорного кільця з цапфами, системи для подачі дуття та механізму повороту.

Фундамент, на якому розміщується конвертер, будується з традиційних будівельних матеріалів. Між опорними стійками передбачено приямок. Сталеві або чавунні стійки надійно кріпляться до фундаменту за допомогою болтів.

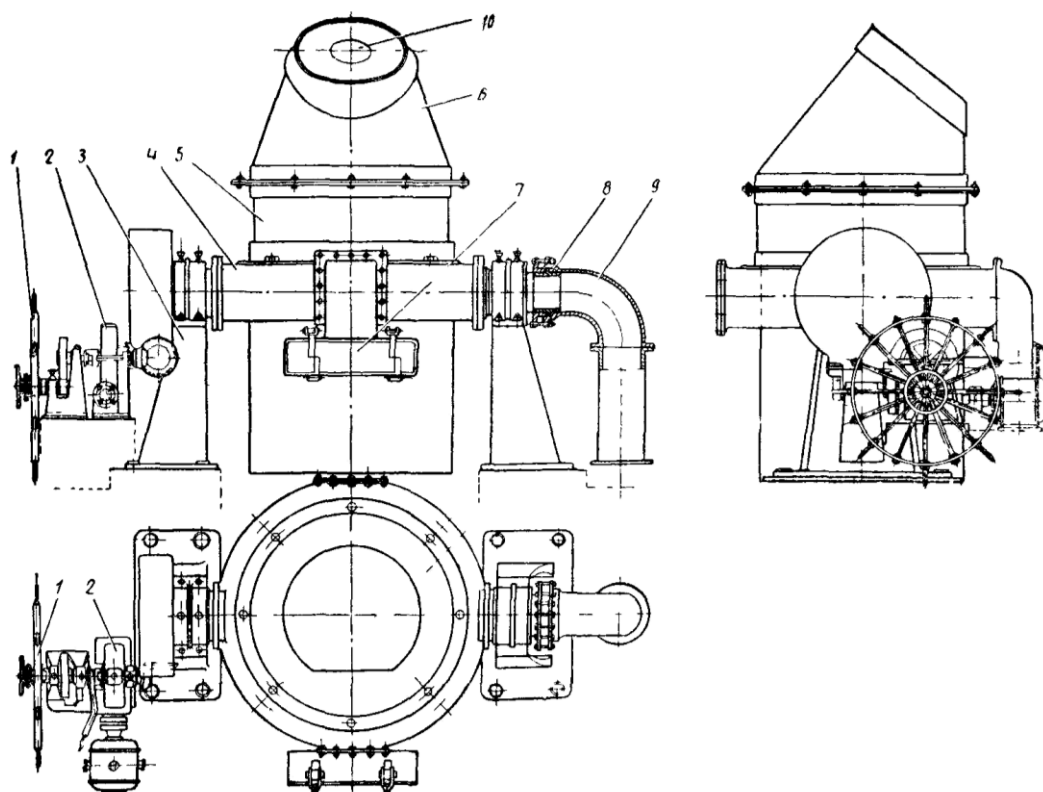


Рис. 1.1. Конвертер з бічним дуттям:

- 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, або власне тіло конвертера, являє собою зварений циліндричний кожух, виготовлений з листової сталі товщиною від 10 до 14 мм, залежно від розміру конвертера. До кожуха приварюється кільце з кутового заліза з отворами для кріплення до опорного кільця. У стінках реторти передбачені отвори для виходу водяної пари під час сушіння футеровки (вогнетривкого покриття). Шолом, що закриває верхню частину конвертера, зварюється з листа тієї ж товщини, що і кожух. Малий отвір шолому (горловина) посилюється половою листової сталі шириною від 300 до 350 мм. До кожуха циліндричної частини та до шолому приварюються кільця для підйому конвертера краном. Реторта та шолом футеруються окремо, а потім збираються на болтах. Розміри реторти визначаються на основі практичних даних, враховуючи такі фактори: рідкий метал повинен бути підданий впливу повітря, що продувається по його поверхні або під

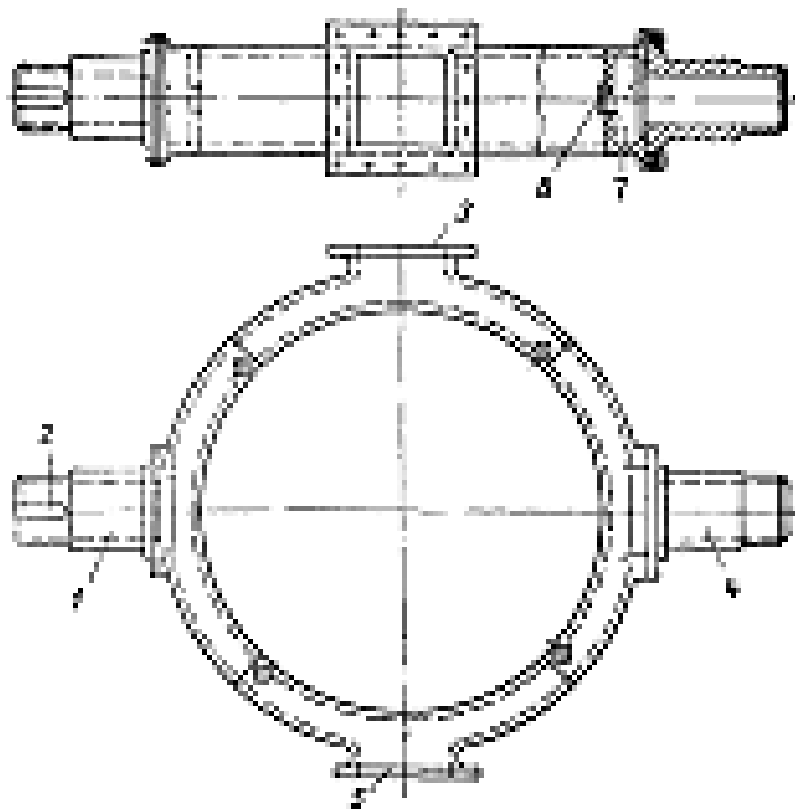
дзеркалом ванни на глибині до 6 см. Важливо, щоб не залишалося мертвих зон, куди повітря не потрапляє. Ця вимога, при заданій ємності конвертера, обмежує максимальний діаметр його робочого простору.

Для мінімізації викидів металу та шлаку під час продувки необхідно забезпечити достатній об'єм робочого простору, а горловина не повинна мати надмірно великий діаметр. Ексцентриситет горловини (зміщення від центру) вибирається таким чином, щоб у реторту, встановлену в горизонтальне положення, міг вміститися весь рідкий метал. Практика показує, що об'єм реторти повинен перевищувати об'єм металу в 4-5 разів.

Фурми, через які подається повітря, зазвичай розташовуються горизонтально або з невеликим нахилом униз (до 15°). У сучасних конвертерах фурми розміщують паралельно одна одній. Вісь симетрії фурм (або середня фурма) розташовується перпендикулярно до осі циліндричної частини конвертера. Раніше використовували віялоподібне та тангенціальне розташування фурм, але вони не виправдали себе.

Для футеровки (вогнетривкого покриття) конвертера використовують шамотну або динасову цеглу, а також спеціальну фурменну цеглу для фурм та фасонну цеглу для горловини. Кладка цегли здійснюється на розчині з меленої глини та піску. Альтернативою є набивна футеровка з кварцового піску, яка має переваги в економічності. Цегляна кладка виконується у кілька шарів, з використанням піску або формувальної суміші для основи. Зовнішній шар викладається із шамотної цегли, внутрішній - з динасової, з ретельною герметизацією швів. Горловина футерується аналогічно циліндричній частині або виконується набивною. Фурменна частина також може бути набивною. Футеровка витримує від 30 до 40 плавов (рідше до 60), тому для безперервної роботи цеху використовують декілька конвертерів.

Опорне кільце з цапфами (рис. 1.2) зварюється зі сталевих деталей. До кільця кріпляться порожнисті цапфи, одна з яких призначена для подачі повітря, а друга з'єднується з поворотним механізмом. Реторта спирається на опорне



кільце та кріпиться 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 розташована навпроти фурменних отворів. З боку конвертера коробка закривається кришкою з отворами для сопел, які входять у фурми. З протилежного боку також є кришка для очищення та контролю стану фурм. Існують конструкції коробок, що безпосередньо прилягають до корпусу реторти.

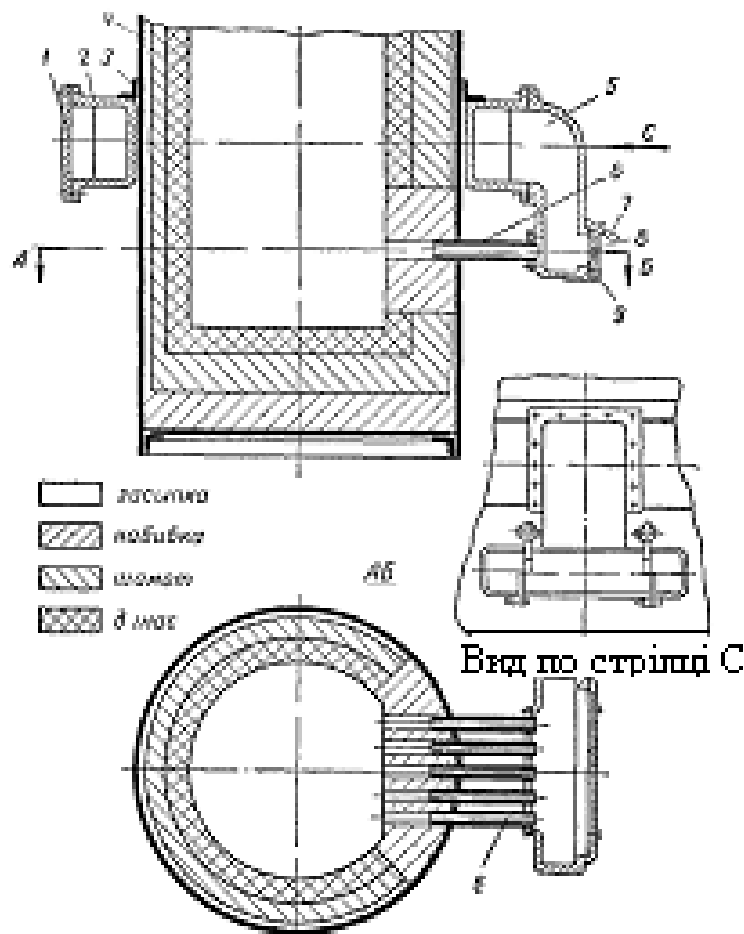


Рис. 1.3. Фурменна коробка:

- 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) передбачає можливість обертання як за допомогою електродвигуна, так і вручну. Швидкість обертання становить 1,5 - 2,0 об/хв.

У сучасних ливарних цехах конвертери зазвичай розташовуються на рівні підлоги, з віссю обертання на висоті 1,5 - 1,6 м. Горловина конвертера спрямована до стіни. Над конвертером встановлено витяжний ковпак, стінка якого охолоджується водою. Дуття з тиском до 0,03 МПа подається від вентиляторів по трубопроводу через цапфу реторти.

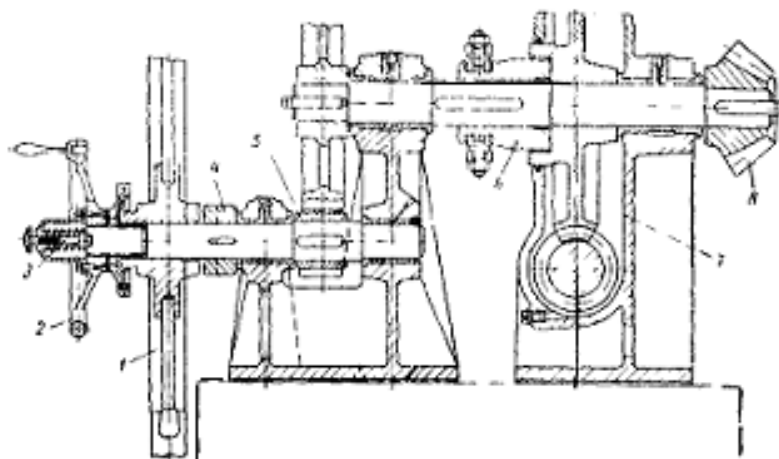


Рис. 1.4. Механізм повороту конвертера:

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

Процес плавки в конвертері малого бесемерування є аналогічним традиційному бесемерівському процесу.

Вихідним матеріалом є рідкий чавун, отриманий з вагранки, хімічний склад якого повинен відповідати вимогам Держстандарту 805-57 для бесемерівського чавуну марки Б-1. Перед заливкою в конвертер, за необхідності, проводиться десульфурція чавуну в ковші.

Оптимальна температура чавуну при випуску з вагранки становить 1440-1470°C, а при заливці в конвертер – 1400-1450°C. Футеровка конвертера перед початком плавки повинна бути нагріта до температури в діапазоні 1350-1500°C.

Корекція хімічного складу здійснюється шляхом введення феросиліцію (для холодних плавок) або скрапу (для гарячих плавок).

Заливка рідкого чавуну в конвертер здійснюється в горизонтальному положенні. Після включення дуття з надлишковим тиском 25-35 кПа, конвертер переводиться у вертикальне положення, забезпечуючи оптимальне положення дзеркала ванни.

Процес плавки проходить через три основні періоди: період іскр (шлакоутворення), період полум'я та період диму. Після досягнення необхідних параметрів вмісту вуглецю та температури, плавка завершується осадочним розкисленням.

Малобесемерівський процес дозволяє виробляти високоякісні вуглецеві та низьковуглецеві сталі, призначені для фасонного литва, що використовується в різних галузях машинобудування.

Використання чистого газоподібного кисню як окислювача сприяє покращенню якості сталі, зниженню виробничих витрат та збільшенню можливостей переробки металобрухту.

Завдяки своїм властивостям, малобесемерівська сталь не поступається за якістю мартенівській та електросталі. Зокрема, низький вміст азоту (0,004-0,010%) забезпечує високу ударну в'язкість в широкому діапазоні температур (від +5 до -60°C).

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

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

d – діаметр ванни, м.

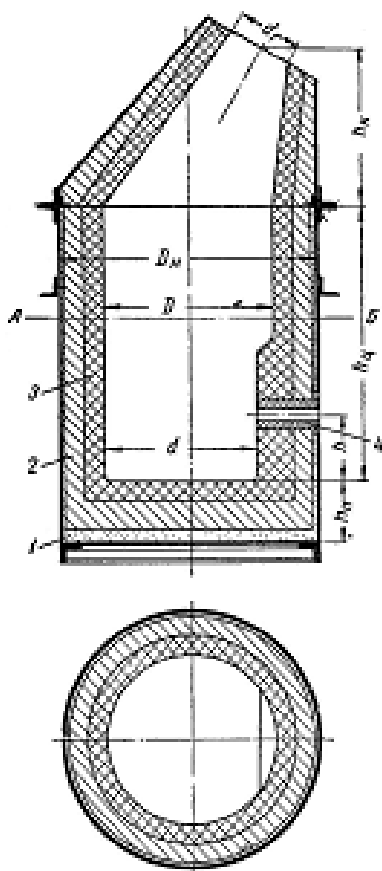


Рис. 2.1. Профіль конвертера бічного дуття:

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

Звідси:

$$d = 0,45\sqrt{Q/h} = 0,45\sqrt{2/0,5} = 0,9 \text{ м.}$$

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:

$$D = 1,1d = 1,1 \cdot 0,9 = 0,99 \text{ м;}$$

$$D \approx 0,5\sqrt{Q/h} = 0,5\sqrt{2/0,5} = 1 \text{ м.}$$

Приймаємо $D=1$ м.

Зовнішній діаметр металевого кожуха:

$$D = D + 2(a + b + c) = 1 + 2(0,3 + 0,035 + 0,015) = 1,7 \text{ м,}$$

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:

$$d_r = 0,4D = 0,4 \cdot 1 = 0,4 \text{ м.}$$

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

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

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

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

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

$$2,5 + 0,95 = 3,15 \text{ м.}$$

Товщина поду ванни:

$$h_{\text{п}} = 0,43D = 0,43 \cdot 1 = 0,43 \text{ м.}$$

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

Об'єм реторти:

$$V_p = 2,67d^3 = 2,67 \cdot 0,9^3 = 1,95 \text{ м}^3.$$

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

Розміри повітророзподільчої коробки:

$$\text{ширина } l_1 = 0,35d = 0,35 \cdot 0,9 = 0,315 \text{ м;}$$

$$\text{висота } l_2 = 0,45d = 0,45 \cdot 0,9 = 0,405 \text{ м;}$$

$$\text{довжина } l_3 = 0,9d = 0,9 \cdot 0,9 = 0,81 \text{ м.}$$

Згідно з [2] площу перерізу фурм на 1 т металу приймаємо – 20 см²/т. Загальна площа перерізу фурм – 20х2=40 см². Діаметр фурм приймаємо 30 мм. Тоді площа перерізу однієї фурми складає:

$$f_{\phi} = \frac{\pi d_{\phi}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 3^2}{4} = 7,065 \text{ см}^2.$$

Кількість фурм: $n = 40/7,065 = 5,66$ шт. Приймаємо $n=6$ 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 – 2,0 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:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Mn} + \text{O} = \text{MnO} & g_{\text{MnO}} = \frac{2000}{100} \cdot 1 \cdot \frac{71}{55} = 25,8 \text{ кг}; & \\
 \text{Si} + 0,5\text{O}_2 = \text{SiO}_2 & g_{\text{SiO}_2} = \frac{2000}{100} \cdot 2 \cdot \frac{60}{28} = 85,7 \text{ кг}; & \\
 \text{фугеровка (1\%)} & g_{\text{фут}} = \frac{2000}{100} \cdot 1 = 20,0 \text{ кг}; & \\
 \hline
 \Sigma = & & 131,5 \text{ кг.} \\
 \\
 \text{FeO (10\%)} & g_{\text{FeO}} = 0,1 \cdot \frac{131,5}{0,9} = 14,6 \text{ кг} & \\
 \hline
 \Sigma\Sigma = & & 146,1 \text{ кг}
 \end{array}$$

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

$$g_{\text{Fe}} = 14,6 \cdot \frac{56}{72} = 11,4 \text{ кг} (0,57 \%).$$

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

$$g_{\text{ст}} = 2000 - [(3,8 - 0,26) + 1,0 + 2,0 + 0,57] \cdot \frac{2000}{100} = 2000 \cdot 0,9289 = 1857,8 \text{ кг}.$$

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

$$g_{\text{CO}} = 0,0354 \cdot 2000 \cdot \frac{28}{12} = 165,2 \text{ кг}.$$

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

$$g_{O_2} = \underbrace{25,8 \cdot \frac{16}{71}}_{g_{O_2, MnO}} + \underbrace{85,7 \cdot \frac{32}{60}}_{g_{O_2, SiO_2}} + \underbrace{14,6 \cdot \frac{16}{72}}_{g_{O_2, FeO}} + \underbrace{165,2 \cdot \frac{16}{28}}_{g_{O_2, CO}} = 5,81 + 45,71 + 3,24 + 94,40 = 149,16 \text{ кг.}$$

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

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

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

$$\Sigma = 22,4 \text{ нм}^3$$

Рештою елементів в повітрі нехтуємо.

В цій кількості повітря маса газів буде наступною:

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

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

$$\Sigma = 28,84 \text{ кг}$$

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:

$$g_{N_2} = \frac{149,16}{23,3} \cdot 76,7 = 491,0 \text{ кг.}$$

Загальна кількість повітря дуття визначаємо за формулою:

$$g_{\text{пов}} = g_{\text{O}_2} + g_{\text{N}_2} = 149,16 + 491,0 = 640,16 \text{ кг.}$$

Розраховуємо кількість відхідних газів за формулою:

$$g_{\text{г}} = g_{\text{CO}} + g_{\text{N}_2} = 165,2 + 491,0 = 656,2 \text{ кг.}$$

Результати розрахунків зводимо у табл. 2.1.

Таблиця 2.1

Матеріальний баланс плавки сталі в конвертері малого бесемерування
ємністю 2 т

№ п/п	Статті прибутку	кг	%	№ п/п	Статті видатку	кг	%
1	Рідкий чавун	2000	75,2	1	Сталь	1857,8	69,8
2	Повітря	640	24,1	2	Шлак	146,1	5,5
3	Футеровка	20	0,7	3	Гази	656,2	24,7
	Всього	2660	100,0		Всього	2660	100,0

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

$$\Delta g_{\text{м}} = 2000 - 1857,8 = 142,2 \text{ кг,}$$

$$\text{або } \% \Delta g_{\text{м}} = \frac{2000 - 1857,8}{2000} \cdot 100\% = 7,11\%.$$

2.3. Тепловий баланс 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 С, 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:

$$Q_{\text{ф.ч.}} = G_{\text{ч.}} c_{\text{ч.}} t_{\text{ч.}} = 2000 \cdot 0,84 \cdot 1400 = 2352000 \text{ кДж},$$

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 С, 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 елементу i визначається за формулою:

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

де g_i – 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:

$$Q_C = g_C \cdot \Delta H_C \cdot \%C/100\% = 2000 \cdot 11658 \cdot 3,54 / 100 = 825386,4, \text{ кДж},$$

$$Q_{Si} = g_{Si} \cdot \Delta H_{Si} \cdot \%Si/100\% = 2000 \cdot 27696 \cdot 2 / 100 = 1107840, \text{ кДж},$$

$$Q_{Mn} = g_{Mn} \cdot \Delta H_{Mn} \cdot \%Mn/100\% = 2000 \cdot 6435 \cdot 1 / 100 = 128700, \text{ кДж},$$

$$Q_{Fe} = g_{Fe} \cdot \Delta H_{Fe} \cdot \%Fe/100\% = 2000 \cdot 4289 \cdot 0,57 / 100 = 48894,6, \text{ кДж}.$$

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

$$Q_{\text{екз}} = 0,0354 \cdot 2000 \cdot 11658 + 0,02 \cdot 2000 \cdot 27696 + 0,01 \cdot 2000 \cdot 6435 + 0,0057 \cdot 2000 \times \\ \times 4289 = 825386,4 + 1107840 + 128700 + 48894,6 = 2110821 \text{ кДж}.$$

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

$$Q_{\text{приб}} = Q_C + Q_{\text{екз}} = 2352000 + 2110821 = 4462821 \text{ кДж}.$$

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 температури t_M , яку має сталь на випуску з конвертера:

$$Q_M = g_M \cdot c_M \cdot t_M = 1857,8 \cdot 0,84 \cdot 1600 = 2496883,2 \text{ кДж}.$$

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

$$Q_{ш} = g_{ш} c_{ш} t_{ш} = 146,1 \cdot 1,26 \cdot 1600 = 294537,6 \text{ кДж.}$$

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 $t_{г}$:

$$Q_{г} = (g_{г}) c_{г} t_{г} = (656,2/1,3) \cdot 1,68 \cdot 1600 = 1356819,7 \text{ кДж.}$$

Втрати теплоти через кладку розраховуємо за формулою:

$$Q_{втр} = 4462821 - 4148240,5 = 314580,5 \text{ кДж.}$$

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

Таблиця 2.2

Тепловий баланс плавки сталі в конвертері малого бесемерування ємністю 2 т

Прибуток				Видаток			
№ п/п	Статті	кДж	%	№ п/п	Статті	кДж	%
1	$Q_{ф.ч.}$	2352000,0	52,7	1	$Q_{м}$	2496883,2	56,0
2	$Q_{екз}$	2110821,0	47,3	2	$Q_{ш}$	294537,6	6,6
	Σ	4462821,0	100,0	3	$Q_{г}$	1356819,7	30,4
				4	$Q_{втр}$	314580,5	7,0
					Σ	4462821,0	100,0

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти розв'язане важливе технічне завдання розробки технології плавки сталі 35Л із ваграночного чавуну в конвертері малого бесемерування ємністю 2 т.

При розв'язанні даного завдання вирішено наступні задачі:

- 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 бесемерування, технологічний процес плавки.

В другому розділі розраховано основні розміри конвертера малого бесемерування для плавки сталі з ваграночного чавуну ємністю 2 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. Благонравов 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