

4 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ РІВНОМІРНОГО РОЗПОДІЛУ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

У наш час на підприємстві ПАТ «Запоріжсталь» основною проблемою є охолодження країв штаби, що дуже погано позначається на її механічних властивостях розкату. Удосконалення технології рівномірного розподілу тепла допоможе зробити продукцію більш якісною.

Традиційні шляхи удосконалення технології і устаткування листових станів гарячої прокатки направлені на покращення механічних властивостей і розмірів готового прокату, підвищення продуктивності агрегатів, зниження витрат металу на переділі, розглядаються як непрямий метод зниження енерговитрат. Цим обґрунтовується актуальність даного напрямку робіт щодо вивчення існуючих технологій по збереженню механічних і теплових властивостей металу, що в подальшому допоможе забезпечити економію енергоресурсів.

4.1 Теплозберігаючі екрани

Теплоізоляційні екрануючі установки рольганга штабового стану гарячої прокатки можуть базуватися на тепловідбивному і теплоакумулюючому ефектах. В обох випадках теплоізоляційна установка складається з ряду ідентичних секцій, встановлених на рольгангу.

Відома секція теплоізоляційного екрану рольганга штабового стану гарячої прокатки, що базується на теплоакумулюючому ефекті (див., наприклад, патент РФ N 1519799).

Недоліками відомої секції теплоізоляційного екрану є: по-перше, інерційність в роботі (необхідно проходження під секцією декількох гарячих штаб, щоб секція вийшла на стаціонарний тепловий режим і почала високоефективно екранувати тепло від металу); по-друге, тривалість теплової взаємодії гарячого металу з секцією екрану на різних ділянках рольганга штабового стану гарячої прокатки істотно різна і коливається від десятків до сотень секунд. В результаті там, де тривалість цієї взаємодії незначна, ефект застосування цих секцій екранів дуже низький; по-третє, в цих теплоізоляційних екранах використовують дорогі жаростійкі матеріали.

Відомі секції теплоізоляційного екрану рольганга штабового стану гарячої прокатки, що базуються на тепловідбивному ефекті. Основними їх перевагами є безінерційність в роботі і відносно низька вартість. Відома секція теплоізоляційного екрану рольганга штабового стану гарячої прокатки, що містить несучу раму з закріпленими на ній тепловідбивними листами, виконаними з алюмінію або його сплавів.

Недоліком відомої секції теплоізоляційного екрану є низька його працездатність, яка особливо виявляється на ділянках тривалої теплової взаємодії секції та гарячого металу (наприклад, в районі рольганга перед

летючими ножицями). Останнє зумовлює необхідність установки тепловідбивача на значній відстані від екранування металу (800 ... 850 мм від рольганга), що істотно знижує ефект екранування.

Відома секція теплоізоляційного екрану рольганга штабового стану гарячої прокатки, що містить несучу раму з закріпленими на ній змінними касетами, що складаються з корпусу і змінного тепловідбиваючого елемента, закріпленого на корпусі з утворенням між ними зазору і трубою для підведення теплоносія до цього зазору (див., наприклад, а. с. СРСР 1585044).

За істотними ознаками ця відома секція теплоізоляційного екрану найбільш близька пропонованій секції, тому прийнята за прототип.

Істотним недоліком такої секції теплоізоляційного екрану є те, що зазор між корпусом касети і тепловідбиваючим елементом виконаний не по всьому контуру цього елемента; в конструкції передбачений щільний контакт між корпусом і тепловідбиваючим елементом по всьому його периметру. Відповідно зазначений зазор трансформується в порожнину між корпусом і тепловідбивним елементом. При роботі секції в якості теплоізоляційного екрану має місце інтенсивний теплообмін між тепловідбивним елементом і корпусом касети, що вимагає використання в якості теплоносія води. У реальних умовах роботи штабового стану гарячої прокатки для відводу тепла використовують технічну воду. Наявна в цій воді окалина накопичується в зазначеній порожнині і засмічує її вихідні отвори. Припиняється охолодження корпусу касети, вода в порожнині закипає, різко знижується тепловідбиваючі показники теплоізоляційного екрану. Конструкція секції розігривається і секція теплоізоляційного екрану виходить зі строю.

В сукупності вказаний недолік виключає високоефективне застосування цих секцій теплоізоляційного екрану на рольгангах штабового стану гарячої прокатки для зниження охолодження металу.

Пропонована секція теплоізоляційного екрану рольганга штабового стану гарячої прокатки вільна від вказаного недоліка. У ній відсутній по суті контакт корпусу касети і тепловідбиваючого елемента і практично виключено теплова взаємодія з гарячим металом елементів конструкції корпусу касети і несучої рами секції екрану, тим самим максимально запобігається розігрів корпусу касети і через нього всієї секції екрану. Крім того, розвинена тепловіддача поверхні тепловідбиваючого елемента, що дозволяє інтенсифікувати відведення от цього елемента тепла, акумульованому в ньому при роботі секції, і здійснює цей тепловідвід подачею стисненого повітря. Відмічене дозволяє тривалий час зберігати високі тепловідбивні властивості екрану, тим самим має установку з високим ефектом зберігання тепла штаб гарячого металу в процесі його знаходження на рольгангах стану. Запобігання конструкції секції екрану від нагріву виключає деформацію несучої рами секції, підвищує працездатність секції теплоізоляційного екрану в цілому.

Перераховані технічні результати досягають за рахунок того, що в секції теплоізоляційного екрану рольгангу штабового стану гарячої прокатки, містить раму із закріпленими на ній змінними касетами, що складаються з корпусу і змінного тепловідбивного елемента, закріпленого на корпусі з утворенням між

ними зазору, і трубкою для відведення теплоносія до цього зазору, згідно з пропозицією зазор виконаний по всьому контуру тепловідбивного елемента, бічні кромки тепловідбивного елемента і корпусу касети закриті додатковими тепловідбивачами, встановленими з зазором щодо цих країв, корпусу касети і несучої рами секції, при цьому на поверхні тепловідбивного елемента, зверненого до корпусу касети, виконані ребра, розташовані уздовж рами секції, а вихідні отвори труби для підведення теплоносія орієнтовані уздовж рами секції. Секція теплоізоляційного екрану рольганга штабового стана гарячої прокатки пояснена кресленнями на рис. 4.1 і 4.2. **На рис. 4.1** показана ділянка рольганга з встановленими секціями теплоізоляційного екрану; **на рис. 4.2** - поперечний перетин секції.

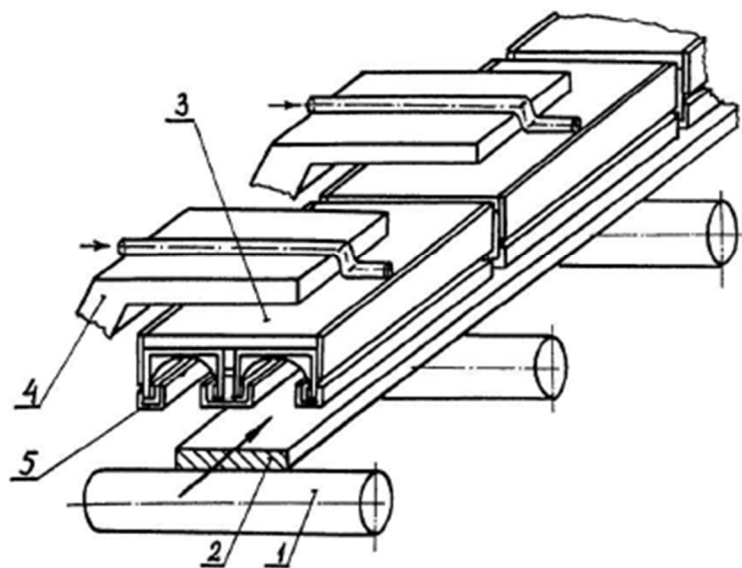


Рисунок 4.1 – Ділянка рольганга з встановленими секціями теплоізоляційного екрану

Над рольгангом 1 (рис. 4.1) штабового стана гарячої прокатки, за яким транспортують гарячий штабовий метал 2, встановлений ряд секцій 3 теплоізоляційного екрану ідентичною конструкції, забезпечених приводом їх переміщення 4 до (від) рольгангу 1; в кожній секції 3 встановлена серія змінних касет 5 ідентичною конструкції.

Кожна секція (рис. 4.2) містить несучу раму 6, на якій на напрямних 7 закріплені касети 5 з можливістю їх заміни. Число касет в секції зазвичай парне (дві, чотири і т.д.), але може бути і одна касета. Це залежить від параметрів штабового стана гарячої прокатки (максимальної ширини штаби, що прокочується на стані). Кожна касета містить корпус 8, до якого через планки 9 болтами 10 прикріплені металеві листи 11, вигнуті у вигляді арки.

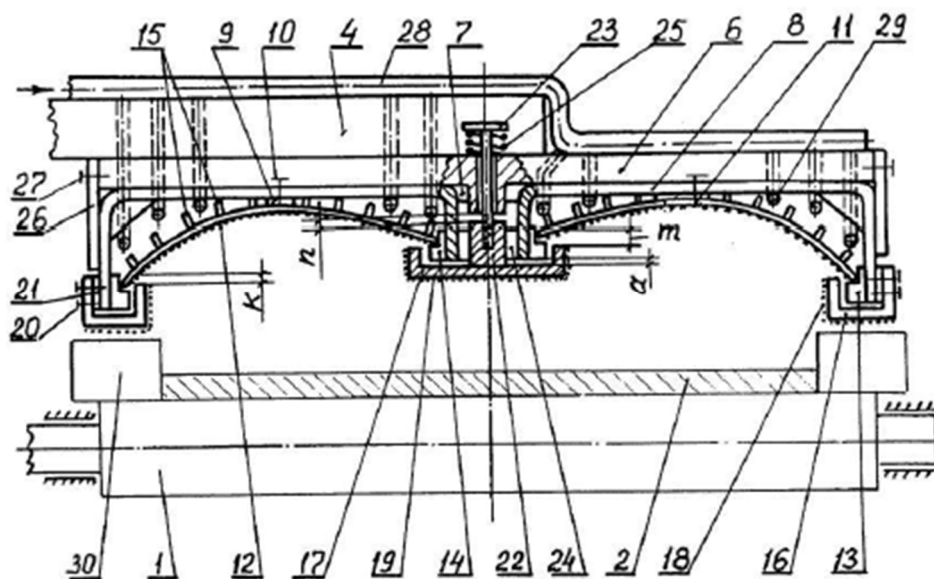


Рисунок 4.2 – Поперечний перетин секції теплоізоляційного екрану

Форма арки може бути симетричною і асиметричною. Останнє залежить від місця установки секції і параметрів штабового стану гарячої прокатки. Листи 11 на увігнутій стороні покриті тонким шаром тепловідбивного матеріалу 12 (на рис. 1.5 показано крапками). Переважно на лист 11 газотермічним способом нанесено алюміній товщиною 0,15 ... 0,25 мм; можлива комбінація алюмінію, нікелю, хрому та інших металів, але в межах зазначених товщин. Лист 11 з нанесеним тепловідбивним матеріалом 12 утворює тепловідбивний елемент касети 5. Лист 11 боковими краями вільно лежить на ребрах 13 і 14, приварених до корпусу касети 8, не входячи в контакт з цим корпусом. По зовнішній поверхні листа 11 (сторона, звернена до корпусу касети) можуть бути розташовані ребра 15, які орієнтовані вздовж рами секції (у напрямку руху металу 2). Таким чином, по всьому периметру тепловідбивного елемента (листа 11) передбачений повітряний зазор, що виключає контакт цього елемента з корпусом касети 8. Бічні кромки листа 11 разом з ребрами 13 і 14 закриті додатковими коритоподібними балками 16 і 17, зовнішня сторона яких покрита тонким шаром тепловідбивного матеріалу 18 і 19 відповідно (на рис. 4.1 показано крапками). В кінцевому підсумку балки 16 і 17 утворюють в конструкції секції додаткові тепловідбивні елементи, що оберігають конструкцію від прямої взаємодії променів від гарячого металу. При цьому балка 16, яка закриває кромки листа 11 із зовнішнього боку секції екрану, встановлена з повітряним зазором щодо листа 11 (розмір K на рис. 4.1) і корпусу касети 8 і закріплена на корпусі 8 болтами 20 через ребра 21. Балка 17, що закриває кромки листа 11 і корпусу 8 двох протилежно встановлених по ширині секції касет 5, встановлена з повітряними зазорами a і m щодо корпусу касети 8 і листа 11 відповідно. До балки 17 з внутрішньої її сторони приварена траверса 22, яка за допомогою болтів 23 підвішена до несучої рами 6. Крім того, між траверсою 22 і корпусом касети 8 передбачено наявність ребр 24. Між болтами 23 і рамою 6 встановлені

пружини 25. Кріплення балки 17 виконано таким чином, що розмір $n < a$ і $n < m$. Із зовнішнього боку секцій 3 касети 5 кріпляться за допомогою пластин 26, прикріплених болтами 27 до несучої рами 6. Складовою частиною конструкції секцій теплоізоляційного екрану може бути труба 28, закріплена на рамі 6, з можливістю підведення по ній стисненого повітря (рис. 4.1 і 4.2 показано стрілками). Вихідні отвори труби 28 розташовані на рівні повітряного зазору між листом 11 і корпусом касети 8 і орієнтовані уздовж рами секції. На рольгангу штабового стану гарячої прокатки, де встановлені секції екранів, можуть бути встановлені напрямні лінійки 30. Секції виконані і розташовані симетрично щодо поздовжньої осі рольганга.

Секція теплоізоляційного екрану рольганга штабового стану гарячої прокатки працює наступним чином.

Гарячий штабовий метал 2 по рольгангу 1 транспортують під рядом ідентичних секцій 3 так (рис. 4.1), що поздовжня вісь штаби приблизно збігається з центральною віссю встановлених над рольгангом секцій теплоізоляційного екрану. Відбувається променистий теплообмін між гарячим металом 2 і тепловідбивним шаром 12 на листах 11 і тепловідбивним шаром 18 і 19 на балках 16 і 17 відповідно (рис. 4.2). Завдяки низькому ступеню чорноти зазначених тепловідбиваючих шарів (для алюмінію, нанесеного газотермічним способом на чорний метал, ступінь чорноти знаходиться на рівні 0,2 ... 0,25) основна частина променевої енергії гарячого металу відбивається і тим самим екран виконує теплоізоляційні властивості: знижує охолодження металу при знаходженні на рольгангу.

При цьому ефект збереження тепла гарячим металом 2 залежить не тільки від ступеня чорноти тепловідбиваючих шарів 12, 18 і 19, а й від висоти їх розташування щодо рольганга 1. Чим ця висота менше, тим ефект екранування вище.

У свою чергу висота розташування секцій теплоізоляційного екрану залежить від умов проходження гарячого штабового металу 2 по рольгангу 1.

Після виходу з чорнової групи клітей можливе пересування штабового металу по рольгангу з надмірно піднятою над рольгангом передньою частиною штаб, що не виключає удару переднього кінця штаб по секції екрану. Останнє небажано, оскільки може зруйнувати секцію екрану.

На виході в чистову групу клітей, точніше перед летючими ножицями, для більш точного орієнтування штабового металу 2 щодо поздовжньої осі рольганга 1 застосовують напрямні лінійки 30. Так як ширина прокатоної штаби 2 на стані може бути різною, то і положення, займане лінійками 30 на рольгангу 1, є різним, в тому числі таким, яке показано на рис. 4.1 (де представлений випадок максимальної ширини штабового металу).

Зазначене зумовлює розташування нижньої частини секції екранів щодо рольганга на рівні 270 ... 300 мм в районі перед летючими ножицями і 300 ... 350 мм в районі виходу штабового металу 2 на рольганг 1 після чорнової групи клітей.

Додатково до зазначеного при визначенні умов роботи секцій теплоізоляційного екрану необхідно враховувати, що час їх теплової взаємодії з

гарячою штабою 2 в районі виходу штаб з чорнової групи клітей приблизно в 2 ... 7 разів менше в порівнянні з ділянкою рольганга 1 перед чистової групою клітей (перед летючими ножицями).

Перераховані різні умови експлуатації секцій теплоізоляційного екрану, встановлені на різних ділянках одного і того ж рольганга штабового стана гарячої прокатки, диктують дещо різні вимоги до елементів його конструкції. При цьому природно загальне конструктивне виконання секцій теплоізоляційного екрану має бути однаковим.

Загальне конструктивне виконання секцій теплоізоляційного екрану включає: аналогічність механізму приводу секцій до (від) рольгангу через елемент 4; аналогічність конструкції несучої рами 6 і, відповідно, кріплення до неї на напрямних 7 касет 5; змінність касет 5 і змінність в касетах 5 листів 11 у міру потемніння тепловідбивного шару 12; можливість заміни балок 16 і 17 у міру їх зносу (пошкодження через удар штаб або потемніння тепловідбивних шарів 18 і 19); максимальне вилучення контакту листів 11 і балок 16 і 17 з корпусом касети 8 і рамою 6 секцій (наявність зазначених зазорів, що становлять істотну відмінну ознаку пропонованої конструкції секції).

У місці виходу штабового металу 2 на рольганг 1 після чорнової групи краще мати симетричну форму арки листа 11, так як інше виконання призводить до збільшення висоти розташування основної тепловідбивної поверхні 12 щодо гарячої штаб 2, тим самим знижується ефективність її теплоізоляції. У разі удару переднього кінця штаб по балці 17 перш за все замикається зазор n і удар через траверсу 22 передається на раму 6. Так як $n < a$ і $n < m$, в цьому випадку не ушкоджуються ребра 14 і 24 і виключається контакт балки 17 з листом 11, не пошкоджується теплоізоляційний шар 12. Пружина 25 амортизує зусилля, що виникають при поверненні балки 17 після удару в початкове положення.

В районі знаходження гарячого штабового металу 2 перед летючими ножицями краща асиметрична форма арки листа 11 (див. рис. 4.2). Асиметричним відповідно прийнято виконання по висоті бічних ділянок корпусу касет 8. Таке виконання, по-перше, частково зменшує висоту розташування тепловідбивної поверхні 12 щодо гарячої штаб 2, по-друге, зменшує розсіювання променевої енергії, що виходить від гарячої штаби, за межі секцій екранів. В цілому посилюється ефект теплоізоляції гарячого штабового металу 2 на рольгангу 1.

При будь-якому виконанні тепловідбивних поверхонь 12, 18 і 19 частина тепла, що виходить від поверхні гарячої штаб 2, акумулюється в листах 11 і балках 16 і 17. Чим нижчий ступінь чорноти цих поверхонь і чим довше взаємодія штаб 2 і секцій екранів, тим вище розігрів листів 11 і балок 16 і 17. Реально при розглянутих умовах взаємодії температура цих частин секцій може досягати 300 ... 500°C. При цьому більш високі значення температури притаманні секціям, розташованим на ділянці рольганга перед летючими ножицями.

Наявність в конструкції касет 5 повітряного зазору між листом 11 і корпусом касети 8 по всьому контуру цього листа (контакт з корпусом касет 8 виконаний тільки через ребра 13 і 14, число яких не перевищує 3 – 4 - х на одну сторону контакту) дозволяє максимально уникнути передачі тепла від листів 11

на корпус касет 8. Аналогічно завдяки ребрам 21 і 24 запобігається передача тепла від балок 16 і 17 на корпус касет 8. У кінцевому наслідку несуча рама 6 секції теплоізоляційного екрану ізольована від тепла гарячого металу, що проходить під нею, тим самим запобігається деформація конструкції секції через її розігрів.

В результаті променистого теплообміну з гарячим металом в листах 11 і балці 17 акумулюється тепло, відбувається їх розігрів. Найбільш істотний розігрів цих частин касет на ділянках тривалої взаємодії секцій з гарячим металом (наприклад, в районі установки летючих ножиць). Цей розігрів небажаний для тепловідбивача, так як інтенсивно знижує тепловідбиваючі властивості шарів 12, 18 і 19 і тим самим сприяє ще більшому розігріванню листів 11 і балки 17. У кінцевому підсумку ефективність роботи теплоізоляційного екрану різко знижується, конструкція по суті стає непрацездатною.

На ділянках рольганга з короткочасною взаємодією секцій з гарячим металом в листах 11 і балці 17 акумулюється відносно менша кількість тепла і можуть не створюватися будь-які додаткові заходи щодо відведення цього тепла (наприклад, в разі застосування секції екрану в чорновій групі клітей).

Але в основному в конструкції касет 5 застосовують листи 11 з ребрами 15, виконаними на поверхні листа 11, зверненими до корпусу касет 8. Тим самим збільшується тепловідвід від листів 11. При цьому зазначені ребра 15 розташовують уздовж рами секції, що сприяє, по-перше, кращому обтіканню теплоносія (повітря) щодо листів 11, по-друге, покращується видалення повітряної окалини з поверхні листів 11.

У місцях рольганга з тривалою взаємодією секцій з гарячим металом для відводу тепла від листів 11 і балки 17 обов'язково використовують стиснене повітря, що подають по трубі 28, вихідні отвори 29 якої розташовані на рівні повітряного зазору між листом 11 і балкою 17 і корпусом касети 8. Стиснене повітря омиває ребра 15, лист 11 і траверсу 22, тим самим відводиться тепло, акумульоване в зазначених елементах конструкції секції. При цьому повітря омиває також корпус касети 8, що додатково зменшує ймовірність розігріву конструкції секції в цілому.

Зазначене застосування повітря в конструкції секції, як вже зазначено, дозволяє також видаляти окалину, що осідає у вигляді пилу на поверхні листа 11 із зовнішнього боку від гарячого металу. Тим самим усувається екрануюча дія окалини, що осіла на лист 1, тобто додатково запобігається розігрів цих листів.

Таким чином, застосування запропонованих секцій теплоізоляційного екрану штабового стану гарячої прокатки дозволяє мати установку з високим ефектом зниження втрат тепла металу, надійно працюючи на різних ділянках рольгангу стану. При цьому високої надійності в роботі досягають завдяки наявності повітряних зазорів між тепловідбивними елементами, корпусом касети і рамою секції. Високого ефекту екранування в конструкції додатково досягають завдяки збереженню екранами тепловідбивних властивостей, яке забезпечують виконанням на зовнішньої від гарячого металу поверхні тепловідбивних елементів ребр і можливістю підведення в повітряний зазор між

тепловідбивними елементами і корпусом касети стисненого повітря. При цьому в повній мірі використовується дуже важлива властивість тепловідбивних екранних установок – ефект безінерційності в збереженні тепла гарячим штабовим металом.

4.2 Індукційний підігрів

Для Чепецького механічного заводу розроблений технічний проект штаб також комбінованого нагріву (індуктор плюс піч опору) мірних заготовок з титану і цирконію із забезпеченням точності нагріву $\pm 7^{\circ}\text{C}$.

Для цього ж заводу розпочато підготовку до роботи з модернізації індукційних печей для нагріву злитків з титану і цирконію діаметром до 450 мм і довжиною до 2-х метрів.

Метод комбінованого нагріву можна рекомендувати, замість чисто газового нагріву, також при нагріванні сталевих слябів і великих заготовок перед прокаткою. Зниження температури підігріву заготовок в газових печах до 750°C з подальшим ефективним підігрівом до температури прокатки в індукторах дозволяє скоротити в кілька разів довжину нагрівального обладнання і час нагрівання, знизити втрати металу на окалину, істотно підвищити працездатність печей, збільшити міжремонтний період.

На багатьох металургійних заводах Європи, Америки, Японії та інших країн вже понад 10 років успішно вирішується надзвичайно актуальне завдання розширення сортаменту листопрокатних станів і підвищення якості штаби з середньовуглецевих і трансформаторних сталей. Індукційні нагрівачі, що вбудовуються в лінії листопрокатних станів, забезпечують можливість підігріву підкату на $150 \dots 250^{\circ}\text{C}$ перед чистовими клітями, що дозволяє отримувати штабу зі зменшеною товщиною прокату і підвищувати її якість (рис. 4.3).

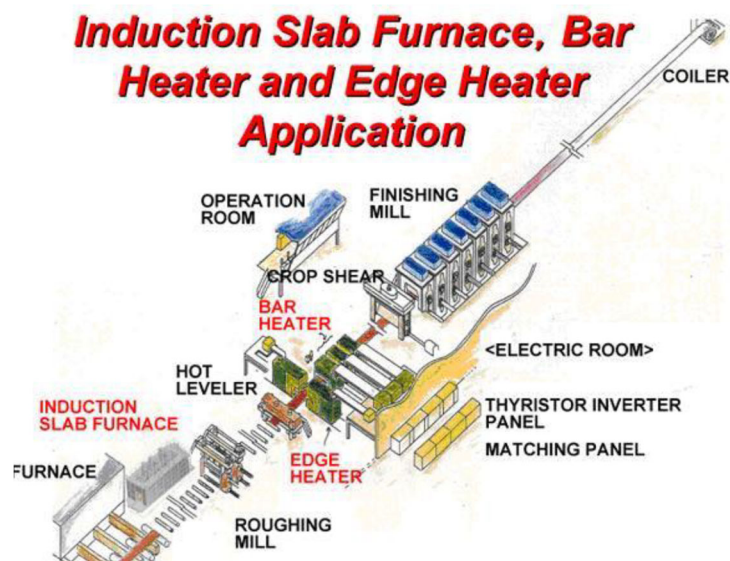


Рисунок 4.3 – Схема листопрокатного стану з індукційним підігрівом підкату

Японська фірма ТМЕІС створила, починаючи з 1998 року, понад 12 індукційних печей потужністю від 17 до 46 МВт для підігріву підкату в лініях прокатних станів на замовлення Японії, Кореї, Китаю і Тайваню.

Особливо ефективно проявляється можливість підігріву трансформаторних сталей, тому що при цьому з'являється можливість домогтися такої структури сталі, при якій відбувається зниження втрат холостого ходу і, відповідно, витрата електроенергії при використанні їх для виготовлення магнітопроводів потужних трансформаторів.

Одночасно з підігрівом всього перетину підкату можливий підігрів тільки кромки, температура яких при підході до чистових клітей, як правило, нижче середини підкату на 50 ... 70°C. Особливо ефективним є застосування підігріву підкату в листопркатних станах, де підкат отримують не чорною прокаткою слябів, а шляхом безперервного розливання. Подібний стан з успіхом експлуатується в Італії, м. Кремона.

На замовлення НЛМК у ВНІТВЧ виконано моделювання, розрахунок параметрів і ескізне проектування індукційного нагрівача потужністю 64 МВт для підігріву підкату шириною 1880 мм і товщиною 50 мм з продуктивністю 600 т/год. Комбінуючи і оптимізуючи роботу індукторів з поперечним і поздовжнім магнітними полями, вдалося досягти необхідної величини підігріву і точності розподілу температури по перетину підкату (рис. 4.4 і 4.5). На рис. 4.6 наведені ескізні проробки конструкцій індукторів з поздовжнім і поперечними полями, потужність 3 МВт.

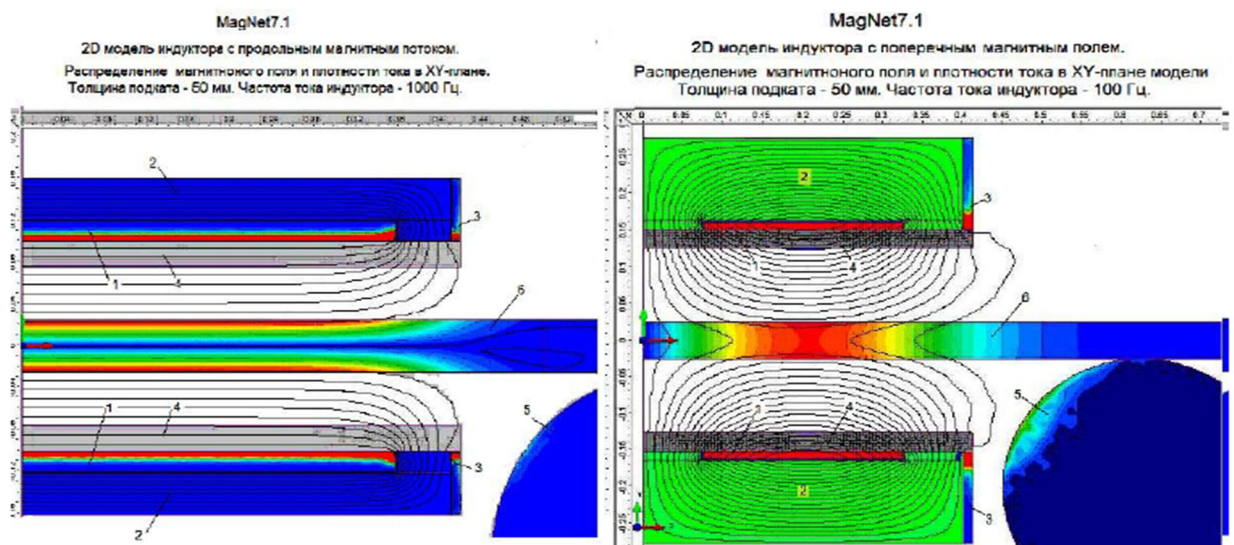
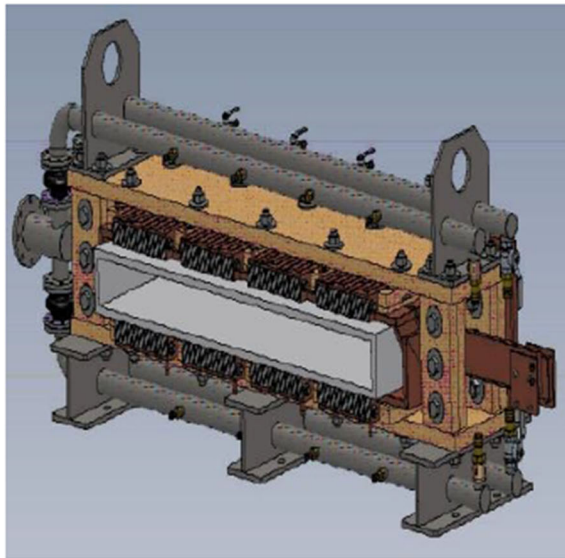
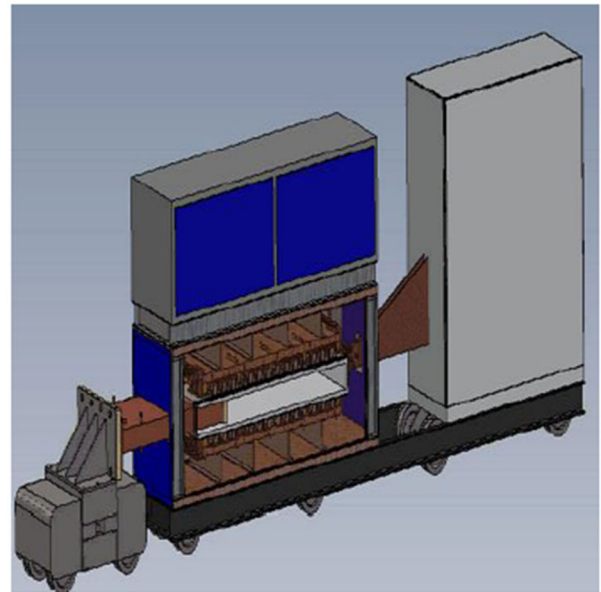


Рисунок 4.4 – Схема нагріву і розподіл магнітного поля в індукторі з поздовжнім полем

Рисунок 4.5 – Схема нагріву і розподіл магнітного поля в індукторі з поперечним полем



а



б

а – з поздовжнім полем, б – з поперечним полем
Рисунок 4.6 – Ескіз індукторів для нагріву підкату

Моделювання і розрахунки показали теоретичну і практичну можливість реалізації подібного проекту.

Безумовно, набагато більш економічним було б передбачати використання подібних індукційних нагрівачів на етапі розробок нових подібних агрегатів, тому що вбудовування нагрівальних блоків в діючі прокатні агрегати вимагають істотної модернізації їх конструкції.

Контрольні питання

1. Розрахунок тривалості нагрівання товстих заготовок.
2. Передача тепла випромінюванням.
3. Засоби для спалювання рідкого та газового палива.
4. Брак при нагріванні металу.
5. Передача тепла конвекцією.
6. Установки для тепло зберігання. Призначення та особливості рекуператорів та регенераторів.

Література до розділу 4: [5, 7, 12, 13]