

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 індукційного каналного міксера для накопичення та перегріву чавуну вагранкової плавки ємністю 10 т»

Виконав здобувач вищої освіти 4-го

курсу групи ПМ-22-1

ОПП «Компютерний інжиніринг

технологій, робототехніка і 3D друк»

спеціальності 131 «Прикладна

механіка»

_____ Сергій КРАВЧЕНКО

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

« ____ » _____ 2026 р.

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

_____ Кравченко Сергій Ігорович

1. Тема роботи: «Проектування індукційного каналного міксера для накопичення та перегріву чавуну вагранкової плавки ємністю 10 т»
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 індукційного каналного міксера для накопичення та перегріву чавуну вагранкової плавки ємністю 10 т. Описати будову і принцип роботи індукційного каналного міксера. Розрахувати основні розміри плавильного агрегату 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	10.04.2026	
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

_____ Кравченко С.І.

Анотація

КРАВЧЕНКО Сергій Ігорович. Проектування індукційного каналного міксеру для накопичення та перегріву чавуну вагранкової плавки ємністю 10 т. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти: ЦНТУ, 2026. 35 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 10 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

KRAVCHENKO Serhii. Design of an induction channel mixer for accumulation and overheating cupola cast iron with a capacity of 10 t. Qualification work for the first (bachelor's) level of higher education: CUNTU, 2026. 35 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 10 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	12
1.3. Будова та принцип роботи індукційної каналної печі	15
1.3.1. Будова індукційної каналної печі	16
1.3.2. Принцип роботи індукційної каналної печі	17
1.3.3. Робота печі в комплексі з вагранкою	18
1.3.4. Електрообладнання печі	18
1.3.5. Система охолодження	19
1.4. Переваги індукційних каналних печей	19
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	31
ЛІТЕРАТУРА	32
ДОДАТКИ	35

ВСТУП

Актуальність роботи. Одним із перспективних напрямків розвитку ливарного виробництва є застосування індукційних канальних міксерів для накопичення, перегріву та підтримання температури рідкого чавуну. Такі агрегати забезпечують безперервне постачання металу до заливальних дільниць і сприяють стабілізації технологічного процесу.

Основною перевагою канальних міксерів є висока енергоефективність. Витрати електроенергії на підтримання температури та перегрів металу значно нижчі, ніж у багатьох плавильних печах. Крім того, електромагнітне перемішування забезпечує вирівнювання температури та хімічного складу чавуну по всьому об'єму розплаву.

Особливо ефективним є використання таких установок на підприємствах із серійним і масовим виробництвом, де вони виконують функцію проміжного накопичувача між плавильними агрегатами та формувальними лініями. Це дозволяє підвищити ритмічність роботи та зменшити втрати тепла.

Подальший розвиток канальних міксерів пов'язаний із впровадженням автоматизованих систем керування, які забезпечують точний контроль температури та режимів роботи. Також важливою перевагою є покращення екологічних показників виробництва завдяки відсутності процесів спалювання палива.

Отже, індукційні канальні міксери є перспективним обладнанням для сучасних ливарних цехів, оскільки забезпечують економічне підтримання рідкого чавуну, підвищують якість виливків і сприяють автоматизації виробництва.

Мета і задачі дослідження. Проектування індукційного канального міксера для накопичення та перегріву ваграночного чавуну ємністю 10 т.

Поставлена мета досягнута шляхом вирішення таких задач:

- Огляд печей для плавки чавуну;
- Опис будови і принципу роботи індукційної канальної 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 ваграночного чавуну ємністю 10 т.

Особистий внесок – виконано повний електротехнічний розрахунок міксера.

1. БУДОВА І ПРИНЦИП РОБОТИ ІНДУКЦІЙНОГО КАНАЛЬНОГО МІКСЕРА

1.1. Паливні печі для плавки чавуну

Паливні печі є одним із найстаріших і водночас найпоширеніших видів плавильного обладнання, що використовується для виплавлення чавуну в ливарному виробництві. Джерелом теплової енергії в таких агрегатах служить спалювання твердого, рідкого або газоподібного палива. Незважаючи на широке впровадження електричних плавильних установок, паливні печі продовжують відігравати важливу роль у виробництві фасонного чавунного литва завдяки високій продуктивності, відносно невисоким експлуатаційним витратам і можливості безперервного отримання значних обсягів рідкого металу.

Найбільш поширеною паливною піччю для плавки чавуну є вагранка. Вона являє собою вертикальну шахтну піч безперервної дії, у якій плавлення шихтових матеріалів відбувається за рахунок теплоти, що виділяється під час згоряння коксу. Вагранка складається зі сталевого кожуха, футерованого вогнетривкими матеріалами, шахти, завантажувального отвору, фурм для подачі дуття, горна, а також пристроїв для випуску металу і шлаку. Висота печі залежить від її продуктивності та може досягати 10–15 метрів, а внутрішній діаметр змінюється від кількох сотень міліметрів до кількох метрів.

Перед початком плавки в нижній частині вагранки формують коксову подушку, яку розпалюють і прогрівають до робочої температури. Після цього через фурми подається повітря, а через завантажувальний отвір у шахту почергово засипають металеву шихту, кокс і флюси. Під час руху шихти вниз вона нагрівається гарячими газами, плавиться та накопичується в горні у вигляді рідкого металу. У зоні горіння коксу температура може досягати 1600–1800 °С, що забезпечує отримання

чавуну з температурою випуску 1350–1500 °С.

У процесі плавки відбуваються складні теплові та металургійні процеси. Вуглець коксу окиснюється киснем дуття з утворенням діоксиду вуглецю і виділенням значної кількості теплоти. Частина утвореного діоксиду вуглецю взаємодіє з розпеченим коксом, утворюючи оксид вуглецю. Одночасно відбувається плавлення металевої шихти, вигорання окремих елементів, формування шлаку та насичення металу вуглецем. У результаті отримують рідкий чавун, придатний для виготовлення різноманітних фасонних виливків.

З метою підвищення економічності та продуктивності широкого поширення набули вагранки гарячого дуття. Їх особливістю є використання рекуператорів або повітрянагрівачів, у яких теплота відхідних газів використовується для нагрівання повітря перед його подачею в піч. Температура дуття може досягати 300–600 °С, що дозволяє значно знизити витрати коксу, підвищити температуру плавлення та покращити техніко-економічні показники процесу. Крім того, використання гарячого дуття сприяє більш повному згорянню палива та зменшенню кількості шкідливих викидів.

Поряд із вагранками в ливарному виробництві іноді використовуються відбивні печі. У цих агрегатах метал не контактує безпосередньо з паливом. Теплота до шихти передається випромінюванням від нагрітого склепіння та гарячих продуктів згорання, які проходять над поверхнею металу. Як паливо застосовують природний газ, мазут або дизельне паливо. Робочий простір печі має форму ванни, в якій розміщується метал. Температура в зоні плавлення може перевищувати 1500 °С. Основною перевагою відбивних печей є відсутність контакту металу з коксом, що дозволяє отримувати чавун із меншим вмістом сірки та більш стабільним хімічним складом. Водночас такі печі характеризуються нижчим коефіцієнтом корисної дії, значними тепловими втратами та меншою продуктивністю порівняно з вагранками.

У деяких випадках застосовуються шахтні печі, що працюють на природному газі або рідкому паливі. За конструкцією вони подібні до вагранок, однак нагрівання металу здійснюється за допомогою пальників. Відсутність коксу дає можливість знизити вміст сірки в чавуні та покращити екологічні показники виробництва. Проте через високу вартість палива та складність досягнення необхідних температур такі агрегати використовуються обмежено.

Ефективна робота паливних печей неможлива без допоміжного обладнання. До його складу входять системи подачі палива, дуттьові вентилятори, рекуператори, димососи, механізми завантаження шихти та установки очищення відхідних газів. Особливе значення мають газоочисні системи, оскільки під час плавки утворюється значна кількість пилу, оксидів вуглецю та інших шкідливих речовин. Для очищення газів застосовують циклони, рукавні фільтри, скрубери та інші пилогазоочисні установки.

На сучасних ливарних підприємствах паливні печі часто працюють у поєднанні з індукційними каналними міксерами. У такій технологічній схемі вагранка забезпечує високопродуктивне та економічне розплавлення шихти, а міксер виконує функції накопичення, перегріву та вирівнювання температури й хімічного складу металу. Завдяки цьому підвищується якість чавуну та забезпечується стабільність ливарного процесу.

Таким чином, паливні печі залишаються важливою складовою сучасного чавуноливарного виробництва. Найбільше значення серед них мають вагранки, які поєднують високу продуктивність, відносно низьку собівартість виплавки та можливість безперервного забезпечення ливарних цехів рідким металом. Подальший розвиток цих агрегатів пов'язаний із підвищенням енергоефективності, автоматизацією процесів керування та вдосконаленням систем очищення відхідних газів.

1.2. Електричні печі для плавки чавуну

Електричні печі займають важливе місце в сучасному ливарному виробництві чавуну. Їх застосування дозволяє отримувати метал високої якості з точно заданим хімічним складом і температурою, значно зменшити втрати металу на окиснення та покращити екологічні показники виробництва. На відміну від паливних печей, у яких теплота утворюється внаслідок спалювання палива, в електричних печах нагрівання та плавлення металу здійснюється за рахунок електричної енергії. Завдяки високому коефіцієнту корисної дії, можливості автоматичного регулювання режимів роботи та відсутності продуктів згоряння електричні плавильні агрегати набули широкого поширення у виробництві відповідального та високоміцного чавунного литва.

Найбільшого поширення для плавки чавуну набули індукційні тигельні печі, індукційні каналні печі та дугові електропечі. Кожен із цих типів має свої конструктивні особливості, технічні характеристики та сферу застосування.

Найпоширенішими в ливарних цехах є індукційні тигельні печі. Принцип їх роботи базується на явищі електромагнітної індукції. Основними елементами такої печі є сталевий корпус, індуктор, водоохолоджувана мідна котушка, вогнетривка футерівка та тигель, у якому розміщується шихта. При проходженні змінного струму через індуктор створюється змінне магнітне поле, яке індукує в металевій шихті вихрові струми. Внаслідок електричного опору металу ці струми перетворюються на теплову енергію, забезпечуючи нагрівання та плавлення шихти.

Особливістю індукційних тигельних печей є інтенсивне електромагнітне перемішування металу. Під дією електромагнітних сил розплав постійно циркулює, що сприяє вирівнюванню температури та хімічного складу по всьому об'єму ванни. Завдяки цьому досягається

висока однорідність чавуну та поліпшуються його технологічні властивості. Температура металу в таких печах може перевищувати 1500–1600 °С, що дозволяє здійснювати необхідний перегрів перед заливанням форм.

Індукційні тигельні печі характеризуються високим коефіцієнтом корисної дії, який досягає 70–85 %, а в окремих сучасних установках може бути ще вищим. Вони забезпечують мінімальне вигорання кремнію, марганцю та інших елементів, що особливо важливо під час виробництва високоміцного та легованого чавуну. Крім того, такі печі дозволяють швидко змінювати марки сплавів і використовувати різноманітні шихтові матеріали, включаючи сталевий та чавунний брухт.

Другим важливим видом електричних плавильних агрегатів є індукційні каналні печі. Вони працюють за принципом трансформатора, у якому первинною обмоткою є індуктор, а вторинною — замкнений контур рідкого металу, що знаходиться у спеціальному каналі. Електричний струм, індукований у металі, викликає його нагрівання та циркуляцію між каналом і ванною печі.

На відміну від тигельних печей, каналні печі рідко використовуються для розплавлення твердої шихти. Найчастіше вони застосовуються як міксери для накопичення, підігріву та перегріву рідкого чавуну, який надходить із вагранок або інших плавильних агрегатів. Завдяки високому коефіцієнту корисної дії та невеликим питомим витратам електроенергії каналні печі є ефективним засобом підтримання температури металу протягом тривалого часу. Їх місткість може досягати десятків і навіть сотень тонн рідкого чавуну.

Важливою перевагою каналних печей є можливість безперервного перемішування металу. Електромагнітні сили створюють постійну циркуляцію розплаву, що забезпечує однакову температуру та склад металу в усіх зонах ванни. Це особливо важливо для великих ливарних підприємств із безперервним виробничим циклом.

Для плавки чавуну також застосовуються дугові електропечі. У цих агрегатах теплота утворюється внаслідок горіння електричної дуги між графітовими електродами та металевою шихтою. Температура електричної дуги може перевищувати 3000 °С, що забезпечує надзвичайно інтенсивне нагрівання і плавлення металу.

Дугова піч складається з металевого кожуха, вогнетривкої футерівки, знімного склепіння, графітових електродів, механізмів нахилу та систем електроживлення. Плавка в дугових печах характеризується високою швидкістю, можливістю використання великої кількості металобрухту та широкими можливостями коригування хімічного складу металу. У процесі плавки можуть виконуватися операції рафінування, десульфурації та легування розплаву.

Проте для виробництва звичайного ливарного чавуну дугові печі використовуються рідше, ніж індукційні. Це пов'язано з вищими питомими витратами електроенергії, складнішим електрообладнанням та більшими капітальними витратами. Найчастіше дугові печі застосовують для виробництва спеціальних чавунів і сталей або в тих випадках, коли необхідне інтенсивне металургійне оброблення розплаву.

До складу електрообладнання електричних печей входять силові трансформатори, системи компенсації реактивної потужності, струмопідводи, комутаційна апаратура, пристрої релейного захисту та автоматизовані системи керування. Для індукційних печей особливо важливими є конденсаторні батареї, які підвищують коефіцієнт потужності та зменшують навантаження на електричну мережу. Усі сучасні печі оснащуються системами контролю температури, потужності та витрат електроенергії, що дозволяє підтримувати стабільні режими плавки.

Невід'ємною частиною електричних плавильних агрегатів є система водяного охолодження. Вона забезпечує охолодження індукторів, електродотримачів, струмопідводів, трансформаторів та інших елементів, що піддаються значним тепловим навантаженням. Робота печі постійно

контролюється автоматикою, яка відключає живлення при порушенні режимів охолодження або виникненні аварійних ситуацій.

Порівняно з вагранками електричні печі забезпечують значно вищу якість металу, точніше регулювання його складу та температури, менші втрати легуючих елементів і кращі санітарно-гігієнічні умови праці. Вони практично не утворюють продуктів згоряння палива та характеризуються нижчим рівнем шкідливих викидів. Разом із тим їх експлуатація пов'язана з підвищеним споживанням електроенергії та необхідністю використання потужного електротехнічного обладнання.

У сучасному ливарному виробництві найпоширенішою є комбінована схема, за якої вагранка використовується для економічного розплавлення шихти, а індукційний каналний міксер або тигельна індукційна піч забезпечують перегрів, накопичення та доведення чавуну до необхідного хімічного складу і температури. Такий підхід дозволяє поєднати високу продуктивність паливних печей із перевагами електротермічних установок та отримувати метал стабільно високої якості для виробництва сучасних чавунних виливків.

1.3. Будова та принцип роботи індукційної каналної печі

Індукційна канална піч є одним із найефективніших електротермічних агрегатів, що використовуються в чавуноливарному виробництві для накопичення, зберігання, перегріву та гомогенізації ваграночного чавуну. Такі печі зазвичай працюють у комплексі з вагранками, забезпечуючи стабільну температуру та хімічний склад металу перед його подачею на ливарні дільниці. У цьому випадку піч часто називають індукційним каналним міксером.

Принцип роботи каналної печі ґрунтується на явищі електромагнітної індукції. Електрична енергія перетворюється безпосередньо в теплову всередині рідкого металу, що забезпечує високий

коефіцієнт корисної дії та рівномірне нагрівання всього об'єму розплаву.

1.3.1. Будова індукційної каналної печі

Основними конструктивними елементами печі є металева ванна, футерівка, індуктор, індукційний канал, система електроживлення, система охолодження та механізми керування.

Корпус печі являє собою міцну сталеву зварну конструкцію, здатну витримувати значні механічні та теплові навантаження. У середині корпусу розміщується ванна для рідкого металу, футерована вогнетривкими матеріалами. Футерівка захищає металевий корпус від дії високих температур і хімічного впливу розплаву. Для футерування зазвичай використовують кварцитові, шамотні або високоглиноземисті вогнетриви.

Місткість ванни може становити від кількох тонн до 100 т і більше. На великих машинобудівних підприємствах використовуються міксери місткістю 30–80 т рідкого чавуну.

Найважливішим вузлом печі є індуктор. Він розташовується під ванною або збоку від неї та складається з магнітопроводу і мідної водоохолоджуваної котушки. Індуктор охоплює спеціальний канал, заповнений рідким металом.

Індукційний канал. Особливістю каналної печі є наявність замкненого каналу, який з'єднується з основною ванною металу. Канал має форму петлі або літери «U» та футерується вогнетривким матеріалом.

Через канал постійно циркулює рідкий чавун. Саме він виконує роль вторинної обмотки своєрідного трансформатора.

У спрощеному вигляді конструкцію печі можна подати так:

- ванна з рідким металом;
- індукційний канал;
- магнітопровід;

- індуктор;
- трансформатор;
- система охолодження;
- система автоматичного керування.

На відміну від тигельних індукційних печей, де нагрівається весь об'єм металу, в каналній печі теплота спочатку виділяється в каналі, а потім передається всій масі металу шляхом природної та електромагнітної циркуляції.

1.3.2. Принцип роботи індукційної каналної печі

Перед початком роботи ванну та канал заповнюють рідким чавуном. Це необхідно тому, що канална піч не може запускатися з повністю твердою шихтою. Для її нормальної роботи в каналі завжди повинен бути рідкий метал.

Після подачі напруги на індуктор по його обмотці починає проходити змінний струм промислової частоти, зазвичай 50 Гц. Навколо котушки створюється змінне магнітне поле, яке пронизує метал у каналі.

У каналі індуються потужні електричні струми великої сили. Оскільки рідкий чавун має певний електричний опір, енергія цих струмів перетворюється на теплоту. Метал у каналі інтенсивно нагрівається і перегрівається до температури, вищої за температуру металу у ванні.

Одночасно виникають електромагнітні сили, які створюють циркуляцію розплаву. Нагрітий метал із каналу піднімається у ванну, а більш холодний метал із ванни надходить у канал. Внаслідок цього відбувається безперервне перемішування всього об'єму чавуну.

Такий рух металу забезпечує:

- вирівнювання температури по всій ванні;
- усунення локальних перегрівів;

- вирівнювання хімічного складу;
- рівномірний розподіл легуючих добавок;
- спливання неметалевих включень у шлак.

Завдяки постійній циркуляції металу каналні печі фактично працюють як електромагнітні міксери.

1.3.3. Робота печі в комплексі з вагранкою

На сучасних ливарних заводах вагранка забезпечує безперервне розплавлення шихтових матеріалів. Отриманий чавун надходить у каналний міксер, де накопичується протягом усієї зміни.

Температура металу після вагранки часто коливається в межах 1350–1450 °С залежно від режиму плавки. У каналному міксері температура стабілізується і підтримується на рівні 1450–1550 °С.

Одночасно відбувається усереднення хімічного складу металу. Це особливо важливо при виготовленні відповідальних виливків із сірого, високоміцного або легованого чавуну, де навіть незначні коливання складу можуть впливати на механічні властивості виробів.

Канальний міксер дозволяє створювати запас рідкого металу на кілька годин роботи формувальних ліній, що забезпечує стабільність виробничого процесу навіть при тимчасових перебоях у роботі вагранки.

1.3.4. Електрообладнання печі

До складу електрообладнання входять пічний трансформатор, конденсаторна батарея, струмопідводи, комутаційна апаратура та система автоматичного керування.

Пічний трансформатор знижує напругу мережі до необхідного рівня та забезпечує великі струми для живлення індуктора. Потужність

трансформаторів може становити від кількох сотень кіловат до декількох мегават.

Для компенсації реактивної потужності використовуються батареї конденсаторів. Вони підвищують коефіцієнт потужності установки до 0,95–0,98 та зменшують навантаження на електромережу підприємства.

Система автоматичного керування контролює температуру металу, електричну потужність, параметри охолодження та стан футерівки. Сучасні установки оснащуються програмованими контролерами та комп'ютерними системами моніторингу.

1.3.5. Система охолодження

Оскільки через обмотки індуктора проходять великі струми, вони інтенсивно нагріваються. Для забезпечення надійної роботи використовується замкнена система водяного охолодження.

Охолодженню підлягають:

- індуктор;
- струмопідводи;
- пічний трансформатор;
- окремі елементи комутаційної апаратури.

Система складається з насосів, теплообмінників, трубопроводів і контрольно-вимірювальних приладів. При зниженні витрати води або перегріві обладнання автоматика негайно вимикає піч.

1.4. Переваги індукційних каналних печей

Індукційні каналні печі характеризуються високим коефіцієнтом корисної дії, який досягає 75–90 %. Вони забезпечують мінімальні втрати теплоти та невеликі питомі витрати електроенергії на перегрів і

підтримання температури металу. Постійна електромагнітна циркуляція сприяє однорідності складу чавуну та підвищенню якості литва.

Важливою перевагою є можливість тривалого зберігання десятків тонн рідкого металу без значного зниження температури. Крім того, відсутність контакту металу з паливом зменшує його забруднення сіркою та продуктами згоряння.

Завдяки високій енергоефективності, великій місткості та здатності забезпечувати стабільні параметри розплаву індукційні каналні печі сьогодні є основним обладнанням для накопичення і перегріву ваграночного чавуну на великих ливарних підприємствах. Вони успішно поєднують економічність ваграночної плавки з перевагами електротермічної обробки металу, забезпечуючи отримання чавуну високої якості для виготовлення відповідальних виливків.

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 900 кг періодичністю 7 – 10 хв. Ванна міксера заповнюється металом протягом 1,85 год.

Продуктивність. З урахуванням часу підготовки міксера до плавки та часу випуску металу з міксера, а також його проектуємої ємності, годинна продуктивність міксера складає 5 т/год.

Температура перегріву. Робоча температура перегріву металу складає 1500 °С, максимальна – 1600 °С. Відповідно, $\Delta t = 100$ °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 $W_{\text{теор}} = 0,3$ кВт·год/т·К

$$P_{\text{кор}} = W_{\text{теор}} \Delta t P = 0,3 \cdot 100 \cdot 5 = 150 \text{ кВт}$$

де $W_{\text{теор}}$ – теоретична питома витрата енергії для перегріву металу на 1 °С, кВт·год/т·К (для чавуну 0,3 кВт·год/т·К); Δt – температура перегріву металу в печі, °С; P – продуктивність печі, т/год.

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

$$P = P_{\text{кор}} / \eta_{\text{терм}} = 150 / 0,75 = 200 \text{ кВт.}$$

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

$$P_{\text{інд}} = P / N = 200 / 2 = 100 \text{ кВт.}$$

Площа поперечного перерізу стержня магнітопроводу. Приймаємо $\psi = 7$, $B = 1,85$, $j_1 = 3 \text{ А/мм}^2$, $\cos \phi = 0,55$, тоді:

$$F_{\text{мг}} = 0,3 \sqrt{10^5 P_{\text{інд}} \psi / (B j_1 f \cos \phi)} = 0,3 \sqrt{10^5 \cdot 100 \cdot 7 / (1,85 \cdot 3 \cdot 50 \cdot 0,55)} = 203 \text{ см}^2,$$

де ψ – коефіцієнт, що враховує відношення маси сталі магнітопроводу до маси міді котушки індуктора; при повітряному охолодженні котушки $\psi = 5 \div 25$, при водяному $\psi = 0,9 \div 1,3$; B – магнітна індукція в стержні магнітопроводу, Тл; j_1 – припустима густина електричного струму в котушці; при повітряному охолодженні $j_1 \leq 4 \text{ А/мм}^2$, при водяному $j_1 \leq 20 \text{ А/мм}^2$; $\cos \phi$ – коефіцієнт потужності індуктора (для чавуну $0,5 - 0,7$, для алюмінію $0,35 - 0,5$).

Діаметр стержня магнітопроводу. Приймаємо коефіцієнт заповнення кола стержнем $k_d = 0,8$, тоді:

$$d_{\text{мг}} = 11,3 \sqrt{F_{\text{мг}} / k_d} = 11,3 \sqrt{203 / 0,8} = 180 \text{ мм.}$$

Зовнішній діаметр котушки. Приймаємо: товщина зазору між стержнем магнітопроводу і котушкою $s_3 = 10 \text{ мм}$, товщина котушки $s_{\text{кот}} = 30 \text{ мм}$, тоді:

$$d_{\text{кот}} = d_{\text{мг}} + 2(s_3 + s_{\text{кот}}) = 180 + 2(10 + 30) = 260 \text{ мм.}$$

Внутрішній діаметр каналу. Приймаємо: товщина футеровки між каналом і котушкою $s_1 = 80$ мм, товщина зазору між котушкою і футеровкою $s_2 = 20$ мм, тоді:

$$d_{к.в} = d_{кот} + 2(s_1 + s_2) = 260 + 2 \cdot (80 + 20) = 460 \text{ мм.}$$

Ширина каналу. Приймаємо ширину каналу 100 мм, тобто $b_k = 100$ мм.

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

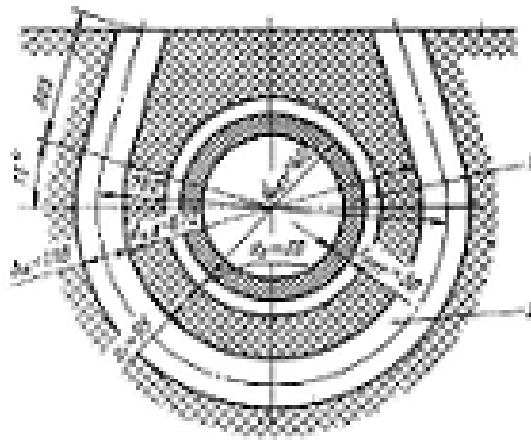


Рис.2.1. Ескіз каналу міксеру

Довжину каналу визначаємо по його середній лінії. Довжина криволінійної частини каналу 940 мм, довжина прямолінійної ділянки 205 мм, отже:

$$l_k = 940 + 2 \cdot 205 = 1350 \text{ мм.}$$

Площа поперечного перерізу каналу. Приймаємо густину струму в каналі для чавуну $j_2 = 4,2 \cdot 10^6$, А/м², тоді:

$$F_k = 10^3 P_{\text{інд}} / (j_2^2 \rho_M l_k) = 10^3 \cdot 100 / \left[(4,2 \cdot 10^6)^2 \cdot 125 \cdot 10^{-8} \cdot 1,35 \right] = 0,0034 \text{ м}^2.$$

Форма поперечного перерізу каналу. Прийmemo канал у формі кола. Тоді, внутрішній діаметр каналу:

$$d_k = \sqrt{\frac{4F_k}{\pi}} \text{ м}^2.$$

$$d_k = \sqrt{\frac{4 \cdot 3400}{3,14}} = 65,8$$

Приймаємо $d_k = 66$ мм.

Уточнюємо площу перерізу каналу, з урахуванням прийнятого розміру:

$$F_k = \frac{\pi d_k^2}{4},$$

$$F_k = \frac{3,14 \cdot 66^2}{4} = 3420 \text{ мм}^2 = 0,00342 \text{ м}^2.$$

Активний опір каналу:

$$R = \rho_m l_k / F_k = 125 \cdot 10^{-8} \cdot 1,35 / 0,00342 = 4,93 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}.$$

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 $l_p = 1,55$.

$$L_{\text{зовн}} = 2 \cdot 10^{-7} l_p l_k \ln(R_1/R_2) = 2 \cdot 10^{-7} \cdot 1,55 \cdot 1,35 \ln(0,19/0,055) = 5,2 \cdot 10^{-7} \text{ Гн};$$

$$L_B = 10^{-7} l_k / 2 = 10^{-7} \cdot 1,35 / 2 = 0,67 \cdot 10^{-7} \text{ Гн};$$

$$L = L_{\text{зовн}} + L_B = 5,2 \cdot 10^{-7} + 0,67 \cdot 10^{-7} = 5,87 \cdot 10^{-7} \text{ Гн}.$$

Індуктивний опір каналу:

$$X_L = 2\pi f L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 5,87 \cdot 10^{-7} = 1,8 \cdot 10^{-4} \text{ Ом}.$$

Повний опір каналу:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{(4,93 \cdot 10^{-4})^2 + (1,8 \cdot 10^{-4})^2} = 5,24 \cdot 10^{-4} \text{ Ом.}$$

Коефіцієнт потужності каналу:

$$\cos \phi = R/Z = 4,93 \cdot 10^{-4} / 5,24 \cdot 10^{-4} = 0,94.$$

Активна напруга в каналі:

$$U_{\text{к.а.}} = \sqrt{P_{\text{інд}} R} = \sqrt{100000 \cdot 4,93 \cdot 10^{-4}} = 7,02 \text{ В.}$$

Повна напруга в каналі:

$$U_{\text{к}} = U_{\text{к.а.}} / \cos \phi = 7,02 / 0,94 = 7,47 \text{ В.}$$

Повна потужність індуктора:

$$S_{\text{інд}} = P_{\text{інд}} / \cos \phi = 100 / 0,94 = 107 \text{ кВ}\cdot\text{А.}$$

Реактивна (індуктивна) потужність, що виділяється в індукторі:

$$Q_{\text{інд}} = \sqrt{S_{\text{інд}}^2 - P_{\text{інд}}^2} = \sqrt{107^2 - 100^2} = 38 \text{ квар.}$$

Повна потужність печі:

$$S = NS_{\text{інд}} = 2 \cdot 107 = 214 \text{ кВ}\cdot\text{А.}$$

Реактивна потужність печі:

$$Q = NQ_{\text{інд}} = 2 \cdot 38 = 76 \text{ квар.}$$

Число витків котушки індуктора. Вибираємо трансформатор з наступною характеристикою. Первинна напруга 380 В, вторинна напруга (10 ступенів): 38, 76 114, 152, 190, 228, 266, 304, 342, 380 В. Приймаємо, що потужність індуктора 700 кВт буде при подачі на котушку напруги 380 В, тоді:

$$n = U_1 / U_k = 380 / 7,47 = 50 \text{ витків.}$$

Для зменшення довжини котушки приймаємо навивку в два шари по 25 витків у кожному шарі.

Сила струму в котушці:

$$I_1 = S_{\text{інд}} / U_1 = 10^3 \cdot 107 / 380 = 282 \text{ А.}$$

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

$$F_{\text{вит}} = I_1 / j_1 = 282 / 3 = 94 \text{ мм}^2.$$

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 $3 \times 8 \text{ мм}$. Число дротів у витку $94 : (3 \times 8) = 4$. З урахуванням ізоляції приймаємо:

$$b_{\text{ВИТ}} = 24 \text{ мм}, h_{\text{ВИТ}} = 20 \text{ мм}.$$

Довжина котушки:

$$l_{\text{КОТ}} = b_{\text{ВИТ}} n / k_{\text{СЛ}} = 24 \cdot 50 / 2 = 600 \text{ мм}.$$

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

$$C = 10^9 Q_{\text{ІНД}} / (2\pi f U_1^2) = 10^9 \cdot 38 / (2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 380^2) = 838 \text{ мкФ}.$$

2.3. Електроустаткування індукційного каналного міксера

Індукційні каналні міксери широко застосовуються в ливарному виробництві для накопичення рідкого ваграночного чавуну, вирівнювання його температури та хімічного складу, а також перегріву металу перед заливанням форм. На відміну від вагранки, яка забезпечує безперервне виплавлення чавуну, каналний міксер дозволяє створити запас рідкого металу та підтримувати його температуру протягом тривалого часу. Ефективність роботи такого обладнання значною мірою залежить від складу та характеристик його електроустаткування.

Основним вузлом міксера є індукційна нагрівальна система, яка складається з одного або декількох індукторів. Кожний індуктор являє собою своєрідний трансформатор, у якому первинною обмоткою є водоохолоджувана мідна котушка, а вторинною – кільце рідкого металу, що знаходиться у футерованому каналі. Під час проходження змінного струму через обмотку виникає змінне магнітне поле, яке індукує у рідкому чавуні потужні електричні струми. Внаслідок джоулевого нагрівання метал розігрівається, а одночасно під дією електромагнітних сил виникає його циркуляція між каналом і ванною міксера. Це сприяє інтенсивному перемішуванню чавуну, вирівнюванню температури та хімічного складу по всьому об'єму.

Живлення індуктора здійснюється від спеціального пічного трансформатора. Зазвичай електроенергія надходить від трифазної мережі напругою 6 або 10 кВ. Пічний трансформатор знижує напругу до значень, необхідних для роботи індукційної системи, та забезпечує передачу великих струмів. Трансформатори для каналних міксерів характеризуються підвищеною перевантажувальною здатністю та мають декілька ступенів регулювання напруги. Перемикання ступенів дозволяє змінювати потужність нагріву залежно від маси металу та технологічних вимог. Для міксерів місткістю від 10 до 100 т встановлюють трансформатори потужністю від 0,5 до 5 МВт і більше.

Важливою складовою електроустаткування є система компенсації реактивної потужності. Індуктор має значну індуктивність, тому при його роботі виникає велике реактивне навантаження на електромережу. Для підвищення коефіцієнта потужності використовують батареї конденсаторів, які підключаються паралельно індукційній установці. Компенсація реактивної потужності дозволяє зменшити втрати електроенергії, знизити навантаження на трансформатори та кабельні мережі, а також забезпечити більш стабільну роботу електрообладнання. У сучасних установках коефіцієнт потужності після компенсації досягає 0,95–0,98.

Для передавання великих струмів від трансформатора до індуктора використовуються масивні струмопідводи, виготовлені з міді або алюмінію. Вони мають мінімальний електричний опір та обладнуються системою водяного охолодження. Надійність струмопідводів має особливе значення, оскільки через них можуть проходити струми силою у десятки тисяч ампер.

До складу електроустаткування входять високовольтні та низьковольтні комутаційні пристрої. На стороні високої напруги встановлюють вакуумні або елегазові вимикачі, роз'єднувачі, трансформатори струму та напруги. Вони забезпечують підключення міксера до електромережі та його захист від аварійних режимів. На стороні низької напруги використовують контактори, автоматичні вимикачі, пристрої плавного пуску та допоміжні системи керування.

Особливу роль відіграє система релейного захисту та автоматики. Вона контролює параметри електроживлення та стан обладнання. Захист спрацьовує у випадках короткого замикання, перевантаження трансформатора, перевищення допустимого струму індуктора, порушення охолодження або замикання на корпус. Сучасні системи також здійснюють безперервний контроль температури футерівки, що дозволяє своєчасно виявляти її руйнування та запобігати аварійним проривам металу.

Для забезпечення надійної роботи індуктора використовується розвинена система водяного охолодження. Вона охолоджує обмотки індуктора, струмопідводи, трансформатор та окремі елементи комутаційної апаратури. До її складу входять насоси, теплообмінники, резервуари для води, фільтри, трубопроводи та контрольно-вимірювальні прилади. Температура та витрата води постійно контролюються автоматикою. При зниженні витрати води або перевищенні допустимої температури система негайно вимикає нагрів для запобігання перегріву обладнання.

Сучасні індукційні міксери оснащуються автоматизованими системами керування на базі програмованих логічних контролерів (PLC). Вони забезпечують регулювання потужності нагріву, підтримання заданої температури металу, контроль енергоспоживання та архівування технологічних параметрів. Інформація відображається на операторських панелях або комп'ютерах диспетчерського пункту. Завдяки цьому оператор може в режимі реального часу контролювати температуру чавуну, електричну потужність, коефіцієнт потужності, витрату охолоджувальної води та інші параметри.

У великих ливарних цехах індукційні каналні міксери часто працюють у комплексі з вагранками. Ваграночний чавун безперервно надходить до міксера, де накопичується і перегрівається на 50–150 °С вище температури випуску з вагранки. При цьому усуваються температурні коливання, зменшується вміст неметалевих включень та забезпечується стабільний склад металу перед заливанням форм. Електрична потужність індуктора використовується переважно для компенсації теплових втрат і перегріву металу, тому питомі

витрати електроенергії становлять лише 40–100 кВт·год на тонну чавуну, що значно менше, ніж при повному розплавленні металу в індукційних печах.

Таким чином, електроустаткування індукційного каналного міксера являє собою складний комплекс силових, комутаційних, охолоджувальних та автоматизованих систем. Його застосування забезпечує надійне накопичення рідкого ваграночного чавуну, підтримання необхідної температури, покращення якості металу та підвищення ефективності роботи ливарного виробництва. Це робить каналні індукційні міксери одним із найважливіших видів електротермічного обладнання сучасних чавуноливарних цехів.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти вирішено актуальне інженерно-технічне завдання з проектування індукційного каналного міксера для накопичення та перегріву чавуну вагранкової плавки ємністю 10 т.

У процесі виконання роботи проведено аналіз сучасних плавильних агрегатів, що застосовуються для виробництва чавуну в ливарному виробництві, розглянуто їх конструктивні особливості, переваги та недоліки. Детально досліджено будову, принцип дії та технологічні можливості індукційних каналних печей, які використовуються для накопичення, усереднення складу та перегріву рідкого металу.

У першому розділі наведено огляд паливних та електричних печей для плавки чавуну, розглянуто конструкцію та принцип роботи індукційного каналного міксера, а також особливості його застосування в ливарному виробництві.

У другому розділі виконано розрахунок основних геометричних параметрів індукційного каналного міксера ємністю 10 т, призначеного для накопичення та перегріву ваграночного чавуну. Проведено повний електротехнічний розрахунок агрегату, визначено основні параметри індуктора, електричні характеристики установки та показники її роботи.

За результатами проектування розроблено комплект графічної документації, що включає креслення загального виду індукційного каналного міксера та креслення індукційної одиниці.

Отримані результати підтверджують можливість ефективного використання спроектованого міксера для стабілізації температури та хімічного складу ваграночного чавуну, підвищення якості рідкого металу та забезпечення надійної роботи ливарного виробництва..

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