

DOI: 10.34185/1991-7848.2025.01.20

УДК 621.771:621.774:621.73

М.В. Губинський, Ю.Д. Угрюмов, О.В. Губінський, І.А. Мазур, Д.Ю. Угрюмов

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ТРУБ*

Анотація. *Однією з актуальних проблем України в даний час є нестача первинних енергоносіїв, зокрема природного газу, що обмежує енергоспоживання підприємств. Проблема посилюється поетапним підвищенням вартості енергоносіїв (природного газу, електроенергії), а також іншими причинами, що знижує конкурентоспроможність металургійних підприємств України. Метою даної роботи є аналіз відомих технічних рішень по енергозбереженню в прокатному виробництві, переважно при виробництві гарячекатаних безшовних труб, для подальшого удосконалення виробництва труб. На основі аналізу шляхів енергозбереження при виробництві гарячекатаних труб відзначається головний напрямок енергозбереження в прокатному виробництві – це будівництво прокатних станів поблизу машини безперервного лиття заготовки. В даній роботі розглянуті такі напрямки зниження енерговитрат, як: гарячий посад заготовок в нагрівальні печі трубопрокатних агрегатів; економія природного газу при нагріві термічній обробці; пряме прошивання безперервно литої заготовки на косовалковому стані пілігримового агрегата; термомеханічна обробка труб з прокатного нагріву.*

Ключові слова: *енергозберігаюча технологія, природний газ, електроенергія, гарячекатана труба, трубопрокатний агрегат, пряме прошивання, гарячий посад, нагрівальна піч, термомеханічна обробка.*

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Металургійні підприємства України з повним циклом мають затрати палива на рівні $1,4 \div 1,6$ т.у.т/т виробленої продукції, при цьому доля енерговитрат в собівартості прокату складає приблизно 40%. В той же час на

© Губинський М.В., Угрюмов Ю.Д., Губінський О.В., Мазур І.А., Угрюмов Д.Ю.

* Присвячується пам'яті відомого педагога, вченого і спеціаліста в галузі теплотехніки доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри теплотехніки та екології металургійних печей Національної металургійної академії України Губинського Володимира Йосифовича (03.11.1930 – 15.01.2012).

підприємствах Японії і США ці витрати складають $0,7 \div 1,0$ т.у.т/т продукції. Однією з актуальних проблем України в даний час є нестача первинних енергоносіїв, зокрема природного газу, що приводить до введення обмежень на енергоспоживання не технологічних потреб. Поетапне підвищення вартості енергоносіїв (природного газу, електроенергії) знижує конкурентоспроможність продукції [1].

Незважаючи на достатньо складну ситуацію в металургійній галузі України перш за все з підвищеною витратою всіх видів енергоносіїв, сучасний розвиток науки і технологій дозволяє оптимістично дивитися в майбутній розвиток галузі.

Для ефективного вирішення проблем енергозбереження необхідно перш за все проаналізувати і оцінити всі що є резерви в вирішенні цієї проблеми. Значні резерви в питанні економії енергоресурсів є і при виробництві гарячекатаних труб.

Постановка задачі і мета дослідження

Необхідно розглянути відомі технічні рішення для енергозбереження в прокатному виробництві і на їх основі запропонувати використання як відомих, так і нових рішень для удосконалення технологічних процесів виробництва гарячекатаних труб.

Шляхи енергозбереження при виробництві гарячекатаного проката

Для підвищення ефективності використання теплової та електричної енергії при виробництві прокату необхідно скорочення етапів виробництва шляхом використання безперервного розливання сталі, тепла попереднього агрегата за рахунок гарячого посаду заготовок в нагрівальну піч, а також транзитну прокатку. Найбільш ефективно ця задача вирішена на ліварно-прокатних агрегатах (ЛПА) [1].

Головний напрямок енергозбереження в прокатному виробництві – це будівництво прокатних станів поблизу з машиною безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), використання ефективних систем опалення, глибока утилізація теплоти відпрацьованих газів. Загальними засобами, котрі забезпечують зменшення енергетичних витрат в металургійній галузі, є

поліпшення теплових режимів агрегатів, рекуперація енергоємного обладнання, збільшення ступеня рекуперації вторинних енергоносіїв і повернення їх в технологічний процес, використання сучасних вогнетривких матеріалів та збалансованих схем енергозбереження.

Втрати тепла можна зменшити завдяки встановленню ендопанелей (теплових екранів) і термостатів в лініях станів, на передавальних рольгангах та іншому обладнанні.

Втрати енергоносіїв можна знизити за рахунок скорочення пауз в ході прокатки, простоїв стана і часу роботи обладнання на холостому ході. Скорочення пауз і простоїв сприяє збільшенню маси заготовки і швидкості прокатки [2].

При виробництві гарячекатаних труб гарячий посад заготовок в нагрівальні печі не застосовується, що можна пояснити тим, що трубопрокатні агрегати (ТПА) не будувалися в одну технологічну лінію з МБЛЗ. Разом з тим, якщо прокатні стани знаходяться не рядом з МБЛЗ, то необхідно забезпечити доставку метала із збереженням його теплоти, використовують термовагони і раціональний графік транспортування метала.

В даній роботі розглянемо такі напрямки зниження енерговитрат при виробництві гарячекатаних безшовних труб як: гарячий посад заготовок в нагрівальні печі ТПА; економія природного газу при нагрів і термообробці; пряме прошивання безперервно литої заготовки(БЛЗ) на косовалковому стані пілігримового ТПА; термомеханічна обробка труб з прокатного нагріву.

Гарячий посад заготовок після МБЛЗ

На ПАТ «Інтерпайп-НТЗ» і ПАТ «Інтерпайп Ніко Тьюб» компанії «Інтерпайп» повністю перейшли на виробництво проката (труб і залічних коліс) із БЛЗ круглого поперечного перерізу, яка виробляється на МЗ «Інтерпайп Сталь», побудованого на виробничому майданчику ПАТ «Інтерпайп-НТЗ». Таку заготовку діаметром до Ø500 мм отримують три трубних цеха з ТПА 5–12", ТПА 140 і ТПА 200, та колесопрокатний цех. Знаходження виробника прокату і постачальника заготовки на одному виробничому майданчику створює передумови для аналізу можливостей

здійснення енергозберігаючих технологій виробництва проката з використанням тепла БЛЗ після розливки металу [3-5].

Недоліком існуючої технології прокатки труб на комплексі «МБЛЗ – ТПА 5–12” з пілігримовими станами» є використання холодних заготовок та їх подальше нагрівання в кільцевій печі під прокатку, що призводить до необхідності значної витрати природного газу.

На рис. 1 наведена технологічна лінія для виробництва гарячекатаних безшовних труб діаметром $\varnothing 168 \div 377$ мм з круглої БЛЗ, яка складається з трьох модулів. Перший модуль (М1) є виробником БЛЗ, другий модуль (М2) – забезпечує транспортування гарячої БЛЗ до ТПА 5–12” з пілігримовими станами, третій модуль (М3) – представляє собою ТПА 5–12” з пілігримовими станами для виробництва гарячекатаних труб.

Згідно першого варіанту гарячі заготовки після М1 потрапляють на машину для розділення їх на мірні довжини і далі в кільцеву нагрівальну піч ТПА 5–12” з пілігримовим станом. Згідно другого варіанту гарячі заготовки після МБЛЗ потрапляють в буферну термостатичну піч-накопичувач. Згідно третього варіанту гарячі БЛЗ складаються до повного (неповного) остигання з подальшим розділенням на мірні довжини.

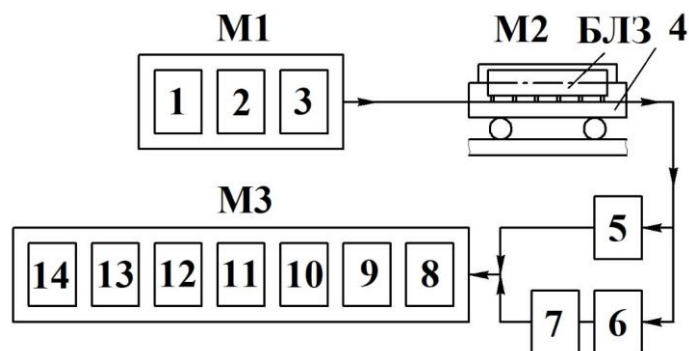


Рисунок 1 – Технологічна лінія виробництва гарячекатаних безшовних труб з круглої БЛЗ:

М1 – модуль виробництва БЛЗ; М2 – транспортний модуль; М3 – ТПА;

1 – електродна піч; 2 – вакууматор; 3 – МБЛЗ; 4 – транспортний засіб;

5 – пила для різання штанг БЛЗ в холодному стані; 6 – пила для різання штанг БЛЗ в гарячому стані; 7 – піч-накопичувач; 8 – нагрівальна піч; 9 – прошивний прес;

10, 13 – підігрівальні печі; 11 – косовалковий стан елонгатор; 12 – пілігримовий стан;

12 – підігрівальна піч з крокуючими балками; 14 – калібрувальний стан

При дослідженні економії палива в печах вихідне температурне поле заготовки після МБЛЗ визначали шляхом прямих вимірів на холодильнику. Середня температура поверхні складала 650°C , а температура центра заготовки – 900°C . Приймаючи параболічну залежність розподілення температурного поля в заготовці, середньомасова температура метала перед транспортуванням складала 775°C [5].

Транспортування передбачається вантажним автомобілем в термоконтейнері чотирьох штанг заготовок одночасно.

При розрахунку процесу охолодження приймали, що втрати теплоти симетричні відносно поздовжньої осі злитка. Температура повітря і внутрішньої поверхні термоконтейнера незмінна і складає 20°C . такий підхід забезпечить визначений запас при розрахунках: закладається збільшення величини теплового потоку з поверхні злитка. При розрахунку враховували променеву і конвективну складову втрати теплоти. В результаті при транспортуванні в продовж 40 хвилин середня температура злитків знизилась на 55°C і склала 725°C . При цьому температурне поле заготовки вирівнялось: температура центра заготовки знизилась до 763°C , температура поверхні зросла до 676°C .

Таким чином, середньомасова температура посада заготовок в кільцеву піч складає близько 700°C . гарячий посад може забезпечувати економію палива в печі або за рахунок підвищення продуктивності, або за рахунок зміни температурного режиму по зонах печі. Так як продуктивність печі визначається роботою стана, та при розрахунках було прийнято, що продуктивність не змінювалась. Економія природного газу може досягатися за рахунок збільшення методичної (неопалювальної) зони печі шляхом відключення ряду горілок. Таким чином, методична зона печі перетворюється в «термос-накопичувач» заготовок, де температура заготовок практично не змінюється. Розрахунок нагрівання метала гарячого посада показав, що довжина методичної зони може бути збільшена і одночасно можуть бути виключені 7 горілок, що дозволяє зекономити $500 \text{ м}^3/\text{год}$ природного газу при нагріванні заготовок до 1280°C і продуктивності печі 45 т/год .

Розділення гарячих БЛЗ на мірні частини може бути здійснено за допомогою установок абразивного різання, які отримують все більше застосування [6].

Нова технологія повинна забезпечити зниження енерговитрат при нагріванні литих заготовок в кільцевій печі для їх деформування і збільшення точності труб.

Це обумовлюється тим, що введення МБЛЗ в лінію в поєднанні з вказаною конструкцією транспортного засобу, який зв'язує цю машину з кільцевою піччю для нагрівання заготовки, дозволяє зберегти і використовувати високу температуру металу за рахунок його внутрішнього тепла, яке є при виливанні заготовок. Як результат – гарячий посад заготовок в кільцеву піч з температурою близькою $600 \div 700^{\circ}\text{C}$, дозволяє вимкнути ряд зон кільцевої печі і тим самим знизити енерговитрати. Крім того, гарячий посад заготовок призведе до їх більш рівномірному нагріву і дасть можливість регулювати температуру заготовок в процесі нагрівання з точністю $\pm 10 \div 20^{\circ}\text{C}$, при нагріванні холодних заготовок під деформування – тільки близько $\pm 40^{\circ}\text{C}$. Останнє повинно підвищити точність труб.

Розглянемо можливості використання енергозберігаючої технології на ТПА 200. На рис. 2 наведена схема модульної технології виробництва труб з недеформованої круглої БЛЗ на ТПА 200 з трьохвалковим розкатним станом ПАТ «Інтерпайп Ніко Тьюб». При цьому операції 1 – 7 забезпечують попереднє деформування вихідної заготовки БЛЗ перед прокаткою труб, а операції 1, 8 – 11 – отримання труб на тому ж основному технологічному обладнанні. В склад ТПА 200 входять три косовалкових стана: двохвалковий з чашоподібними валками і напрямними лінійками та два трьохвалкові стани, розкатний і калібрувальний.

Використання такої технології дозволяє вирішити наступні задачі: розширити номенклатуру вихідної БЛЗ по діаметру; поліпшити якість вихідної БЛЗ за рахунок зниження осьової порожнистості від зосередженої, у вигляді окремих усадочних порожнин, до розподільної по всій зоні рівновісних кристалів.

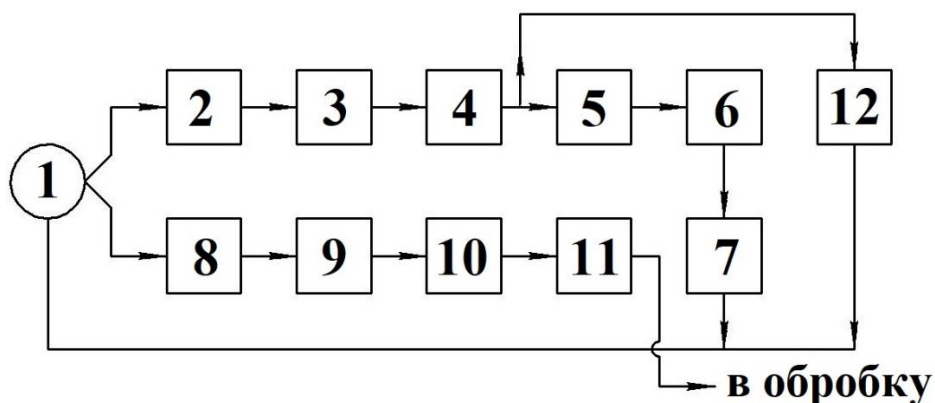


Рисунок 2 – Схема модульної технології виробництва труб із недеформованої круглої БЛЗ на ТПА 200 з трьохвалковим розкатним станом ПАТ «Інтерпайп Ніко Тьюб»:
1 – нагрівання заготовки; 2, 3 та 4 – обтискання БЛЗ на двох- та трьохвалкових станах;
5 – охолодження; 6 – складування; 7 – передача заготовки в піч;
8 – прошивка БЛЗ в гільзу на двохвалковому стані;
9 – розкатка гільзи в чорнову трубу на оправці; 10 – калібрування труби; 11 – охолодження труби; 12 – термостатування заготовки після попереднього деформування

На ТПА 200 з трьохвалковим розкатним станом ПАТ «Інтерпайп Ніко Тьюб» реалізована технологія попередньої деформації вихідної БЛЗ, що дозволило поліпшити якість метала для подальшої прокатки труб на тому ж агрегаті [7].

Аналіз цієї технології показує, що вона має суттєві резерви економії енергоресурсів за рахунок використання тепла заготовок після їх попереднього деформування на ТПА 200. Для того, щоб використовувати тепло заготовок доцільно в технологічній схемі нарис. 1 передбачити операцію 12 термостатування, для збереження тепла заготовки з подальшим її передаванням в нагрівальну піч 1 для нагріву до температури гарячого деформування перед прокаткою труб. При цьому необхідно вирішити ряд логістичних питань з передачі заготовок в термостат, а також подальшої її передачі в нагрівальну піч.

Має перспективи використання нової технології на ТПА 140 зі станами поздовжньої прокатки ПАТ «Інтерпайп Ніко Тьюб», який ближче всього знаходиться до МЗ «Інтерпайп Сталь». Найбільш віддалено від МЗ «Інтерпайп Сталь» знаходиться колесопрокатний цех ПАТ «Інтерпайп-НТЗ». Всі вказані

цеха з'єднані з МЗ «Інтерпайп Сталь» розвиненою мережею залізничних та автомобільних комунікацій.

Тут вперше розглядається концепція удосконалення БЛЗ з МЗ «Інтерпайп Сталь» для виробництва прокату в трубних і колесопрокатному цехах кампанії «Інтерпайп».

Ця концепція передбачає будівництво цеха підготовки металу (ЦПМ) на мінімально близькій відстані від МЗ «Інтерпайп Сталь». В цьому цеху передбачається виробляти наступні операції зі штангами БЛЗ довжиною $6 \div 10$ м, що надходять з МЗ «Інтерпайп Сталь»: огляд і відбракування металу, в тому числі з використанням ультразвукового контролю; розрізання гарячих БЛЗ на мірні довжини; зацентрування трубних заготовок перед прошиванням на косовалковому стані; збереження тепла заготовок; зберігання холодних заготовок.

ЦПМ має чотири лінії з підготовки металу для прокатних цехів ПАТ «Інтерпайп-НТЗ» (рис. 3). Кожна лінія має засіб для розділення штанг БЛЗ на мірні заготовки, лінії для підготовки металу для трубних цехів мають пристрій для зацентрування заготовок під прошивання на косовалковому стані. Кожна лінія має піч-термос для металу і ділянки для холодного металу та ін.

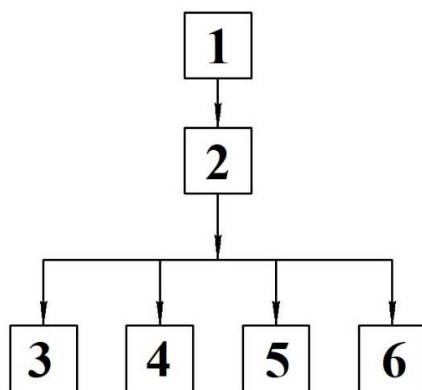


Рисунок 3 – Структурна схема передачі металу з МЗ «Інтерпайп Сталь» в цеха ПАТ «Інтерпайп-НТЗ»:

1 – МЗ «Інтерпайп Сталь»; 2 – цех підготовки металу; 3 – трубопрокатний цех №3;
4 – трубопрокатний цех №4; 5 – трубопрокатний цех №5;
6 – колесопрокатний цех

**Сучасні способи енергозбереження в нагрівальних печах
металургії і машинобудування**

В роботі [8] В.Й.Губинським розглянуті основні сучасні способи економії палива в нагрівальних печах безперервної і періодичної дії: зменшення теплового дефіциту метала що нагрівається; зниження температури продуктів горіння на виході з робочого простору печі; зменшення втрат теплоти на розігрів футерування, і крізь футерування та вікна в навколишнє середовище; використання теплоти газів, які виходять з печі, для підігріву повітря і палива перед подачею їх в пальники, а також для отримання пару і гарячої води в котлах-утілізаторах; оптимальне співвідношення палива і повітря в пальниках з метою повного спалювання палива при мінімальному надлишку повітря; регулювання тиску газів в печі з метою мінімального підсосу атмосферного повітря і вибивання газів з печі.

В.Й.Губинський відмічає, що на прикінці ХХ століття пройшла революційна подія в розвитку конструкції нагрівальних печей, пов'язане з винаходом і промисловим використанням регенеративних пальників [8, 9].

На рис. 4 показана схема такого пальника. Його відмінною рисою є малогабаритний регенератор з кульковою насадкою, розташованою в корпусі пальника. Поверхня нагрівання 1 м^3 кулькового насипу в $10 \div 15$ разів більше, аніж у цегляної насадки типа Siemens. Тому кульковий регенератор має найбільший об'єм і встановлюється напряду в пальнику.

Для того, щоб повернути в піч як можна більше тепла, яке виноситься димовими газами, потрібно не давати кулькам прогріватися по всій висоті насипу. Пальники працюють попарно. Коли температура диму на виході з регенератора підвищується до $100 \div 200^\circ \text{C}$, роблять перекидання клапанів – димових, повітряних та газових. Період між перекиданням складає $1 \div 3$ хвилини і залеже від співвідношення витрати димових газів і об'єму насадки. Температура підігріву повітря в регенераторах всього на 100°C нижче температури диму на виході з печі. Тому регенератори акумулюють $85 \div 90\%$ тепла газів, які виходять з печі, і повертають в піч з повітрям крізь пальники. Витрата палива на опалення печі скорочується в

1,5÷2,0 рази. Найбільший ефект відноситься до печей, які не мають рекуператорів або цегляних регенераторів.

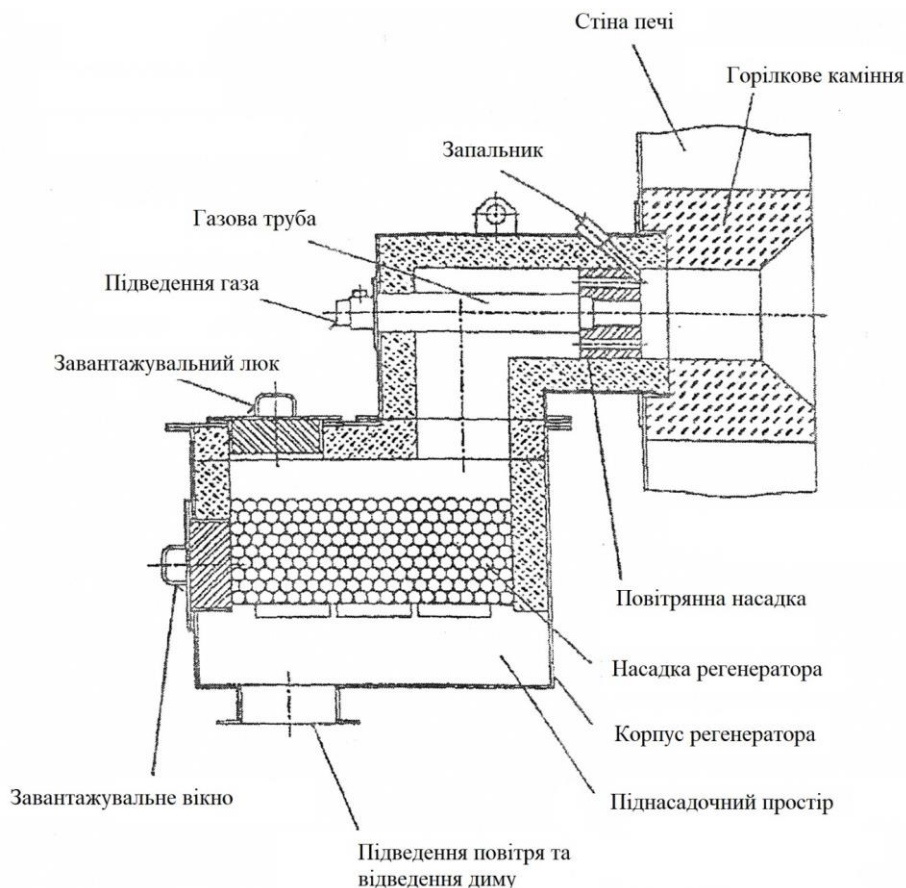


Рисунок 4 – Схема регенеративного пальника

Нагрівальні і термічні печі металургійних та машинобудівних підприємств України мають великі резерви енергозбереження. Реконструкція опалення і футерування печей, сучасні режими їх роботи, глибока утилізація тепла газів, що виводяться, зокрема за допомогою кулькових регенераторів, дозволить скоротити витрату палива в 1,5÷2,0 рази. Можлива економія палива в масштабах України оцінюється в обсязі 500000 т.у.т/рік.

Значну економію енергетичних витрат на нагрівання металу можна отримати шляхом реконструкції пічного господарства з використанням сучасних методів опалення, ефективних пальників, теплообмінних пристроїв (регенераторів та рекуператорів), сучасних вогнетривких і теплоізолюючих

матеріалів, заміни електричних печей газовими, а також камерних печей періодичної дії, які мають малий термічний к.к.д. ($12\div 16\%$), печами безперервного нагрівання. Наприклад, реалізація метода опосередкованого радіаційного нагрівання з використанням плоскополум'яних (дискофакельних, плоскофакельних) пальників дозволяє скоротити витрати палива на $10\div 15\%$. Використання регенеративних пальників дозволяє знизити температуру димових газів на виході з печі до $100\div 150^{\circ}\text{C}$ за рахунок більш ефективного використання вторинних енергоресурсів, що дозволяє підвищити ефективність використання газу на $40\div 50\%$.

Застосування пальників з широким діапазоном регулювання витрати палива забезпечує проведення технологічних операцій при різних температурних режимах і дозволяє скоротити витрату палива на $20\div 25\%$.

Застосування сучасних волоконних теплоізолюючих матеріалів і вогнетривів дозволяє при зменшенні товщини стін печей скоротити в $2\div 3$ рази втрати теплоти в навколишній простір.

Заміна електричних печей на газові в ряді випадків дає можливість в $2\div 3$ рази скоротити витрати на закупівлю енергетичних ресурсів.

Впровадження оптимальних режимів роботи нагрівальних і термічних печей з використанням сучасних пристроїв автоматичного керування і вимірювальних пристроїв також підвищує ефективність використання палива і зменшення втрат металу за рахунок окислення і неякісного нагріву метала (перегрів або недогрів).

Питання вдосконалення режимів роботи і конструкцій нагрівальних печей докладно розглянуто в спеціальній літературі.

Енергозберігаюча технологія отримання гільз на з ТПА 5–12”

ПАТ «Інтерпайп Ніко Тюб»

На ТПА 5–12” з пілігримовими станами використовується проєктна технологія Кальмеса, яка передбачає застосування в якості вихідної заготовки злитка з гранями стаціонарного розливання в виливниці, нагрівання вихідної заготовки до температури гарячого деформування $1250\div 1280^{\circ}\text{C}$, гідрозбив окалини, прошивання заготовки у стакан на горизонтальному гідравлічному

пресі зусиллям 20 МН, підігрів стакану в печі до температури $1250 \div 1280^{\circ}\text{C}$, прокатку стакану у гільзу на косовалковому стані-елонгаторі з прошиванням донця [10].

За останні роки (з 2012 року) відбувся перехід на використання в якості вихідної заготовки БЛЗ круглого поперечного перетину, що поліпшило якість гільз і труб по зовнішній поверхні. В той же час використання операції підігріву стаканів перед станом елонгатором призводить до додаткової витрати енергоресурсів (природного газу), що знижує конкурентоспроможність цієї технології в порівнянні з технологією прямого прошивання БЛЗ на косовалковому стані.

В зв'язку з використанням в якості вихідної заготовки БЛЗ круглого поперечного перетину на цілому ряді закордонних ТПА з пілігримовими станами перейшли на технологію прямого прошивання. Окрім економії природного газу ця технологія дозволяє підвищити точність гільз та труб по товщині стінки за рахунок зниження поперечної різностінності при прошивці суцільної БЛЗ у порівнянні з розкаткою стакану на стані-елонгаторі.

Для здійснення технології прямого прошивання БЛЗ в гільзу на косовалковому стані в умовах ТПА 5–12” ПАТ «Інтерпайп Ніко Тьюб» необхідно здійснити заміну існуючого стана-елонгатора, який морально та фізично застарів за період своєї експлуатації (з 1968 року) на сучасний прошивний косовалковий стан з необхідними енергосиловими параметрами. Розрахунки, проведені Інститутом розвитку ПАТ «Інтерпайп-НТЗ» у 2008-2010 роках показав, що при здійсненні прямого прошивання з виводом із експлуатації прошивного преса і кільцевої нагрівальної печі можна буде забезпечити економію природного газу більше чим на 21 млн. грн. на рік, і знизити витрату метала за рахунок підвищення точності труб по товщині стінки на 15 кг/т, що дасть загальний економічний ефект 39 млн. грн. на рік. Розрахунковий період окупності інвестицій був оцінений приблизно в 2,75 роки при загальному обсязі інвестицій в 75 млн. грн.

В умовах, які склалися в теперішній час, використання існуючого стана-елонгатора єдиним правильним рішенням є використання гнучкої технології отримання гільз на ТПА 5–12” ПАТ «Інтерпайп Ніко Тьюб», коли для

отримання труб діаметром більше $\varnothing 273$ мм застосовується вихідна технологія (рис. 5, схема I), а для труб діаметром меншим $\varnothing 273$ мм - технологія прямого прошивання БЛЗ на стані-елонгаторі (рис. 5, схема II).

На рис. 5 наведений виробничий модуль для отримання гільз на ТПА 5–12” ПАТ «Інтерпайп Ніко Тюб» за гнучкою технологією. Для здійснення прямого прошивання на ТПА 5–12” необхідно, для підвищення точності гільз по товщині стінки, встановити на дільниці стана-елонгатора зацентрувальник заготовок та обладнати вихідну сторону стана надійним центрувальником стрижня оправки, і замінити упорно-регулюючий механізм більш потужним.

Гнучка технологія, окрім розглянутих вище двох основних схем отримання гільз, може також включати наступні схеми: пола БЛЗ – нагрів

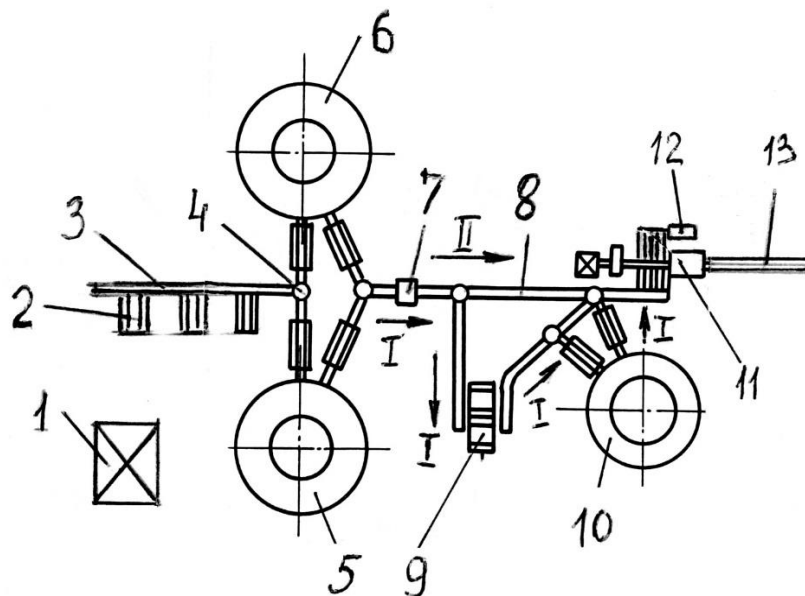


Рисунок 5 – Виробничий модуль для отримання гільз на ТПА 5–12”

ПАТ «Інтерпайп Ніко Тюб»:

- 1 – пила; 2 – приймальні решітки; 3 – рольганг для подачі заготовок;
- 4 – поворотний рольганг; 5 і 6 – нагрівальні печі; 7 – установка гідрозбиву окалини;
- 9 – гідравлічний прес зусиллям 20 МН ;
- 10 – підігрівальна піч; 11 – косовалковий стан-елонгатор;
- 12 – зацентрувальник; 13 – рольганг передачі гільзи до пілігрового стана

– розкатка на стані-елонгаторі; гранований злиток стаціонарного розливання – нагрів – наскрізна прошивка на пресі – підігрів – розкатка на стані-елонгаторі; пола заготовка – нагрів – розкатка на довгій оправці на стані-елонгаторі.

Це розширює технологічні можливості виробничого модуля (рис. 5) для отримання гільз і порожніх заготовок зі збільшенням D/S та підвищенням точності за рахунок зниження різностінності.

Для здійснення прямого прошивання при перемішені нагрітої заготовки від печі до стан-елонгатора по рольгангу довжиною близько 30 м відбувається втрата тепла метала внаслідок його охолодження на повітрі, що в основному залежить від часу перебування на повітрі.

Тому необхідно або збільшити швидкість рольганга, якщо це можливо без втрати надійності його роботи, або встановити теплові екрани, які широко застосовуються, наприклад, на широкоштабових станах, в тому числі і Україні.

Термомеханічна обробка труб [11, 12]

Незважаючи на те, що ще в 1963 році в ВНДТІ було запропонований прогресивний енергозберігаючий процес термічного оброблення гарячекатаних труб в процесі їх прокатки, в даний час в Україні цей процес не застосовується. Тому буде корисним досвід використання цієї технології на ряді закордонних підприємств.

В роботі [12] наведений технологічний процес термомеханічного оброблення і термічне відділення нафтогазових труб в лінії ТПА 140 Синарського трубного заводу, що забезпечує підвищення конструктивної міцності труб, також витрат на їх виробництво.

Гарячедеформовані труби з БЛЗ круглого поперечного перетину на ТПА 140 виробляються послідовно на: прошивному, автоматичному, обкатному, калібрувальному або редуційному станах. На ТПА 140 прокатуються нафтогазові труби діаметром від $\varnothing 89$ мм до $\varnothing 168$ мм зі сталей 20 і 09Г2С. Після прокатки труби в термічному відділенні піддають подвійному загартуванню.

При виборі схеми термомеханічного оброблення необхідно враховувати температурно-деформаційні умови, які забезпечують точність геометричних розмірів, стан зовнішньої внутрішньої поверхонь труби перед охолодженням, спосіб охолодження та розміщення обладнання охолодження, також повинні враховуватися легкість переходу від звичайного прокату до прокату з термомеханічним обробленням та навпаки. Для забезпечення рівномірного охолодження по периметру необхідно обертання труби або струй охолоджувача при переміщенні труб крізь зону охолодження, що зменшує поздовжнє поведіння.

Була застосована схема, яка передбачає прискорене охолодження труб після обкатного стану для феррито-перлитного розпаду з наступним індукційним підігрівом з перекристалізацією перед остаточним деформуванням на калібрувальному (редукційному) стані. Ця схема достатньо проста, так як вимагало тільки встановлення охолоджуючого пристрою за обкатними станами.

При розробці системи охолодження в процесі термомеханічної обробки в лінії ТПА 140 були використані технологічні переваги закалювання за обкатним станом: інтенсивне обертання труби валками стану в процесі її проходження через осередок деформації ($500 \div 700$ об/хв) і можливості суміщення обладнання для зовнішнього і внутрішнього охолодження зі знімним обладнанням стану.

Для зовнішнього охолодження труб за обкатним станом створено двохсекційний спреєр (рис. 6). З метою полегшення вивільнення труби з обкатного стану при аварійних зупинках спреєр виконаний рознімним: з двох половин, які рознімні по горизонтальній площині. Вода на охолодження подається в нижню порожнину, з якої по системі поєднаних отворів направляється в верхню. В якості сопел використовується система циліндричних отворів, які виконано во внутрішній стінці корпусу під кутом 45° в бік осередка деформації.

Спреєр зовнішнього охолодження закріплюється на місці центруючих проводок в перших стійках за обкатними станами.

Для запобігання потрапляння води в трубу крізь її передній кінець, який виходить з обкатного стана, воду на охолодження подають з регульованою затримкою в часі.

Додаткове внутрішнє охолодження труб з товщиною стінки більше 10 мм здійснюється спреєром, поєднаним зі стрижнем, утримуючим оправку. В передній частині стрижня на відстані 150 мм від торця на довжині 0,3 м рівномірно по периметру виконані отвори під кутом 45° в сторону протилежну руху труби. Для забезпечення стабільності процесу термомеханічного оброблення використана система автоматичного керування подачею води на охолодження по довжині труби.

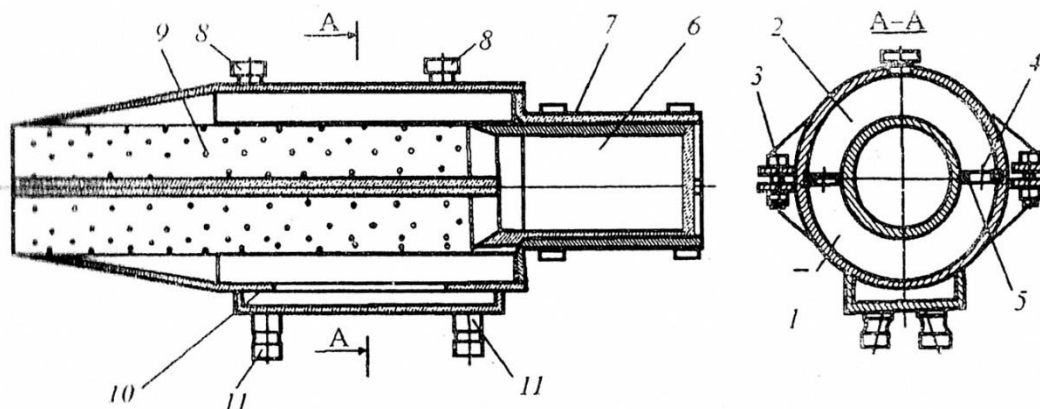


Рисунок 6 – Рознімний спреєр зовнішнього охолодження труб в лінії термомеханічного оброблення:

- 1, 2 – нижня і верхня половини спреєра; 3 – кріплення;
4 – система поєднаних отворів; 5 – ущільнення; 6 – запобіжна вставка;
7 – вузол кріплення спреєра в центруючій проводці; 8, 9 – очисні та соплові отвори;
10 – збірний колектор; 11 – трубопроводи подачі води

В роботі [12] наведений технологічний процес термомеханічного оброблення труб в лінії ТПА 80 Синарського трубного заводу. Технологічний процес включає прошивку БЛЗ круглого поперечного перерізу на прошивному стані, розклатку гільзи в трубу на довгій оправці на безперервному стані, індукційний підігрів, прокатку на редукційному (калібрувальному) стані.

Для підвищення рівномірності охолодження за рахунок зменшення заливання води в середину труби при транспортуванні її крізь лінію спреєрів розроблений спосіб прокатки труби зі зміщенням торцевих ділянок чорнової

труби і остаточного їх закриття на редуційному стані. Після прокатки на безперервному розкатному стані кінці чорнових труб деформують, створюючи ребра жорсткості (первинне ущільнення). При прокатці такої труби в редуційному стані відбувається додатково зминання торців і остаточне закриття труби. Схема деформування торцевої ділянки наведена на рис. 7.

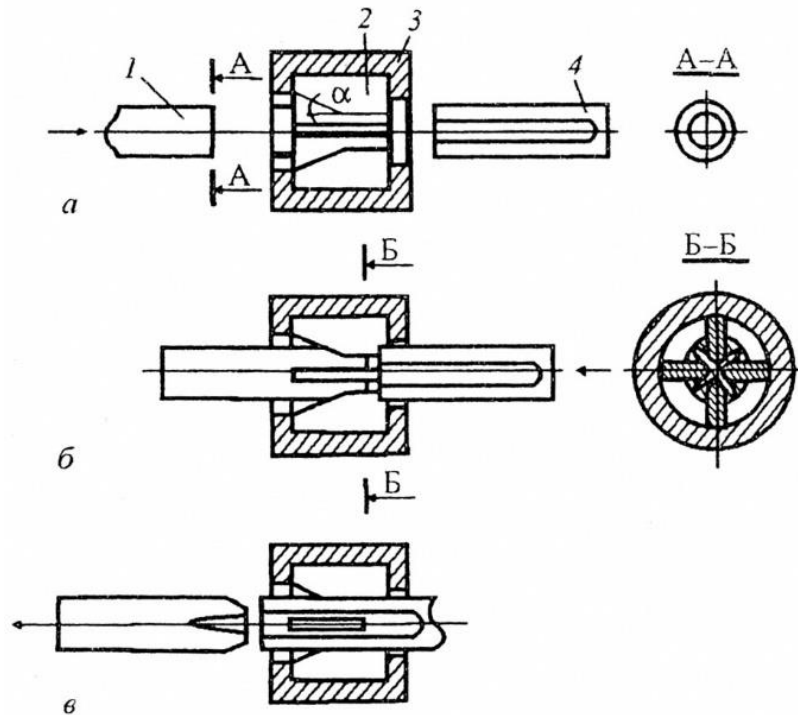


Рисунок 7 – Схема деформування торцевої ділянки. Взаємне розташування чорнової труби і деформуючого інструменту:

- а – вихідне; б – при деформуванні; в – по її закінченню;
- 1 – чорнова труба; 2 – деформуючі ребра; 3 – витискач;
- 4 – корпус деформуючого інструмента;
- А-А і Б-Б – торцеві ділянки да та після деформування

Для первинного ущільнення кінцевих ділянок труб в потоці стана без зниження його продуктивності розроблено пристрій (рис. 8), який монтується в стаціонарних упорах транспортуючих рольгангів. Інструмент деформування виконаний у вигляді кільцевої матриці 1 з похилими клинами 2, закріплений співвісно матриці штовхач 3 пов'язаний з силовим циліндром 5, жорстко закріпленому до корпусу 4. Передбачена також установка рознімної фіксуючої проводки. Ступінь первинного ущільнення регулюється швидкістю задавання

труби в демпфуючий пристрій. Для виключення потрапляння води в трубу додатково використано охолодження труб вбудованими, під кутом до осі переміщення труби, потоками зі спреєра.

Для охолодження труб за редуційним станом змонтована лінія прискореного регульованого охолодження, котра складається з дев'яти спреєрів з індивідуальним приводом, які обертаються, встановлених по три на окремих площадках. Спрейери розташовані в проміжках між транспортуючими роликами і мають можливість регулювання в горизонтальній і вертикальній площинах.

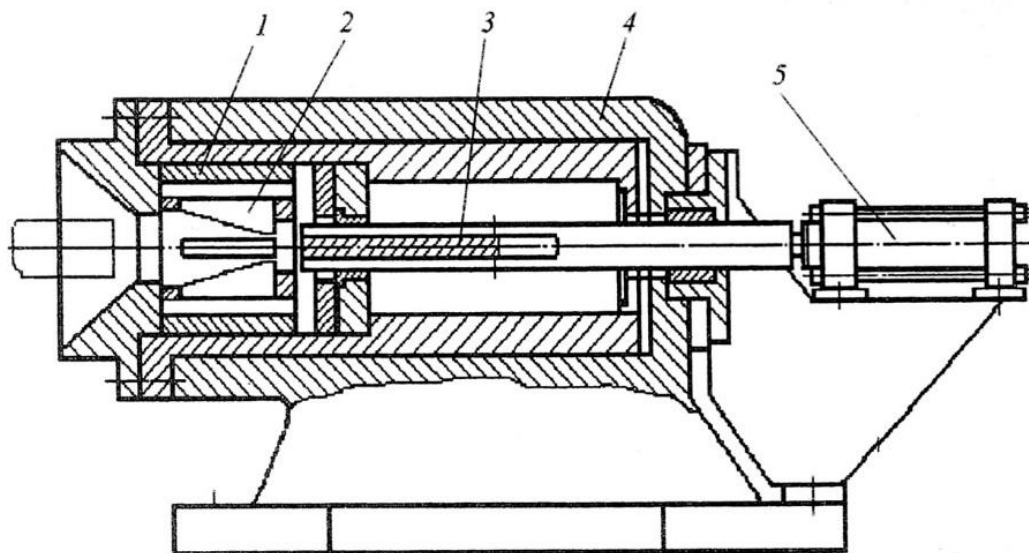


Рисунок 8 – пристрій для первинного ущільнення кінцевих ділянок труб

Транспортують труби в лінії охолодження по рольгангу з біконічних розрізних роликів (рис. 9), що зменшує підстигання нижнього периметра труби. За лінією охолодження встановлені спреєри-відсікачі, які видаляють потік води, що супроводжує трубу із лінії охолодження. Контроль температури труби в лінії охолодження здійснюється двома датчиками температури. Один встановлений після редуційного стану, другий – на виході труби з лінії охолодження.

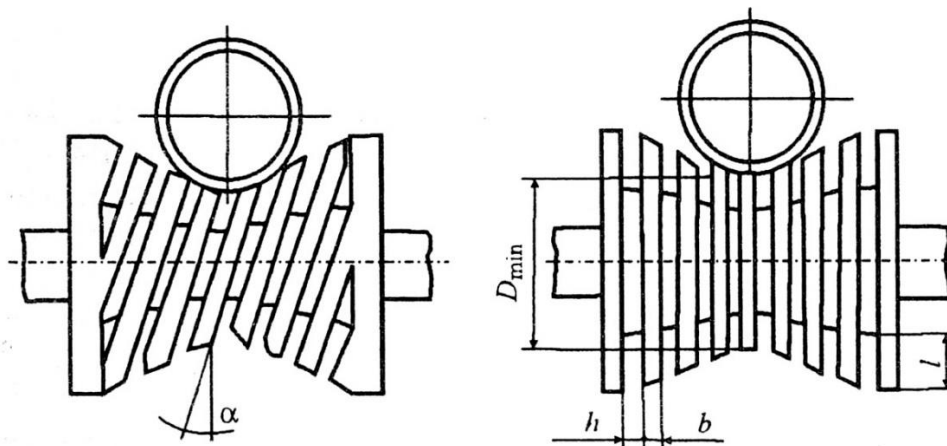


Рисунок 9 – Розрізний біконічний транспортуєчий ролик

В лінії термомеханічного оброблення здійснюється преривання охолодження водою, коли інтенсивне охолодження в продовж $0,2 \div 0,3$ с чергується з паузами $0,2 \div 0,3$ с, що дозволяє регулювати процес охолодження труб, змінюючи тривалість охолодження від 0,5 с до 1,0 с і швидкість охолодження від $15^\circ\text{C}/\text{с}$ до $50^\circ\text{C}/\text{с}$.

На рис. 10 представлена конструкція обертового водоповітряного спреєра лінії термомеханічного оброблення насосно-компресорних труб підвищених груп міцності. Швидкість охолодження в спреєрі регулюється співвідношенням води та повітря в водоповітряній суміші, що подається на охолодження. Загальну швидкість охолодження можна підвищити збільшуючи витрату води. Для зменшення (попередження) заливання води крізь торцеві ділянки труб запропонований спосіб охолодження двома зустрічними потоками під кутом до осі труби, яка переміщується. В момент проходження торця труби під зустрічним потоком витрата охолоджувача в ньому зменшується до нуля з одночасним збільшенням його в другому потоці до максимуму. Такий спосіб охолодження забезпечує отримання рівномірних властивостей кінців та тіла труби.

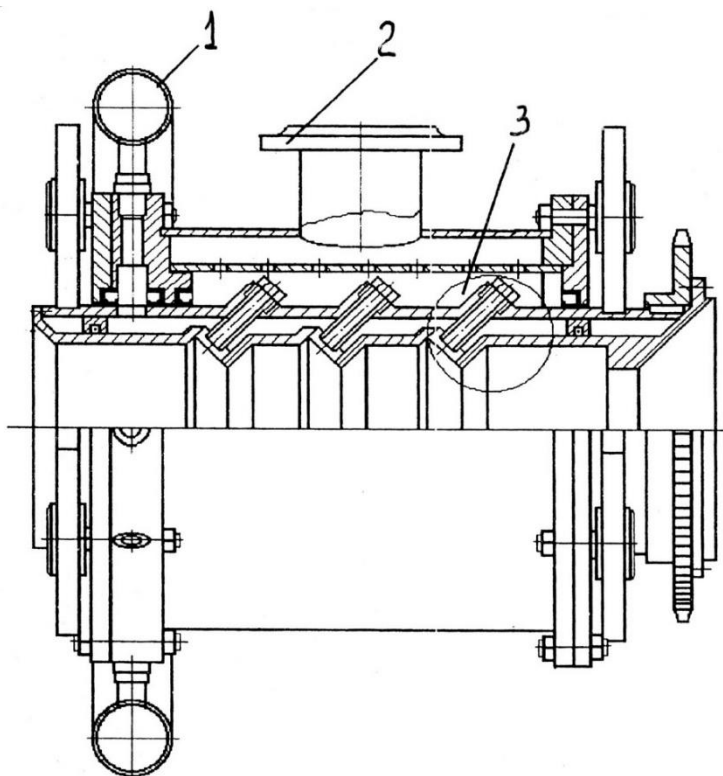


Рисунок 10 – Обертовий водоповітряний спреєр:
1, 2 – відповідно колектори підведення стисненого повітря і води;
3 – водоповітряна формунка

Це дає можливість керувати процесом розпаду аустеніта, отримав як характерну для перерваного закалювання неоднорідну по перетину структуру з поверхневим шаром відпущеного мартенситу, так і більш однорідну по товщині стінки труби.

Висновки

1. Зниження енерговитрат є важливим напрямком підвищення ефективності і конкурентоспроможності процесів виробництва гарячекатаних безшовних труб на агрегатах різного типу.

2. При виробництві проката і труб на комплексі «МБЛЗ – прокатний стан» основним напрямком зниження енерговитрат є гарячий посад заготовок (БЛЗ) в нагрівальні печі прокатного стану. Розглянуті можливості використання цієї технології на ПАТ «Інтерпайп Ніко Тьюб» в цехах з різними ТПА.

3. Розглянуті основні напрямки енергозбереження в нагрівальних і підігрівальних печах прокатних агрегатів. В розвитку конструкції нагрівальних печей революційне значення мав винахід і промислове впровадження регенеративних пальників.

4. Використання на ТПА 5–12” з пілігримовими станами ПАТ «Інтерпайп-НТЗ» прямого прошивання круглою БЛЗ на косовалковому стані дозволяє отримати економію природного газу за рахунок виключення з технології підігріву заготовки перед станом-елонгатором, а також підвищити точність гільз та труб по товщині стінки.

5. Термомеханічна обробка труб з прокатного нагріву забезпечує економію природного газу, однак до теперішнього часу не отримала широкого застосування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Стасовський Ю.М., Чухліб В.Л., Бояркін В.В. Ресурсозбереження та екологія в процесах обробки металів тиском : підручник. Дніпропетровськ : Пороги, 2013. 353 с.
2. Жучков С.М. Возможности сокращения энергозатрат при производстве сортового проката. Сталь. 2006. №7. С. 47-49.
3. Лінія для виробництва гарячекатаних безшовних труб : пат. 79896 Україна : МПК В21В23/00. № u201210700 ; заявл. 12.09.2012 ; опубл. 13.05.2013, Бюл. № 9.
4. Лінія для виробництва гарячекатаних безшовних труб : пат. 111054 Україна : МПК В21В23/00. № u201605235 ; заявл. 13.05.2016 ; опубл. 25.10.2016, Бюл. № 20.
5. Энергосберегающая технология прокатки труб на ТПА 5-12” ПАО «Интерпайп НТЗ» с использованием горячего посада непрерывнолитой заготовки ООО «Интерпайп Сталь» / В.Ф.Балакин, М.В.Губинский и др. Металлургическая и горнорудная промышленность. 2017. № 7. С. 34-42.
6. Upgrading of existing bar mill in Chonburi for SBQ production by retrofitting a high-performance abrasive cut-off machine / A.K. Chowdhary, V. Akarasanon et al. SEAISI Quarterly Journal. 2015.Vol. 44. № 2. P. 17-22.
7. Освоение проката сплошной заготовки на меньшие диаметры при производстве труб из них в условиях ТПА 50-200 ПАО «Интерпайп НТЗ» / В.Ф.Балакин, А.Н.Степаненко и др. Черная металлургия : Бюллетень НТИ «Черметинформация». 2015. Вып. 6. С. 44-48.
8. Губинский В.И. Современные способы энергосбережения в нагревательных печах металлургии и машиностроения. Сучасні проблеми металургії. 2001. Том 3. С. 311-315.
9. Губинский В.И. металлургическая теплотехника на пороге столетий. Сучасні проблеми металургії. 1999. Том 1. С. 197-207.
10. Развитие производства труб на ПАО «Интерпайп НТЗ» / В.Ф.Балакин, Ю.Д.Угрюмов и др. Системні технології. 2018. Том 4. № 117. С. 108-112.
11. Упрочняющая термическая и термомеханическая обработка труб / В.М.Янковский, Е.А.Соломадина и др. Черная металлургия : Бюллетень НТИ «Черметинформация». 1985. Вып. 16. С. 11-28.
12. Марченко Л.Г., Выбойщиков М.А. Термомеханическое упрочнение труб. – М : Интермет-Инжиниринг, 2006. 240 с.

REFERENCES

1. Stasovskiy Yu.M., Chukhlib V.L., Boiarkin V.V. Resursozberezhennia ta ekolohiia v protsesakh obrobky metaliv tyskom : pidruchnyk. Dnipropetrovsk : Porohy, 2013. 353 s.
2. Zhuchkov S.M. Vozmozhnosti sokrasheniya energozatrat pri proizvodstve sortovogo prokata. Stal. 2006. №7. S. 47-49.
3. Liniia dlia vyrobnytstva hariachekatanykh bezshovnykh trub : pat. 79896 Ukraina : MPK V21V23/00. № u201210700 ; zaiavl. 12.09.2012 ; opubl. 13.05.2013, Biul. № 9.
4. Liniia dlia vyrobnytstva hariachekatanykh bezshovnykh trub : pat. 111054 Ukraina : MPK V21V23/00. № u201605235 ; zaiavl. 13.05.2016 ; opubl. 25.10.2016, Biul. № 20.
5. Energoberegayushaya tehnologiya prokatki trub na TPA 5-12” PAO «Interpajp NTZ» s ispolzovaniem goryachego posada nepreryvnolitoj zagotovki OOO «Interpajp Stal» / V.F.Balakin, M.V.Gubinskij i dr. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost. 2017. № 7. S. 34-42.
6. Upgrading of existing bar mill in Chonburi for SBQ production by retrofitting a high-performance abrasive cut-off machine / A.K. Chowdhary, V. Akarasanon et al. SEAISI Quarterly Journal. 2015. Vol. 44. № 2. P. 17-22.
7. Osvoenie prokata sploshnoj zagotovki na menshie diametry pri proizvodstve trub iz nih v usloviyah TPA 50-200 PAO «Interpajp NTZ» / V.F.Balakin, A.N.Stepanenko i dr. Chernaya metallurgiya : Byulleten NTI «Chermetinformaciya». 2015. Vyp. 6. S. 44-48.
8. Gubinskij V.I. Sovremennye sposoby energosberezheniya v nagrevatelnykh pechakh metallurgii i mashinostroeniya. Suchasni problemi metalurgiyi. 2001. Tom 3. S. 311-315.
9. Gubinskij V.I. metallurgicheskaya teplotekhnika na poroge stoletij. Suchasni problemi metalurgiyi. 1999. Tom 1. S. 197-207.
10. Razvitie proizvodstva trub na PAO «Interpajp NTZ» / V.F.Balakig, Yu.D.Ugryumov i dr. Sistemni tehnologiyi. 2018. Tom 4. № 117. S. 108-112.
11. Uprochnyayushaya termicheskaya i termomehanicheskaya obrabotka trub / V.M.Yankovskij, E.A.Solomadina i dr. Chernaya metallurgiya : Byulleten NTI «Chermetinformaciya». 1985. Vyp. 16. S. 11-28.
12. Marchenko L.G., Vybojshikov M.A. Termomehanicheskoe uprochnenie trub. – M : Intermet-Inzhiniring, 2006. 240 s.

Received 15.04.2025.

Accepted 21.05.2025.

UDC 621.771:621.774:621.73

Mykhailo Hubynskiy, Yurii Uhriumov, Oleksii Gubinskyy,
Ihor Mazur, Dmytro Uhriumov

ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES IN PIPE PRODUCTION

Abstract. *Ukrainian metallurgical enterprises with a full cycle have fuel costs at the level of 1.4÷1.6 tons of conventional fuel per ton of produced products, while the share of energy costs in the cost of rolled products is approximately 40%. At the same time, at enterprises in Japan and the USA, these costs are 0.7÷1.0 tons of conventional fuel per*

ton of product. One of the current problems of Ukraine is the shortage of primary energy carriers, in particular natural gas, which limits the energy consumption of enterprises. The problem is exacerbated by the gradual increase in the cost of energy carriers (natural gas, electricity), as well as other reasons that reduce the competitiveness of Ukrainian metallurgical enterprises.

The purpose of this work is to consider known technical solutions for energy saving in rolling production, mainly in the production of hot-rolled seamless pipes, for further improvement of pipe production.

Based on the analysis of energy saving methods in the production of hot-rolled pipes, the main direction of energy saving in rolling production is noted - this is the construction of rolling mills near the continuous casting machine of the billet.

This work considers such areas of energy consumption reduction as: hot rolling of billets in the heating furnaces of pipe rolling units; saving natural gas during heating and heat treatment; direct piercing of continuously cast billets on the slanting roll mill of the pilgrim unit; thermomechanical processing of pipes with rolling heating.

The possibilities of hot-rolling of continuously cast billets entering the pipe rolling shop with a 5-12” pilgrim mill of PJSC “Interpipe Niko Tube” were analyzed. A new technology of using the heat of a pre-deformed billet for further rolling of pipes on the same mill was proposed on the pipe rolling shop 200 of PJSC “Interpipe Niko Tube”. The use of the technology of hot-rolling of continuously cast billets is also possible in other shops of PJSC “Interpipe Niko Tube”. To improve the organization of work on the development of the technology of hot-rolling of billets, it is possible to organize a metal preparation shop with wide technological capabilities. The introduction of such technologies as direct piercing of billets on the cross-rolling mill of the pipe rolling shop with a 5-12” pilgrim mill, thermomechanical processing of pipes with rolling heating on various pipe rolling shops will contribute to the reduction of energy consumption.

Keywords: energy-saving technology, natural gas, electricity, hot-rolled pipe, pipe rolling unit, direct piercing, hot-rolling, heating furnace, thermomechanical processing.

Губинський Михайло Володимирович, доктор технічних наук, професор, кафедра енергетичних систем та енергоменеджменту, Український державний університет науки і технологій. ORCID ID: 0000-0003-3770-4397. E-mail: gubinm58@gmail.com.

Угрюмов Юрій Дмитрович, кандидат технічних наук, провідний інженер, Український інститут по проектуванню металургійних заводів. E-mail: ugriumov1946@gmail.com.

Губінський Олексій Володимирович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Український державний університет науки і технологій. ORCID ID: 0009-0004-3514-0377. E-mail: gubin@inbox.lt.

Мазур Ігор Анатолійович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра галузевого машинобудування, Український державний університет науки і технологій. ORCID ID: 0000-0003-2177-7110. E-mail: i.a.mazur@ust.edu.ua.

Угрюмов Дмитро Юрійович, технічний директор, ТОВ «Морська Сюрвейерська Компанія».

Hubynskyi Mykhailo, doctor of technical sciences, professor, department of energy systems and energy management, Ukrainian state university of science and technologies. ORCID ID: 0000-0003-3770-4397. E-mail: gubinm58@gmail.com.

Uhriumov Yurii, candidate of technical sciences, senior engineer, Ukrainian institute for designing iron and steel works. E-mail: ugriumov1946@gmail.com.

Gubinsky Oleksii, candidate of technical sciences, senior research fellow, Ukrainian state university of science and technologies. ORCID ID: 0009-0004-3514-0377. E-mail: gubin@inbox.lt.

Mazur Ihor, candidate of technical sciences, associate professor, department of industrial mechanical engineering, Ukrainian state university of science and technologies. ORCID ID: 0000-0003-2177-7110. E-mail: i.a.mazur@ust.edu.ua.

Uhriumov Dmytro, technical director, LLC «Marine Survey Company». E-mail: ugriumov1946@gmail.com.