

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:

«Проектування індукційного каналного міксера для накопичення та перегріву чавуну вагранкової плавки ємністю 30 т»

Виконав здобувач вищої освіти 4-го

курсу групи ПМ(ОЛ)-21

ОПП «Компютерний інжиніринг

технологій, робототехніка і 3D друк»

спеціальності 131 «Прикладна

механіка»

_____ Ярослав ПРОКОФ'ЄВ

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**

Прокоф'єв Ярослав Олександрович

1. Тема роботи: «Проектування індукційного каналного міксера для накопичення та перегріву чавуну вагранкової плавки ємністю 30 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: Проектування індукційного каналного міксера для накопичення та перегріву чавуну вагранкової плавки ємністю 30 т. Описати будову і принцип роботи індукційного каналного міксера. Розрахувати основні розміри плавильного агрегата а також виконати повний електротехнічний розрахунок. Спроекувати креслення загального виду міксера та індукційної одиниці.
5. Перелік графічного матеріалу: 1) Загальний вид індукційного каналного міксера, 2) Індукційна одиниця

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

_____ Прокоф'єв Я.О.

Анотація

ПРОКОФ'ЄВ Ярослав Олександрович. Проектування індукційного каналного міксеру для накопичення та перегріву чавуну вагранкової плавки ємністю 30 т. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти: ЦНТУ, 2025. 33 с.

Перелік графічного матеріалу: 1) Загальний вид індукційного каналного міксеру, 2) Індукційна одиниця.

В першому розділі описано печі для плавки чавуну, будову і принцип роботи індукційного каналного міксеру.

В другому розділі розраховано основні розміри індукційного каналного міксеру для накопичення і перегріву ваграночного чавуну ємністю 30 т. Виконано повний електротехнічний розрахунок плавильного агрегату.

Розроблені креслення Загального виду міксеру та Індукційної одиниці.

Ключові слова: індуктор, міксер, чавун, перегрів, трансформатор, потужність, футеровка, електроустаткування.

Abstract

PROKOFIEV Yaroslav. Design of an induction channel mixer for the accumulation and superheating of cupola cast iron with a capacity of 30 tons. Qualification work for the first (bachelor's) level of higher education: CUNTU, 2025. 33 p.

List of graphic material: 1) General view of the induction channel mixer, 2) Induction unit.

The first section describes the furnaces for melting iron, the structure and principle of operation of the induction channel mixer.

The second section calculates the main dimensions of the induction channel mixer for the accumulation and overheating of cupola cast iron with a capacity of 30 tons. A full electrical calculation of the melting unit has been performed.

Drawings of the General view of the mixer and the Induction unit have been developed.

Keywords: inductor, mixer, cast iron, overheating, transformer, power, lining, electrical equipment.

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	7
1. БУДОВА І ПРИНЦИП РОБОТИ ІНДУКЦІЙНОГО КАНАЛЬНОГО МІКСЕРА	9
1.1. Паливні печі для плавки чавуну	9
1.2. Електричні печі для плавки чавуну	11
1.3. Принцип роботи індукційної каналної печі	12
1.4. Будова індукційного каналного міксера	14
2. РОЗРАХУНОК ІНДУКЦІЙНОГО КАНАЛЬНОГО МІКСЕРА	21
2.1. Вихідні дані для розрахунку печі	21
2.2. Розрахунок основних розмірів та повний електротехнічний розрахунок індукційного каналного міксера	21
2.3. Електроустаткування індукційного каналного міксера	27
ВИСНОВКИ	29
ЛІТЕРАТУРА	30
ДОДАТКИ	33

ВСТУП

Актуальність роботи. Індукційні каналні міксери – це перспективна технологія для змішування, накопичення та перегріву рідких металів, що демонструє високу ефективність та енергозбереження. Вони забезпечують швидке та рівномірне перемішування рідкого металу, що покращує однорідність хімічного складу та температури, зменшуючи час плавки та підвищуючи продуктивність виробництва. Використання індукційного нагріву сприяє зниженню енергоспоживання, зменшенню втрат тепла та підвищенню ККД процесу. Завдяки рівномірному перемішуванню зменшується кількість дефектів у металі, а можливість точного контролю температури та хімічного складу покращує якість кінцевого продукту. Процес легко піддається автоматизації, знижуючи потребу у ручній праці та підвищуючи безпеку виробництва. Індукційні каналні міксери також сприяють зменшенню викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище, роблячи процес більш екологічним. Вони мають широке застосування в різних галузях металургії, машинобудування та ливарного виробництва, адаптуючись до різних типів рідких металів та сплавів. Проте, слід враховувати високу вартість обладнання та потребу в кваліфікованому персоналі для обслуговування. Загалом, перспективи використання індукційних каналних міксерів є дуже позитивними, сприяючи підвищенню ефективності, якості та екологічності виробництва. Тому задачі розрахунку та проектування індукційних каналних міксерів для накопичення та перегріву металів є актуальними.

Мета і задачі дослідження. Проектування індукційного каналного міксера для накопичення та перегріву чавуну вагранкової плавки ємністю 30 т.

Поставлена мета досягнута шляхом вирішення таких задач:

- Огляд печей для плавки чавуну;
- Опис будови і принципу роботи індукційної каналної печі;
- розрахунок основних розмірів індукційного каналного міксера;
- повний електротехнічний розрахунок печі;

– розробка конструкції та креслення загального виду міксера.

Об'єкт дослідження – індукційний каналний міксер.

Предмет дослідження – електротехнічний розрахунок індукційного каналного міксера.

Практичне значення – розроблено конструкцію індукційного каналного міксера для накопичення та перегріву чавуну вагранкової плавки ємністю 30 т.

Особистий внесок – виконано повний електротехнічний розрахунок міксера.

1. БУДОВА І ПРИНЦИП РОБОТИ ІНДУКЦІЙНОГО КАНАЛЬНОГО МІКСЕРА

Для плавки чавуну в ливарному виробництві використовують як паливні, так і електричні печі. Серед паливних печей найпоширенішими є вагранки та подові полум'яні печі. Що стосується електричних печей, то для плавки або перегрівання рідкого чавуну застосовують індукційні тигельні печі, індукційні каналні міксери та звичайні дугові електропечі.

1.1. Паливні печі для плавки чавуну

Вагранка є найпоширенішою піччю для плавки чавуну. Вона має високу продуктивність і займає невелику площу в цеху, не потребуючи великої кількості обслуговуючого персоналу. Керування та регулювання роботи вагранки можуть бути автоматизовані. Хоча конструкція вагранки є досить простою, вона зазнала значних змін протягом свого розвитку, і її удосконалення триває.

Сучасні вагранки, як правило, мають круглий перетин і можуть бути з накопичувачем або без нього. Вибір між вагранкою з накопичувачем і без нього залежить від умов експлуатації. Вагранки без накопичувача зазвичай використовуються в цехах, що виробляють дрібне та середнє литво, особливо в умовах масового виробництва з безперервним заливанням металу на конвеєрах. Вагранки з накопичувачем, навпаки, зазвичай встановлюються в цехах, що виготовляють середнє та крупне литво. Як накопичувачі часто використовують індукційні каналні міксери, які дозволяють накопичувати та перегрівати чавун на 100-150 градусів.

Що стосується полум'яних печей, то в даний час для плавки чавуну використовуються переважно печі зі знімним арковим склепінням. Це дозволяє механізувати завантаження шихти та завантажувати великі шматки металу, такі як браковані відливки, брухт, болванки та уламки

прокатних валків. Полум'яні печі мають ємність від 3 до 80 тонн, найчастіше 5, 10 і 35 тонн. Вони можуть працювати на рідкому паливі, але також можуть використовувати тверде паливо, яке спалюється на колосниках. Форсунка розташована проти отвору в торцевій стінці печі, а полум'я вдаряється об поріг, що сприяє кращому змішуванню пального з повітрям і покращує горіння. Розжарені гази направляються на дзеркало металу, оскільки звід на початку робочого простору знижений. З метою спрощення конструкції печі звід часто роблять горизонтальним з невеликим зниженням лише на вході продуктів горіння в димар. Випускний отвір зазвичай розташований у бічній частині печі.

Основні розміри полум'яної печі визначаються з урахуванням розміщення в ній усієї заданої садки. Розрахунок починається з визначення розмірів ванни, виходячи з питомого об'єму рідкого металу зі шлаком, що становить $0,17 \text{ м}^3/\text{т}$. Площа ванни в плані залежить від середньої глибини. Чим мілкіша ванна, тим швидше вона прогрівається, але в той же час це призводить до більшого окислення металу. Середня глибина ванни коливається в залежності від ємності печі від 125 до 350 мм. Біля випускного отвору глибина ванни збільшується на 75-180 мм. Ширина ванни обмежується зручністю обслуговування та стійкістю зводу, зазвичай вона становить 1,5-2,5 м.

Довжина ванни повинна відповідати характеру горіння пального. Більш довгополум'яне паливо вимагає довшої печі, оскільки коротка піч може призвести до небезпеки хімічного недопалу. Довжина ванни коливається в межах від 5 до 11 м в залежності від ємності печі та використовуваного пального. Висота зводу над дзеркалом ванни вибирається з розрахунку завантаження в піч усієї шихти за один прийом, об'єм робочого простору коливається від $0,5$ до $1,2 \text{ м}^3$ на тонну завалки.

Витрата пального в полум'яних печах є значною: для кам'яного вугілля вона становить 35-40%, для кам'яновугільного пилу – 30-35%, а для рідкого пального – 15-20%.

1.2. Електричні печі для плавки чавуну

Для плавки чавуну використовують електричні печі різних типів, включаючи дугові та індукційні тигельні печі з кислим або основним футеруванням, а також печі типу ДМ з незалежною дугою.

Електропечі, при правильному веденні процесу, дозволяють отримувати чавун з точним хімічним складом та високою температурою (до 1600°C). Проте, плавка чавуну в електропечах є значно дорожчою (в 3-4 рази) порівняно з вагранкою, і економічно виправдана лише в регіонах з дешевою електроенергією та віддалених від джерел коксу. Тому електропечі для плавки чавуну застосовуються переважно у випадках, коли потрібна невелика кількість високоякісного металу, наприклад, для виробництва поршневих кілець.

Значний економічний ефект досягається при використанні дуплекс-процесу вагранка – електропіч. У цьому процесі розплавлення чавуну відбувається у вагранці, а доведення металу до необхідного хімічного складу, введення легуючих елементів та перегрів здійснюються в електропечі. Оскільки ці операції вимагають менших витрат електроенергії, ніж розплавлення, дуплекс-процес стає економічно вигідним. Для дуплекс-процесу найчастіше застосовуються кислі дугові електропечі. Метал в електропечі зазвичай знаходиться безперервно, заливаючись з вагранки невеликими порціями і такими ж порціями видаляючись для заливки форм. Завдяки цьому ванна печі може бути глибшою, що збільшує її ємність в порівнянні з плавкою сталі при однакових розмірах кожуха. Потужність пічного трансформатора знижується, а дросель відсутній. Це дозволяє значно зменшити вартість всієї установки порівняно з установками для плавки сталі.

1.3. Принцип роботи індукційної каналної печі

Індукційні каналні печі найчастіше використовуються для перегріву чавуну, який був виплавлений в інших печах, наприклад, у вагранках. Однак, ці печі можуть виконувати різні функції в ливарному виробництві, включаючи міксери, роздавальні та плавильні печі.

Принцип роботи каналної печі (рис. 1.1) ґрунтується на дії змінного магнітного потоку (Φ), який проходить через замкнутий контур, утворений рідким металом. Цей потік збуджує в контурі напругу (U) та струм (I).

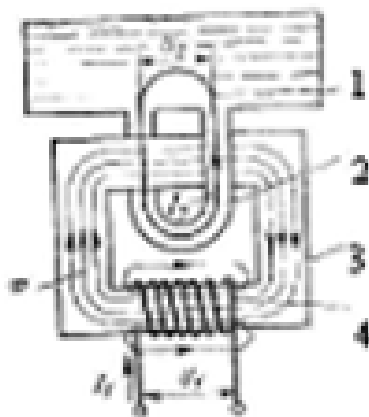


Рис. 1.1. Принцип дії каналної печі

1 – ванна печі; 2 – канал; 3 – магнітопровід; 4- первинна котушка

Контур рідкого металу оточений вогнетривким матеріалом, розміщеним у сталевому корпусі. Простір у вогнетривкому матеріалі, заповнений рідким металом, має форму вигнутого каналу. Робоча зона печі з'єднана з каналом двома отворами, що забезпечує замкнутий контур при заповненні печі рідким металом. Якщо металу в печі немає або його недостатньо для створення замкнутого контуру, робота печі стає неможливою. При подачі напруги на котушку, що знаходиться в каналі (вторинний виток), виникає вихрове електричне поле та відповідна напруга. Але через великий електричний опір каналу, струм не протікає. При розімкнутому вторинному контурі в котушці проходить невеликий

струм, необхідний для намагнічування магнітопроводу (струм холостого ходу).

Напруга (U), що виникає в каналі, у n разів менша за напругу (U), що подається на котушку (n – кількість витків котушки). Сила струму (I), що проходить через канал, залежить від повного опору каналу (Z), який визначається геометричною сумою активного (R) та індуктивного (X) опорів каналу.

Струм, що проходить через канал, створює навколо нього магнітне поле та магнітний потік. Напрямок магнітного потоку каналу протилежний напрямку магнітного потоку магнітопроводу. Канал розташовують навколо тієї частини магнітопроводу, де знаходиться котушка, для зменшення впливу магнітного потоку, що розмагнічує. Відстань від каналу до котушки повинна бути мінімальною, оскільки від неї залежить магнітний потік каналу.

Від магнітного потоку каналу залежить індуктивна потужність та ККД печі. Чим більший магнітний потік каналу, тим більша індуктивна потужність печі та нижчий ККД.

Під час роботи печі відбувається безперервний рух рідкого металу в каналі та в місці з'єднання каналу з ванною печі. Цей рух зумовлений перегрівом металу в каналі та впливом магнітного поля. Температура металу в каналі на $50-150^{\circ}\text{C}$ вища, ніж у ванні печі, що призводить до циркуляції металу. Електродинамічні сили, що виникають внаслідок впливу магнітного поля, прагнуть стиснути та виштовхнути метал з каналу. Чим більший струм у каналі, тим сильніша ця сила.

При зниженні рівня рідкого металу в печі нижче допустимого, метал викидається з каналу, і піч автоматично вимикається через розрив електричного контуру. Мінімальна кількість металу, необхідна для нормальної роботи печі, визначається вагою стовпа рідкого металу над каналом, яка повинна перевищувати електродинамічну силу, що виштовхує метал. Ця кількість металу називається "болотом".

Залежно від призначення, індукційні каналні печі поділяють на міксери, роздавальні та плавильні печі.

1.4. Будова індукційного каналного міксера

Міксери. Цей тип обладнання призначений для накопичення певної кількості рідкого металу та підтримки його при заданій температурі. У міксері відбувається усереднення температури та хімічного складу металу з різних плавок, тому його місткість зазвичай становить не менше двократної годинної продуктивності плавильних печей.

На рис. 1.2 зображена індукційна канална піч типу ІЧКМ, яка функціонує як міксер під час виробництва чавуну. Її місткість складає:

- Загальна: 42 т
- Корисна: 30 т
- Болото: 12 т

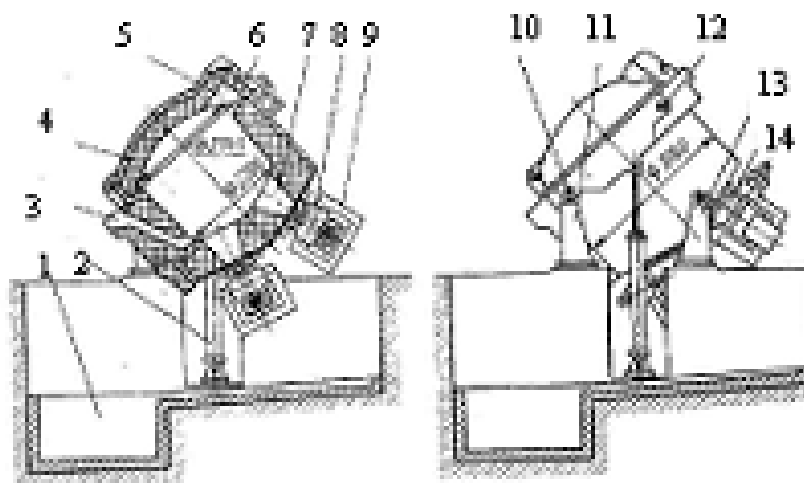


Рис.1.2. Індукційний каналний міксер

Піч має форму вертикально розташованого циліндра з зовнішнім діаметром 3160 мм і висотою приблизно 2 м. Внутрішній діаметр внизу становить 2200 мм, а вгорі — 2345 мм. Вона обладнана двома знімними індукторами потужністю 700 кВт кожен. Верхня частина печі закрита знімною футерованою кришкою.

Для зливу металу з печі передбачений сифонний жолоб, що запобігає потраплянню повітря в піч і зменшує окислення елементів. Інший сифонний жолоб, розташований на тій же стінці, використовується для заливання металу в піч. Обидва жолоби спроектовані так, щоб метал, що надходить, не міг одразу перейти в зливальний жолоб. У печі є ділянка з інтенсивною циркуляцією металу, що виникає під час роботи індуктора.

Для видалення шлаку з печі передбачене вікно, яке закривається дверкою. Нахил печі здійснюється за допомогою двох гідроциліндрів. Для нахилу використовуються стійки та отвори в корпусі печі. Щоб зливати метал, потрібно вставити вісь в отвір у корпусі печі та відповідний отвір у стійці. Якщо потрібно нахилити піч у бік шлакового вікна, сполучна вісь з'єднує стійку з корпусом печі. Для приєднання індукторів у днищі печі є спеціальні отвори, які розширені в бік робочого простору, що запобігає перегріву рідкого металу в цій частині. Кожен індуктор має замкнутий магнітопровід і охолоджувану повітрям котушку. При заміні індуктора піч повертають так, щоб площа приєднання кожуха розташовувалася вертикально. Індукційна піч встановлена в прямку, призначеному для збору рідкого металу та шлаку.

Вітчизняна промисловість виготовляє індукційні каналні печі для витримки та перегріву чавуну, такі як ІЧКМ-6/0,5, ІЧКМ-16/0,5, ІЧКМ-40/1,0. Їх продуктивність при перегріві рідкого чавуну на 100 °С становить 14, 12 та 24 т/год відповідно.

У порівнянні з тигельними індукційними печами, каналні печі мають кілька переваг:

- Низькі капіталовкладення: вартість каналної печі становить 50-70% вартості тигельної печі при однаковій плавильній потужності.
- Низька питома витрата енергії на розплавлення металу завдяки хорошій тепловій ізоляції ванни каналної печі та високому електричному ККД індуктора.

Каркас печі повинен бути міцним та жорстким, виготовляється з низьковуглецевої сталі (з вмістом вуглецю близько 0,1%) товщиною від 30 до 70 мм. У нижній частині каркаса передбачені вікна з фланцями для кріплення індукторів. По всій поверхні каркаса розташовані отвори діаметром 5 мм з кроком 300 мм, які служать для видалення водяної пари, що утворюється під час сушіння футеровки.

Футеровка впливає на термін служби печі до наступного ремонту. Для різних типів печей використовують різні вогнетривкі матеріали. Час сушіння та розігріву нової футеровки залежить від типу вогнетриву:

- Футеровка з обпаленої цегли: до 45°C/год.
- Футеровка з заливної маси (бетону): 10-20°C/год.
- Футеровка з набивної маси: 20-40°C/год.
- Футеровка із сухої маси: до 100°C/год.

Піч (див. рис. 1.2) футерується вогнетривами різних марок. Внутрішній шар футеровки, що контактує з рідким металом, піддається найбільшим механічним, хімічним та тепловим навантаженням. Тому він повинен мати високу механічну міцність, вогнетривкість, шлакостійкість та термостійкість. Цей шар виготовляється із заливної маси (бетону), що містить до 90% Al_2O_3 . Для наступного шару використовують вогнетрив, що містить 60% Al_2O_3 , далі — шамотний вогнетрив, а для теплоізоляційного шару — азбестові плити, які розміщуються по всій внутрішній поверхні каркаса.

Під час експлуатації печі відбувається руйнування футеровки, особливо в місцях контакту зі шлаком. Наявність у шлаку CaO та SiO_2 призводить до взаємодії зі футеровкою та утворення сполуки $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, що має температуру плавлення 1550°C. Чим більше шлаку та вища концентрація CaO та SiO_2 , тим інтенсивніше руйнується футеровка. При сприятливому шлаковому та температурному режимі, каналні печі для виробництва чавуну можуть працювати не менше 5 років до чергового ремонту.

У міру зносу футеровки проводиться її ремонт. Метал зливається до рівня "болота", і на пошкоджену ділянку за допомогою торкрет-машини наноситься відповідна вогнетривка маса. Після прогріву відремонтованого місця піч знову заповнюється металом.

Індуктор складається зі сталевого корпусу, футеровки, магнітопроводу, котушки та елементів охолодження корпусу і котушки. Корпус індуктора не повинен утворювати замкнутий електричний контур навколо магнітопроводу, щоб уникнути вихрових струмів. Тому корпус роблять рознімним, а окремі його частини ізолюють.

Для футеровки індуктора використовують вологі або сухі вогнетривкі маси. Вологі маси застосовують у вигляді заливних та набивних матеріалів. Заливні маси (бетони) використовують при складному профілі індуктора, коли неможливо ущільнити набивну масу по всьому об'єму. Заливною масою заповнюють весь індуктор і ущільнюють за допомогою вібраторів. Набивною масою заповнюють індуктор пошарово, ущільнюючи пневматичним трамбуванням. Сухі маси засипають в індуктор і ущільнюють електричними високочастотними вібраторами. Використання сухих мас дозволяє виключити процес сушіння індуктора перед його установкою на піч. При виробництві чавуну футеровку індуктора виготовляють з вогнетривких мас, що містять до 98% MgO.

Магнітопровід індуктора збирають з окремих пластин трансформаторної сталі товщиною 0,5 мм. Для зменшення втрат від вихрових струмів пластини ізолюють. Розміри поперечного перерізу стержня магнітопроводу залежать від потужності індуктора. Після складання магнітопровід стягують болтами або шпильками. Стяжні планки, шпильки та болти ізолюють від пластин магнітопроводу електрокартоном, щоб запобігти утворенню короткозамкнених витків.

Котушки індукторів виготовляють з мідного профільованого дроту. Перетин витка котушки визначається робочим струмом та способом

охолодження. При повітряному охолодженні допустима щільність струму становить до 4 А/мм^2 , а при водяному – до 20 А/мм^2 . Котушку фіксують на магнітопроводі за допомогою клинів з ізоляційного матеріалу. Простір між котушкою та магнітопроводом використовується для подачі повітря, що охолоджує котушку. Для захисту котушки від перегріву між нею та футеровкою зазвичай встановлюють водоохолоджуваний екран з немагнітної сталі або міді. Кількість шарів котушки (одно- або багатошарова) залежить від кількості витків.

Для запобігання перегріву елементів індуктора (корпусу, екрану, котушки) передбачено примусове охолодження. Корпус та екран котушки охолоджуються водою. Котушка може охолоджуватися як водою, так і повітрям.

На рис. 1.3 зображено знімний індуктор, підготовлений до встановлення на піч. В індукторі встановлено шаблон, форма якого відповідає формі каналу. Шаблон виготовлений з порожнистої сталеві заготовки. Його встановлюють в індуктор перед заповненням вогнетривкою масою. Кінці шаблону, що виступають з індуктора, з'єднані між собою сталевію перемичкою за допомогою зварювання. Шаблон служить для забезпечення точних розмірів каналу та для сушіння і розігріву футеровки індуктора перед заливкою рідким металом.

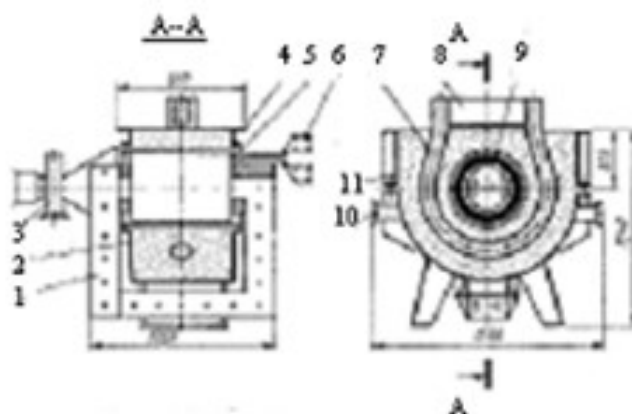


Рис. 1.3. Індуктор каналної печі:

- 1 – магнітопровід; 2 – футеровка; 3 – вентилятор; 4 – фланець; 5 – екран; 6 – вивід;
7 – шаблон; 8 – перемичка; 9 – котушка; 10 – штир; 11 – корпус

Індуктор має повітряне охолодження котушки та водяне охолодження корпусу та екрана. Для охолодження котушки на індукторі встановлено відцентровий вентилятор, всмоктувальна сторона якого з'єднана з простором, де розташована котушка.

Індуктор кріпиться до каркаса печі за допомогою болтів. Для полегшення зняття індуктора з печі верхню частину його футеровки, що контактує з футеровкою печі, попередньо покривають тонким шаром неспікливої маси. До корпусу індуктора приварені д

Під час роботи індуктора відбувається знос його футеровки, що може призвести до зупинки печі. Стан футеровки контролюють, вимірюючи температуру води, що охолоджує елементи індуктора. Якщо футеровка руйнується, рідкий метал наближається до водоохолоджуваних елементів, що спричиняє підвищення температури води. Це є сигналом для заміни індуктора до його виходу з ладу. Проте, такий метод контролю не завжди ефективний, особливо при прогарі футеровки в місцях, де немає охолодження.

Більш ефективним є контроль активного (R) та індуктивного (X) опорів індуктора. Активний опір каналу залежить від його площі поперечного перерізу та довжини. Збільшення R свідчить про заростання каналу, а зменшення R – про його розширення. Збільшення довжини каналу призводить до збільшення R , а зменшення довжини – до зменшення R .

Індуктивний опір (X) каналу залежить від його розташування відносно котушки індуктора. Чим ближче канал до котушки, тим менше X , і навпаки.

Оскільки початковій формі каналу відповідають певні значення R та X , зміна цих параметрів в процесі роботи вказує на зміни форми каналу.

На рис. 1.4 зображено початкову форму каналу та чотири типові випадки зміни його форми.

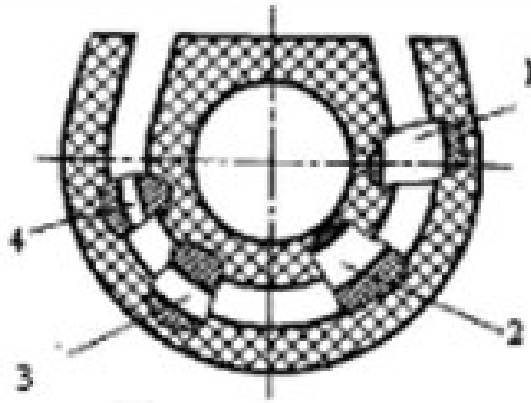


Рис. 1.4. Характерні випадки зміни форми каналу:

1 – розширення; 2 – зміщення з розширенням; 3 – зміщення; 4 - звуження

Механізм нахилу печі. Для нахилу печі використовують гідравлічний або електромеханічний привід. Гідравлічний привід включає насосну станцію та гідроциліндр, а електромеханічний – електродвигун, редуктор та ланцюгову передачу. Обидва механізми повинні забезпечувати плавний нахил печі як при зливі металу, так і при заміні індуктора.

Електрообладнання. Електрообладнання печі включає трансформатор, конденсаторну батарею для компенсації реактивної потужності, конденсаторну батарею та дросель для підключення однофазного індуктора до трифазної мережі, щити управління та кабелі живлення. Трансформатор печі підключається до мережі напругою 6-10 кВ. На вторинній стороні трансформатора передбачено до 10 ступенів напруги для регулювання потужності печі в заданих межах.

Система водяного охолодження. Система водяного охолодження печі забезпечує охолодження її елементів. Чиста, спеціально підготовлена вода циркулює по замкнутому контуру, що включає теплообмінник, який охолоджується звичайною промисловою водою. На зливних патрубках від елементів печі встановлені індикатори витрати води та термометри, які показують температуру води.

2. РОЗРАХУНОК ІНДУКЦІЙНОГО КАНАЛЬНОГО МІКСЕРА

2.1. Вихідні дані для розрахунку печі

Призначення. Індукційний каналний міксер призначений для накопичення і перегріву чавуну ваграночної плавки.

Режим роботи. Чавун з вагранки випускається порціями по 1,5 тони періодичністю 5 – 7 хв. Ванна міксера заповнюється металом протягом 2 год.

Продуктивність. З урахуванням часу підготовки міксера до плавки та часу випуску металу з міксера, а також його проектуємої ємності, годинна продуктивність міксера складає 12 т/год.

Температура перегріву. Робоча температура перегріву металу складає 1500 °С, максимальна – 1600 °С.

Властивості металу. Міксер служить для накопичення і перегріву ваграночного чавуну марки СЧ200 та ДСТУ 8833:2019.

Параметри живлячого струму. Напруга – 380 В, частота живильного струму – 50 Гц.

2.2. Розрахунок основних розмірів та повний електротехнічний розрахунок індукційного каналного міксера

Корисна теплова потужність, передана рідкому металу, при $W_{\text{теор}} = 0,23$ кВт·год/т·К

$$P_{\text{кор}} = W_{\text{теор}} \Delta t \Pi = 0,23 \cdot 100 \cdot 45 = 1035 \text{ кВт}$$

Активна потужність печі. Приймаємо $\eta_{\text{терм}} = 0,75$, тоді:

$$P = P_{\text{кор}} / \eta_{\text{терм}} = 1035 / 0,75 = 1380 \text{ кВт.}$$

Приймаємо $P = 1400$ кВт.

Активна потужність індуктора. Приймаємо, що на печі будуть два індуктори, тоді:

$$P_{\text{інд}} = P/N = 1400/2 = 700 \text{ кВт.}$$

Площа поперечного перерізу стержня магнітопроводу. Приймаємо $\psi = 7$, $B = 1,85$, $j_1 = 3$ А/мм², $\cos \varphi = 0,55$, тоді:

$$F_{\text{мг}} = 0,3 \sqrt{10^5 P_{\text{інд}} \psi / (B j_1 f \cos \varphi)} = 0,3 \sqrt{10^5 \cdot 700 \cdot 7 / (1,85 \cdot 3 \cdot 50 \cdot 0,55)} = 538 \text{ см}^2.$$

Діаметр стержня магнітопроводу. Приймаємо $k_d = 0,8$, тоді

$$d_{\text{мг}} = 11,3 \sqrt{F_{\text{мг}} / k_d} = 11,3 \sqrt{538 / 0,8} = 290 \text{ мм.}$$

Зовнішній діаметр котушки. Приймаємо $s_3 = 16$ мм, $s_{\text{кат}} = 50$ мм, тоді:

$$d_{\text{кот}} = d_{\text{мг}} + 2(s_3 + s_{\text{кат}}) = 290 + 2(16 + 50) = 422 \text{ мм.}$$

Внутрішній діаметр каналу. Приймаємо $s_1 = 95$ мм, $s_2 = 30$ мм, тоді мм.

Ширина каналу. Приймаємо ширину каналу 110 мм, тобто $b_k = 110$ мм.

Довжина каналу. Спочатку робимо ескіз каналу (рис. 2.1).

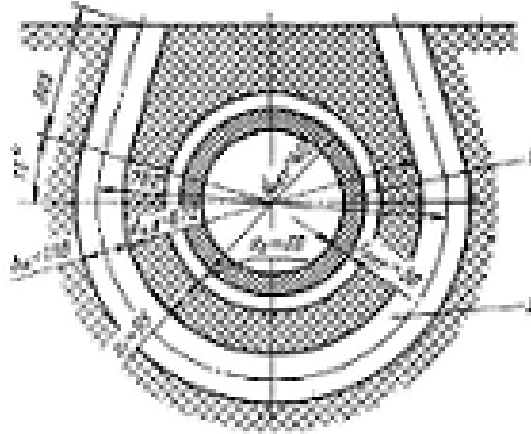


Рис.2.1. Ескіз каналу міксеру

Довжину каналу визначаємо по його середній лінії. Довжина криволінійної частини каналу 1440 мм, довжина прямолінійної ділянки 305 мм, отже:

$$l_k = 1440 + 2 \cdot 305 = 2050 \text{ мм.}$$

Площа поперечного перерізу каналу. Приймаємо $j_2 = 4,2 \cdot 10^6$, А/м², тоді:

$$F_k = 10^3 P_{\text{інд}} / (j_2^2 \rho_m l_k) = 10^3 \cdot 700 / [(4,2 \cdot 10^6)^2 \cdot 125 \cdot 10^{-8} \cdot 2,05] = 0,0155 \text{ м}^2.$$

Форма поперечного перерізу каналу. Прийнемо канал у формі овалу з розмірами, показаними на рис. 2.2. Тоді $b_k = 110$ мм, $h_k = 185$ мм, $F_k = 0,0153$ м².

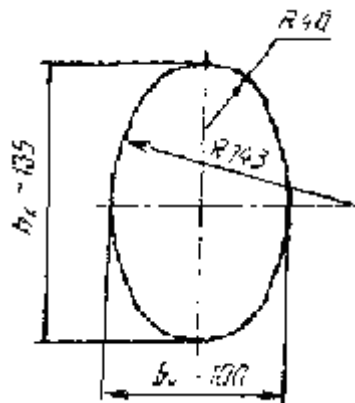


Рис. 2.2. Форма і розміри поперечного перерізу каналу

Активний опір каналу

$$R = \rho_m l_k / F_k = 125 \cdot 10^{-8} \cdot 2,05 / 0,0153 = 1,68 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

Індуктивність каналу. Відстань від осі каналу до котушки 180 мм. Глибина проникнення струму в котушку 10 мм, тому $R_1 = 190$ мм, $R_2 = 55$ мм. Приймаємо індукцію в стержні магнітопроводу 1,85 Тл, тоді $l_p = 1,55$.

$$L_{\text{зовн}} = 2 \cdot 10^{-7} l_p l_k \ln(R_1/R_2) = 2 \cdot 10^{-7} \cdot 1,55 \cdot 2,05 \ln(0,19/0,055) = 7,88 \cdot 10^{-7} \text{ Гн;}$$

$$L_B = 10^{-7} l_k / 2 = 10^{-7} \cdot 2,05 / 2 = 1,02 \cdot 10^{-7} \text{ Гн;}$$

$$L = L_{\text{зовн}} + L_B = 7,88 \cdot 10^{-7} + 1,02 \cdot 10^{-7} = 8,9 \cdot 10^{-7} \text{ Гн.}$$

Індуктивний опір каналу:

$$X_L = 2\pi fL = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 8,9 \cdot 10^{-7} = 2,8 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

Повний опір каналу:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{(1,68 \cdot 10^{-4})^2 + (2,8 \cdot 10^{-4})^2} = 3,27 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

Коефіцієнт потужності каналу:

$$\cos \varphi = R/Z = 1,68 \cdot 10^{-4} / 3,27 \cdot 10^{-4} = 0,5.$$

Активна напруга в каналі:

$$U_{\text{к.а.}} = \sqrt{P_{\text{інд}} R} = \sqrt{700000 \cdot 1,68 \cdot 10^{-4}} = 10,85 \text{ В.}$$

Повна напруга в каналі:

$$U_k = U_{\text{к.а.}} / \cos \varphi = 10,85 / 0,5 = 21,7 \text{ В.}$$

Повна потужність індуктора:

$$S_{\text{інд}} = P_{\text{інд}} / \cos \varphi = 700 / 0,5 = 1400 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Реактивна (індуктивна) потужність, що виділяється в індукторі:

$$Q_{\text{інд}} = \sqrt{S_{\text{інд}}^2 - P_{\text{інд}}^2} = \sqrt{1400^2 - 700^2} = 1212 \text{ квар}.$$

Повна потужність печі:

$$S = NS_{\text{інд}} = 2 \cdot 1400 = 2800 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Реактивна потужність печі:

$$Q = NQ_{\text{інд}} = 2 \cdot 1212 = 2424 \text{ квар}.$$

Число витків котушки індуктора. Вибираємо трансформатор з наступною характеристикою. Первинна напруга 10 000 В, вторинна напруга (11 ступенів): 245, 341, 416, 490, 555, 596, 640, 682, 725, 768, 810 В. Приймаємо, що потужність індуктора 700 кВт буде при подачі на котушку напруги 810 В, тоді:

$$n = U_1 / U_k = 810 / 21,7 = 37 \text{ витків}.$$

Приймаємо 36 витків. Для зменшення довжини котушки приймаємо навівку в два шари по 18 витків у кожному шарі.

Сила струму в котушці:

$$I_1 = S_{\text{інд}} / U_1 = 10^3 \cdot 1400 / 810 = 1728 \text{ А}.$$

Площа поперечного перерізу витка котушки. Приймаємо $j_1 = 3 \text{ А/мм}^2$,

$$F_{\text{вит}} = I_1 / j_1 = 1728 / 3 = 576 \text{ мм}^2.$$

Ширина $b_{\text{вит}}$ і висота витка $h_{\text{вит}}$ котушки залежить від виду матеріалу, з якого виготовляють індуктор. Для індуктора індукційної каналної печі найкраще підходять матеріали з високою електро- та теплопровідністю, здатні витримувати високі температури. Мідь – один з найпопулярніших варіантів завдяки своїм чудовим властивостям. Її висока електропровідність мінімізує втрати енергії, а висока теплопровідність полегшує охолодження, часто використовуючись у водоохолоджувальних трубках котушок. Алюміній, хоча і легший та дешевше, має нижчу електропровідність, тому підходить для менш вимогливих застосувань. Нержавіюча сталь пропонує високу корозійну стійкість та міцність, що важливо в агресивних середовищах. Сплави дозволяють поєднати властивості різних металів для оптимальної продуктивності. Кераміка, зі своєю високою жаростійкістю та низькою теплопровідністю, служить як ізолятор або футеровка. Оптимальний вибір матеріалу залежить від робочої температури, оброблюваного металу та потреб в охолодженні.

Для виготовлення котушки вибираємо мідний дріт прямокутного перетину 3×8 мм. Число дротів у витку $576 : (3 \times 8) = 24$. З урахуванням ізоляції приймаємо:

$$b_{\text{вит}} = 34 \text{ мм}, h_{\text{вит}} = 20 \text{ мм (рис. 2.2)}.$$

Довжина котушки:

$$l_{\text{кот}} = b_{\text{вит}} n / k_{\text{сл}} = 34 \cdot 36 / 2 = 612 \text{ мм}.$$

Ємність конденсаторної батареї індуктора (для компенсації $\cos\varphi$):

$$C = 10^9 Q_{\text{інд}} / (2\pi f U_1^2) = 10^9 \cdot 1212 / (2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 810^2) = 5880 \text{ мкФ}.$$

2.3. Електроустаткування індукційного каналного міксеру

Каркас індукційного каналного міксеру є ключовим компонентом, що забезпечує стабільність та ефективність роботи. Зазвичай його виготовляють з нержавіючої сталі або алюмінію, що забезпечує корозійну стійкість та легкість. Форма каркаса, часто прямокутна або циліндрична, має бути жорсткою та стабільною, щоб витримувати механічні навантаження. Він забезпечує надійну підтримку для індукційних котушок, моторів та інших компонентів, з надійним кріпленням для запобігання вібраціям. У конструкції можуть бути передбачені канали для охолоджуючої рідини, що підтримує оптимальну температуру. Каркас також включає місця для електронних блоків управління та дисплеїв, що дозволяють контролювати процеси. Конструкція повинна відповідати стандартам безпеки, включаючи захисні елементи.

Електроустаткування індукційного каналного міксеру для накопичення і перегріву ваграночного чавуну є важливим елементом, що забезпечує ефективність і стабільність процесу. Ось основні компоненти та їх функції:

1. Індукційні котушки:
 - Основний елемент, що генерує електромагнітне поле, яке нагріває чавун. Котушки виготовляються з високоякісних провідників, таких як мідь, для забезпечення максимальної ефективності.
2. Система живлення:
 - Включає трансформатори та генератори, які забезпечують струм необхідними параметрами живлення для стабільної роботи індукційних котушок. Важливо, щоб система живлення була здатна забезпечити стабільну напругу та струм.
3. Контролери температури:
 - Ці пристрої забезпечують моніторинг і регулювання температури чавуну в процесі нагріву. Вони можуть бути автоматизованими, що дозволяє підтримувати оптимальні умови для перегріву.
4. Системи охолодження:

- Охолоджуючі системи, зазвичай на основі води, використовуються для запобігання перегріву електроустаткування. Вони забезпечують ефективне охолодження котушок і інших компонентів.
5. Електронні блоки управління:
- Включають в себе програмовані логічні контролери (PLC), які відповідають за автоматизацію процесів, управління живленням та моніторинг стану обладнання.
6. Датчики:
- Використовуються для вимірювання температури, тиску та інших параметрів, що дозволяє забезпечити безпеку та ефективність роботи міксера.
7. Системи безпеки:
- Включають захисні елементи, такі як автоматичні вимикачі та сигналізації, які реагують на аномальні умови, запобігаючи аваріям.

Ці компоненти працюють разом, щоб забезпечити ефективний процес накопичення і перегріву ваграночного чавуну, що є критично важливим для подальшої обробки металу.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти розв'язане важливе технічне завдання проектування індукційного каналного міксера для накопичення та перегріву чавуну вагранкової плавки ємністю 30 т.

При розв'язанні даного завдання вирішено наступні задачі:

- виконано огляд печей для плавки чавуну;
- описано будову і принцип роботи індукційної каналної печі;
- виконано розрахунок основних розмірів та повний електротехнічний розрахунок індукційного каналного міксера;

В першому розділі описано печі для плавки чавуну, будову і принцип роботи індукційного каналного міксера.

В другому розділі розраховано основні розміри індукційного каналного міксера для накопичення і перегріву ваграночного чавуну ємністю 30 т. Виконано повний електротехнічний розрахунок плавильного агрегату.

Розроблені креслення Загального виду міксера та Індукційної одиниці.

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