

DOI: 10.34185/1991-7848.2025.01.16

УДК 621.771:621.774:621.73

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

ПИТАННЯ ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТИ МЕТАЛА ПРИ ВИРОБНИЦТВІ ГАРЯЧЕКАТАНИХ ТРУБ*

Анотація. Розглянуті основні історичні напрямки економії металу при виробництві гарячекатаних безшовних труб на різних трубопрокатних агрегатах, що досягли практичного використання. Зниження витрати металу є одним з основних напрямків зниження витрат при виробництві труб, так як доля вартості заданого металу за вирахуванням відходів складає від 50 до 85%. Виконаний аналіз металовикористання при виробництві гарячекатаних безшовних труб на різних трубопрокатних агрегатах показав, що найбільші технологічні втрати металу мають місце на пілігримових агрегатах за рахунок обрізи металу на пілігримовому стані в затравку та пілігримову головку. Розглянуті основні напрямки зниження цих втрат, при цьому відмічається що найбільш ефективними є прокатка гільзи в стик та розкатка пілігримової головки на вільній ділянці дорна. Також розглянуті питання зменшення окалиноутворення при гарячій прокатці труб шляхом прискореного охолодження виробу водою на виході з чистого калібру та збільшенням швидкості охолодження на повітрі.

Ключові слова: гарячекатана труба, заготовка, гільза, пілігримовий стан, прошивний косовалковий стан, затравка, пільгерголова, окалиноутворення, економія металу, технологічна обрізь, витратний коефіцієнт металу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблеми ресурсозбереження при виробництві гарячекатаних безшовних труб набувають все більшу актуальність як зараз так і на далеку перспективу. Одним із основних критеріїв сучасної технології і устаткування є енергоємність продукції та екологічна безпека [1]. Тому сьогодні

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

* 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).

першочерговими питаннями металургії є ресурсозбереження та екологія у технологічних процесах виробничого циклу.

Багато технологічних процесів виробництва гарячекатаних безшовних труб досягли своїх можливостей та потребують вдосконалення або кардинального відновлення. Встановлено, що ресурсозбереження сприяє росту ефективності економіки, підвищенню її конкурентоспроможності. Більшість трубних підприємств України мають устаткування для виробництва гарячекатаних труб якому близько 50 років. Одним із головних напрямків в ресурсозбереженні є удосконалення діючих технологічних процесів, а також розробка та впровадження нових на базі сучасного розвитку науки і технології. Є значний доробок нових технологічних процесів, котрі до сьогодні не затребувані з об'єктивних і суб'єктивних причин.

Питання ресурсозбереження і, перш за все поліпшення металовикористання, як у виробника, так і у споживача є одним із основних, що впливає на техніко-економічні показники роботи підприємства, так і на його конкурентоспроможність, що дуже важливо в боротьбі за ринки збуту.

Стаття розглядає шляхи зниження витрат металу при виробництві гарячекатаних безшовних труб на різних трубопрокатних агрегатах (ТПА). Також в роботі розглядаються шляхи зниження витрат металу як у виробника гарячекатаних труб, так і у споживачів за рахунок їх додаткової обробки, що в кінцевому рахунку призводить до економії металу в масштабах різних галузей і в цілому по країні.

При виробництві гарячекатаних труб різних видів вартість металу складає 50÷85 % приведених витрат [1].

При вирішенні питань економії металу необхідно пам'ятати про кінцеву мету виробництва труб – використанні їх в головному виробі і можливій економії, яка може бути одержана при застосуванні труб вищої якості, з більш точними геометричними розмірами, спеціально оброблених, у тому числі термічно оброблених, з покриттям зовнішньої і внутрішньої поверхонь та ін. все це потребує значних вимог до вихідного металу, а також способів виготовлення і обробки труб [2].

Серед основних напрямків скорочення витрат металу необхідно відмітити наступні: використання безперервнолитої заготовки круглого поперечного перетину; зниження втрат металу в окалину при нагріві і підігріві; зниження втрат металу в технологічну обрізь, в тому числі на пілігримовому стані в затравку і пільгерголовку, та потовщені кінці при редукуванні з натягом; підвищення точності труб по діаметру і товщині стінки за рахунок зниження різностінності, а також прокатки труб із середньою товщиною стінки близькою до прокатного номіналу або в поді мінусових допусків; удосконалення обліку руху металу по переділам; застосування диференційної системи здачі і відвантаження труб; захист труб від корозії в процесі виробництва і експлуатації.

У кінцевого споживача сталевих труб велике значення має підвищення їх експлуатаційних характеристик [3]. Встановлено, що більше 50% економії металу при його використанні може бути забезпечено в трубному виробництві здійсненням комплексу заходів з підвищення експлуатаційних характеристик сталевих труб, що передбачає поліпшення якості і збільшення випуску ефективних видів труб. При виробництві гарячекатаних безшовних труб найбільш ефективними є наступні заходи [3]: підвищення міцності та пластичності матеріалу труб за рахунок застосування низьколегованих і легованих марок сталей; впровадження термічної і термомеханічної обробки; освоєння нових екологічних видів продукції, яка забезпечує економію металу за рахунок підвищення конструкційної міцності, експлуатаційної надійності і довговічності; підвищення точності розмірів і якості труб шляхом впровадження нових технологічних процесів їх виробництва, удосконалення методів контролю.

В роботі [4] проаналізовано варіанти виготовлення і можливості використання сталевих труб з різними видами покриттів. Труби з покриттям володіють на порядок більш високими показниками експлуатаційної стійкості в порівнянні зі звичайними трубами. Зниження витрати сталевих труб, економія легованих сталей та кольорових металів в промисловості і капітальному будівництві можуть бути досягнуті шляхом застосування труб із вуглецевих сталей з металевим та неметалевим покриттям (оцинкованих,

алітірованих, алюмінійованих, хромованих, емальованих, склянованих, з покриттям із пластичних мас, епоксидних смол та інших видів протикорозійних матеріалів).

В роботі [5] розглянутий спосіб термічного дифузійного цинкування, який дозволяє наносити захисні покриття на насосно-компресорні труби із нарізними кінцями та на муфти до них. При цьому утворюється захисне покриття із корозійно-ерозійного залізоцинкового сплава на зовнішній та внутрішній поверхнях труб, а також на їх різьбових ділянках. Такі труби легко транспортувати без пошкодження покриття. Довгстрокові промислові випробування насосно-компресорних труб в газомазутній нафтовій свердловині показали, що дифузійні цинкові покриття володіють протикорозійними властивостями і ефектом самозахисту. Використання труб з такими покриттями забезпечує значну економію засобів.

Для короткочасного протикорозійного захисту металопродукату при його транспортуванні та зберіганні в роботі [6] запропоновані нові антикорозійні матеріали, які розроблені на основі ресурсозберігаючих і екологічних «зелених» технологій, котрі вводяться в лакофарбові матеріали.

Постановка задачі і мета дослідження

Виробництво гарячекатаних безшовних труб широкого розмірного і марочного сортаменту здійснюється на різних ТПА з пілігримовими, автоматичними, безперервними та іншими розкатними станами. Прокатка труб на цих агрегатах здійснюється з різним витратним коефіцієнтом металу, що обумовлено складом обладнання і особливостями технології.

Задачею даної роботи є розгляд основних напрямків зниження витрат металу на різних ТПА, і перш за все, на пілігримових, так як це дозволить знизити затрати на виробництво та підвищити конкурентоспроможність продукції на внутрішньому і зовнішньому ринках.

Особливості процесів виробництва гарячекатаних безшовних труб

Одним з основних напрямків підвищення ефективності гарячої прокатки труб на ТПА різного типу є розробка нових або вдосконалення існуючих технологій з метою зниження втрат металу в процесі виробництва труб.

Витрата металу наряду з продуктивністю процесу є основною складовою техніко-економічних показників роботи ТПА. Основний показник витрати металу – витратний коефіцієнт λ , який представляє відношення маси заданого в виробництво металу до маси готової продукції, отриманої після гарячої прокатки. При цьому

$$\lambda = \frac{1}{1 - Q}, \quad (1)$$

де Q – втрати металу при прокатці від 1 т заготовки, котрі в основному складаються із угару при нагріві і підігріві металу, обрізі кінцевих ділянок і відходів металу при виробництві спеціальних видів труб (нарізних та ін.).

втрати металу при гарячій прокатці труб складаються із технологічно неминучих (угар, обрізь дефектних кінців) і втрат, викликаних низькою якістю метала, порушенням технології, незадовільним станом обладнання та ін.

загальні втрати металу в відходи на всіх технологічних стадіях (операціях) від заготовки до готової труби складають

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i, \quad (2)$$

де q_i – втрати металу на даній стадії технології; n – число стадій (операцій).

Витратний коефіцієнт метала λ може бути представлений в вигляді добутку витратних коефіцієнтів на кожній стадії (операції) технологічного процесу $\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2 \cdot \lambda_3 \cdot \dots \cdot \lambda_n$.

Останній вираз показує, що одним із напрямків зниження втрат металу при прокатці труб є зменшення кількості стадій, що знаходить своє застосування при розробці нових процесів прокатки труб.

В табл. 1 наведені значення λ для найбільш поширених ТПА.

Аналіз значень витратних коефіцієнтів λ , наведених в табл. 1. показує, що найбільші втрати металу мають місце на пілігримових ТПА, що

Таблиця 1

Середні значення витратних коефіцієнтів λ (т/т) при гарячій прокатці катаних і нафтопровідних труб

Вид труб	ТПА з автомат станом 140	ТПА з пілігримо-вим станом 5–12"	ТПА з трьох-валковим розкатним станом	ТПА з безперерв-ним станом 30-102
Вуглецеві	1,067–1,083	1,20	1,060	1,066–1,077
Леговані	1,087–1,103	1,24	1,080	1,087–1,091
Високо-леговані	1,107	1,32	1,100	–

обумовлено наявністю затравки та пільгерголки, котрі видаляються при прокатці на пільгерстані, а також застосування в якості вихідної заготовки злитків стаціонарного розливання, які мають усадочну раковину.

Труби знаходять широке застосування в різних областях техніки і галузях промисловості. Незважаючи на те, що труби виробляють з різних матеріалів, найбільш розповсюдженні безшовні сталеві труби. властивості різних марок сталей і сплавів в поєднанні з різними видами термічного оброблення та захисних покриттів забезпечують застосування сталевих труб при широкому спектрі навантажень і в різних середовищах експлуатації [1, 2].

Найбільш широко застосовуваними способами виготовлення сталевих безшовних труб різного призначення є способи гарячого деформування. Гарячим деформуванням виготовляють труби з вуглецевих, легованих та високолегованих сталей і сплавів, а також багатошарові труби діаметром від Ø28 мм до Ø1000 мм гарячою прокаткою та до Ø1300 мм (у перспективі до Ø1400 мм) гарячим пресуванням.

В залежності від виду і властивостей матеріалу заготовки, розмірів і вимог до якості труб гаряче деформування здійснюють різними способами, кожному з яких притаманні свої технологічні властивості і недоліки.

Однак, незалежно від застосованого способу схема виробництва гарячедеформованих безшовних труб містить наступні основні технологічні операції: нагрівання заготовки; отримання гільзи; підігрів гільзи (за

необхідністю); отримання чорнової труби проміжних розмірів розкаткою або пресуванням; підігрів труби (за необхідністю); отримання чистової труби остаточних розмірів по діаметру і товщині стінки.

З 11 ТПА для виробництва гарячедеформованих труб в Україні, в даний час, знаходяться в експлуатації наступні: один ТПА з пілігримовим станом 5–12”, один ТПА 30–102 з безперервним станом; один ТПА 350 з автоматичним станом, два ТПА 140 зі станами поздовжньої прокатки, один ТПА 80 з безперервним станом, один ТПА 200 з трьохвалковим розкатним станом, а також трубопресові установки зусиллям 31,5 МН, 44 МН та 16 МН.

Попит на високопродуктивні технології змінюється на ресурсо- і енергозберігаючі технології, так як фактор значного збільшення обсягів виробництва діючого агрегату перестав бути домінуючим. На перше місце вийшли такі фактори як: якість продукції, конкурентна ціна, розширення сортаменту труб, виконання замовлень точно в строк, ресурсозбереження та екологія [1].

Отримання вихідної трубної заготовки. Для виробництва гарячедеформованих сталевих труб використовують катану, ковану, сифонні злитки круглого або багатогранного перетину, відцентроволиту і безперервнолиту заготовку (БЛЗ), а також злитки різних видів переплавів.

Одним з переваг пілігримового способу є можливість використання різного виду вихідного матеріалу з урахуванням сортаменту по розмірам і маркам сталі труб при відповідному складі технологічного обладнання ТПА.

Основні вимоги до трубної заготовки можна позначити наступним чином: забезпечення необхідної металургійної якості; мінімальний розкид по хімічному складу і механічним властивостям; необхідна точність геометричних розмірів і якості поверхні; виконання спеціальних вимог, таких як холодо- та корозійна стійкість.

Недоліками злитків стаціонарного розливання в виливниці є: підвищена забрудненість донної частини екзогенними неметалевими включеннями та розвинена центральна пористість верхньої частини.

Ковані трубні заготовки отримують в основному із зливків діаметром більше $\varnothing 270$ мм з важкодеформованих сталей і сплавів. Якість цих заготовок відповідає вимогам, які пред’являються до них.

Широке розповсюдження отримало використання БЛЗ для гарячого деформування труб. Розміри круглих БЛЗ знаходяться в межах 160÷500 мм, розміри квадратних блюмів складають 180×180÷340×340 мм, прямокутних блюмів 200×280÷400×560 мм. БЛЗ застосовують для ТПА практично всіх типів, при цьому вихід годного на 10-15% вищий, аніж при використанні катаних заготовок.

Злитки електрошлакового переплаву (ЕШП) застосовуються для виробництва труб середніх та великих діаметрів з важкодеформованих, складнолегованих і хромистих сталей (08X18P10T, 12X18H12T, 15X1M1Ф, 15X5M, ЭИ961, ЭП517, ЭП609 та ін.), які володіють корозійною стійкістю, порівняно малим коефіцієнтом розширення, високою жароміцністю. Звичайними методами сталеплавильного виробництва не завжди вдається забезпечити високу якість виробу з цих заготовок. Полі заготовки ЕПШ усувають необхідність їх свердління, яке призводить до збільшення собівартості. Полі заготовки ЕПШ після виливання обточують і розточують до видалення окалини та мікротріщин.

Отримання гільзи. Процес поперечно-гвинтової прокатки є найбільш розповсюдженим методом прошивання, хоча на ряді ТПА до теперішнього часу застосовуються і інші способи прошивання: на пресах і прес-валкових станах. В цих випадках не наскрізне прошивання передбачає подальшу розкатку в гільзу на косовалковому стані елонгаторі з прошиванням донця.

В останній час найбільш доцільним вважається технологія прямого прошивання вихідної БЛЗ круглого поперечного перерізу на двох- або трьохвалковому стані поперечно-гвинтової прокатки.

Отримання чорнової труби. Розкатка гільзи в чорнову трубу здійснюється переважно на станах: безперервних, автоматичних, пілігримових, трьохвалкових, розкатних, Асселя, рейкових та ін. розкатка труб на пілігримових станах характеризується підвищеною технологічною обрізю і витратним коефіцієнтом металу.

Отримання чистової труби. Ця операція здійснюється в основному на багатокільцевих станах поздовжньої прокатки. При прокатці труб на редуційних станах, які працюють з натягом має місце підвищена витрата металу в потовщені кінці. Шляхи зниження втрат металу на цих станах розглянуті в роботі [7].

Особливості процесу прокатки гарячекатаних безшовних труб на ТПА з пілігримовими станами

На рис. 1 наведена схема ТПА з пілігримовим станом 5–12” ПАТ «Інтерпайп Ніко Тюб». ТПА 5–12” пущений в експлуатацію в грудні 1968 року по проекту Укргіпромеза і технологічному завданню ВНДТІ. Відмінною рисою агрегата є отримання гільзи за схемою, яка передбачає прошивання злитка в стакан на пресі з подальшим його підігрівом і розкаткою в гільзу з прошиванням донця стакана на косовалковому стані елонгаторі.

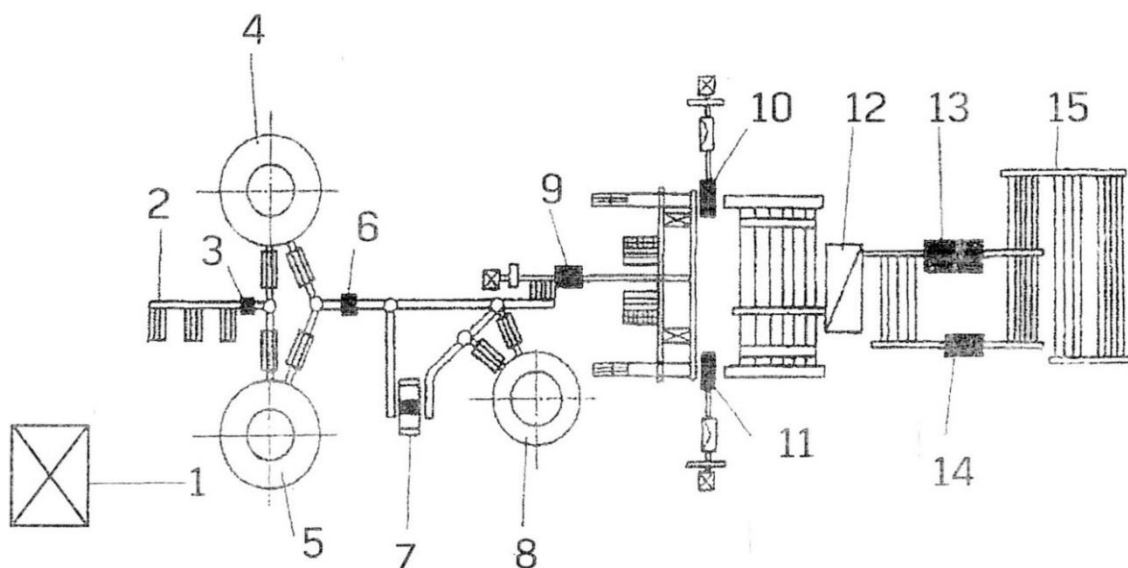


Рисунок 1 – Схема ТПА з пілігримовим станом 5–12” ПАТ «Інтерпайп Ніко Тюб»:

- 1 – пила фірми «LINSINGER»; 2 – рольганг задавання заготовок;
- 3 – ваги; 4, 5, 8 – кільцева нагрівальна піч №1, №2 та №3;
- 6 – установка гідрозбивання окалини;
- 7 – прошивний горизонтальний гідравлічний прес зусиллям 20 МН ;
- 9 – косовалковий стан елонгатор; 10, 11 – пілігримові стани №1 та №2;
- 12 – підігрівальна піч з крокуючими балками; 13,
- 14 – дванадцяти- та п'ятикільцеві калібрувальні стани; 15 – холодильник труб

За останні роки на ТПА з пілігримовим станом 5–12” був встановлений п’ятиклітьовий калібрувальний стан і пила фірми «LINSINGER» (Австрія) для розрізання штанг БЛЗ на мірні довжини. В якості вихідної заготовки з 2011 року на ТПА 5–12” використовується кругла БЛЗ виробництва МЗ «Інтерпайп Сталь». На ТПА 5–12” постачаються штанги БЛЗ довжиною 6÷10 м і діаметром $\varnothing 380 \div 470$ мм. Гільзи можна отримувати за двома схемами: прямим прошиванням БЛЗ на косовалковому стані елонгаторі або за схемою прошивний прес – підігрівальна піч – стан елонгатор. Отримання чорнової труби здійснюється на одному з двох пілігримових станах з індивідуальним приводом, а чистової труби – на одному з двох калібрувальних станах дванадцяти- або п’ятиклітьовому.

На ТПА з пільгерстаном 5–12” ПАТ «Інтерпайп Ніко Тьюб» у зв’язку з діючою технологічною схемою отримання гаряче катаних безшовних труб з круглої БЛЗ, яка надходить з МЗ «Інтерпайп Сталь» мають місце наступні втрати металу на ділянці гарячого прокату: втрати металу в стружку на пилі фірми «LINSINGER» при розрізанні штанг БЛЗ на мірні заготовки – 0,7%; втрати металу в угар і окалину на кільцевій нагрівальній печі – 1%; втрати металу в угар і окалину на кільцевій підігрівальній печі – 0,6%; втрати металу в окалину на стані-елонгаторі – 0,25%; втрати металу в повітряну окалину на вихідній стороні пілігримових станів – 0,6%; втрати металу в угар і окалину в підігрівальній печі з крокуючими балками – 0,2%; втрати металу в повітряну окалину на холодильнику труб – 0,2%.

Основні втрати металу на ділянці гарячого прокату мають місце на пільгерстані при видаленні в обрізь затрочочних кінців труб та пілігримових головок.

Загальні втрати металу в затравку і пільгерголовку складають 6-10% від ваги вихідної заготовки, при цьому на затравку приходить приблизно 25÷28%, а на пільгерголовку - 72÷75% від загальних втрат в технологічну обрізь.

Маються втрати металу і при термічній обробці і при холодній обробці труб (нарізання різьби на трубах нафтового сортаменту та ін.), котрі в даній статті не розглядаються.

Методи вдосконалення затравочного режиму пілігримової прокатки

Особливості затравочного режиму. У робочому циклі прокатки труб на пільгерстанах особливу роль відіграє початковий період (так звана «затравка»), який представляє собою несталый процес заповнення осередку деформації [8].

Затравочний режим має такі особливості: під час затравки пільгерстан не видає готову продукцію, а здійснює формування пільгерголівки на гільзі; за тривалістю затравка становить $5 \div 15\%$ машинного часу пільгерування; відходи металу при обрізі затравочного кінця труби досягають 30% загального технологічного обрізу на пільгерстані; ускладнені умови захоплення гільзи валками, оскільки зустріч металу з валками відбувається перед лінією центрів; ударну дію гребня на метал обумовлюють підвищені динамічні навантаження в робочій лінії стана; відсутня (особливо в початковий період затравки) синхронізація роботи подавального апарата з обертанням робочих валків внаслідок змінної довжини відкату і недокантування гільзи; швидкісний режим прокатки обмежений умовами зчеплення гільзи з дорном і інерційними зусиллями в момент гальмування гільзи на дорні; величина подачі обмежена нерівністю деформації по периметру гільзи при відсутності жорсткого переднього кінця труби; підвищена різностінність на затравочному кінці і далі на деякій частині готової труби.

Таким чином, поліпшення умов затравки є важливим резервом у зниженні витрат металу, підвищенні продуктивності і поліпшенні техніко-економічних показників роботи пілігримових установок.

Шляхи вдосконалення затравочного режиму [9-11]. Серед яких: затравка з підйомом верхнього валка, який використовується для прокатки тонкостінних і особливотонкостінних труб; використання спеціальних кілець із вуглецевих марок сталей при прокатці труб з легованих і спеціальних марок сталі; прокатка гільзи в стик для прокатки товстостінних і особливотовстостінних труб; примусове кантування гільзи на 90° за рахунок застосування спеціального механізму кантування подавального апарата; синхронізація гільзи з валками пільгерстана при затравці, що потребує автоматизації процесу затравки; раціональний режим подачі при затравці для запобігання збільшення подачі; попередня підготовка передніх кінців гільз, що

дозволяє не тільки скоротити час затравки, а й знизити обрізь затравочного кінця труби; усунення зазору між гільзою і дорном на початку процесу затравки, знижує нерівномірність поперечної деформації і зменшує кінцеву обрізь.

Наявність зазору Δ між гільзою і дорном перед пілігримовою прокаткою погіршує умови прокатки в затравочному і сталому режимах, що збільшує витрату метала за рахунок зростання поперечної різностінності.

Раніше пропонувалося підготовка передніх кінців гільз за формою розгортки бойка пільгервалка і з товщиною підготовленого кінця гільзи на торці приблизно $0,5 \div 0,6$ товщини стінки гільзи [9], що потребує значних капітальних витрат (рис. 2, а).

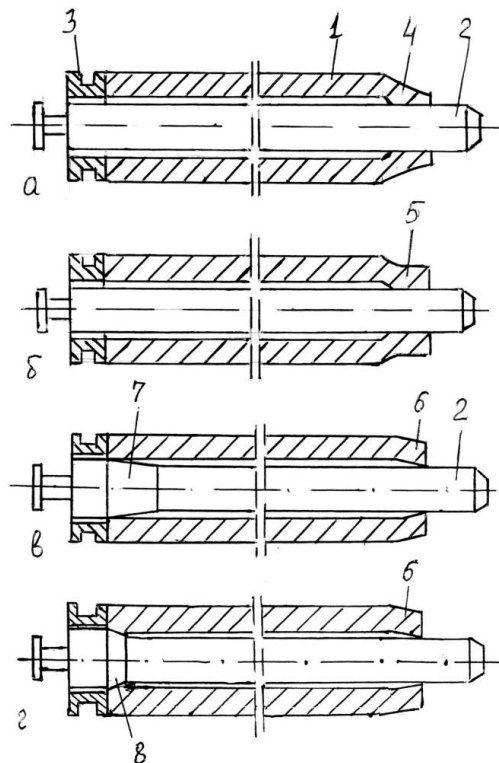


Рисунок 2 – Варіанти (а, б, в, г) підготовки гільз на дорні перед прокаткою на пілігримовому стані:

- 1 – гільза; 2 – дорн; 3 – дорнове кільце;
4, 5, 6 – форми підготовки передніх кінців гільз; 7 – конічний хвостовик;
8 – конічна ділянка дорна

Нове рішення передбачає редукування переднього кінця гільзи на дорні без обтискання по стінці, що знизить енергоємність цього процесу (рис. 2, б). При цьому забезпечується центрування переднього кінця гільзи на дорні. Форми передніх кінців гільз за цією технологією можуть мати наступний вид (рис. 2, б та рис. 2, в). Для центрування заднього кінця гільзи на дорні може бути використано рішення зі збільшеним діаметром хвостовика (рис. 2, в), що одночасно забезпечує зниження маси пільгерголовки, а також дорн з конічною ділянкою (пояском) згідно рис. 2, г. одночасне центрування переднього і заднього кінця гільзи на дорні перед пілігримовою прокаткою підвищує точність труб за рахунок зниження поперечної різностінності.

Методи зменшення пільгерголовки. Відомі напрямки зменшення втрат металу в пільгерголовку наведені в роботах [11, 12] та ін. проблема суттєвого зниження маси пільгерголовки повністю не вирішено до теперішнього часу, особливо для прокатки тонкостінних труб із відношенням $D/S = 12,5 \div 40$. Відомий ряд методів зниження маси пільгерголовки, котрі в даний час використовуються переважно при прокатці товстостінних труб з $D/S = 6 \div 12,5$. Проблема зменшення маси пільгерголовки при прокатці тонкостінних труб обумовлена особливостями існуючої технології прокатки і зняття розкату з дорна шибєрним пристроєм. На практиці в даний час застосовуються наступні методи:

Метод прокатки гільз встик (рис. 3) застосовується при прокатці товстостінних труб, що дозволяє повністю розкатати пільгерголовку і суттєво знизити обрізь;

Зменшення недокату пільгерголовки (рис. 4) використовується як при прокатці тонкостінних, так і товстостінних труб. На рис. 4, а наведена пільгерголовка 1 з недокатом, який зазвичай складає $50 \div 70$ мм, а на рис. 4, б – пільгерголовка без недоката, що знижує масу обрізі;

Спеціальне калібрування хвостовика дорна (рис. 5) знижує масу пільгерголовки, яка видаляється в обрізь за рахунок збільшення діаметру дорна під пільгерголовкою;

Спосіб розкатки пільгерголови на вільній ділянці дорна (рис. 6) застосовується при прокатці товстостінних труб і забезпечує повну розкатку пільгерголови, що суттєво знижує витрату метала;

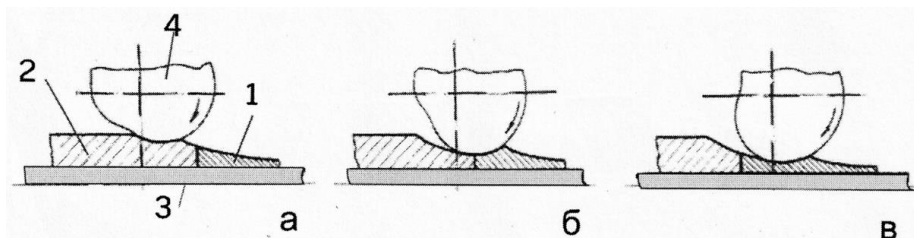


Рисунок 3 – Періоди (а, б, в) розкатки стика гільз:

1 – попередня гільза; 2 – наступна гільза; 3 – дорн; 4 – валок

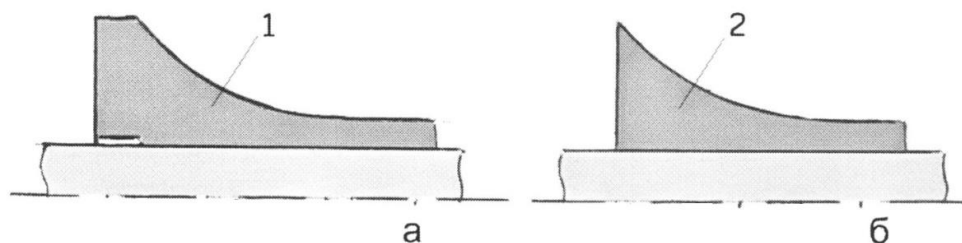


Рисунок 4 – пільгерголовка з недокатом 1 (а) і без недоката 2 (б)

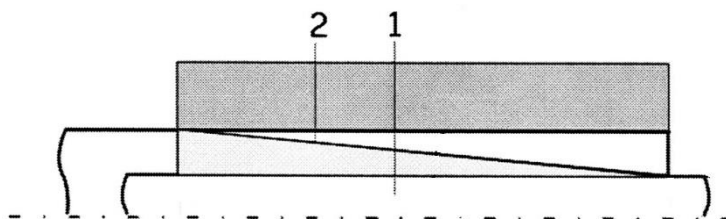


Рисунок 5 – Спеціальне калібрування хвостовика дорна:

1 – звичайний дорн; 2 – дорн з конічним хвостовиком

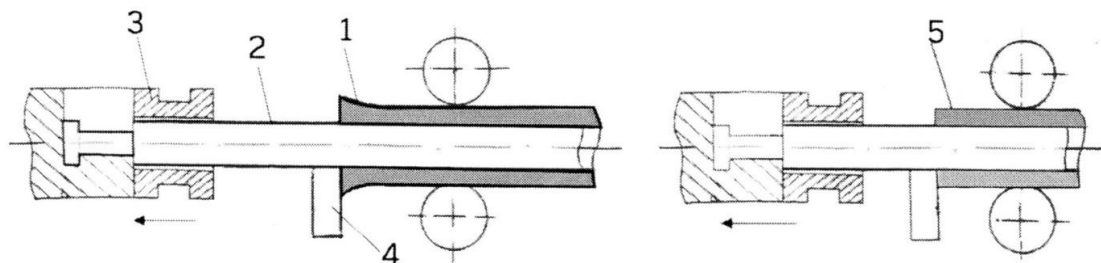


Рисунок 6 – Стадії (а, б) розкатки пільгерголови на вільній ділянці дорна:

1 – пільгерголовка; 2 – дорн; 3 – дорнове кільце; 4 – шибер;
5 – розкатана пільгерголовка

Встановлення вуглецевих кілець, котрі прилягають до заднього торця гільзи при прокатці труб з легованих і спеціальних сталей, що забезпечує економію легованого металу.

В роботі [13] отримали свій подальший розвиток методи зниження маси пільгерголовки шляхом прокатки гільз встик, нових комбінованих методів і розкатки пільгерголовки на вільній ділянці дорна. Для отримання труб з товщиною стінки меншою 20 мм запропонована нова технологія часткової розкатки пільгерголовки, яка забезпечує зняття труби з дорна за допомогою подвійного шибера.

Одним з основних резервів зниження витрати металу при гарячій прокатці труб є їх виготовлення з середньою товщиною стінки близькою до прокатного номіналу або в полі мінусових допусків. Для регулювання товщини стінки труб в процесі прокатки необхідно встановлення приладів для заміру середньої товщини стінки і створення системи керування валками основного прокатного стану, який формує товщину стінки [14].

Зниження витрати металу є одним з основних напрямків зниження витрат при виробництві гарячекатаних труб. Зниження витрати металу може бути досягнуто як використанням технічних і технологічних рішень, так і шляхом організаційно-технічних заходів. Одним з напрямків удосконалення металовикористання є визначення форми постачання труб споживачу за вагою (фізичною або теоретичною).

Постачання труб за теоретичною масою спрямовано на економію металу у виробника за рахунок виготовлення труб в полі мінусових допусків. В цехах, де це неможливо організувати, необхідно застосувати форму здачі і постачання труб по фізичній (фактичній) масі, що дозволить виключити відвантаження частини несплаченої продукції. Як показали дослідження [15] на ТПА з пільгерстаном 5–12” ПАТ «Інтерпайп Ніко Тьюб» прокатка майже всіх видів та розмірів труб бідбується в полі плюсових допусків (від 50% до 95% прокатаних труб).

Використання в цехі з ТПА 5–12” диференційної системи здачі і відвантаження труб показав, що для тонкостінних труб (до 10,5 мм) необхідно

використовувати в обліку фізичну масу, що дає значний економічний ефект, так як виключає відвантаження непроплаченої продукції.

Зменшення окалиноутворення при гарячій прокатці труб

В роботі [16] розглянуті питання зменшення окалиноутворення при гарячій прокатці. Технологія зменшення окалиноутворення на гарячій прокатці передбачає два способи прискореного охолодження виробів: 1 спосіб – охолодження водою на виході з чистового калібра, що рівноцінно зниженню температури кінця прокатки, при якій починається процес охолодження і окиснення виробу на повітрі; 2 спосіб – збільшення швидкості охолодження виробу на повітрі.

Прискорене охолодження прокату (труб) застосовується головним чином в лініях термічного оброблення труб зі спеціального або прокатного нагріву.

В окремих випадках застосовується прискорене охолодження прокату водоповітряною сумішшю, що подається за допомогою осьового спреєра. Інтенсивно розробляються способи термозміцнення для багатьох трубних станів, в тому числі для труб нафтового сортаменту та ін. Для охолодження труб застосовують різні охолоджуючі середовища і способи її подачі на зовнішню та внутрішню поверхні.

Особливості окислення труб полягає в тому, що товщина, структура і властивості окалини, яка утворюється на внутрішній та зовнішній поверхнях, різна. Внутрішня поверхня труб, як правило, вкрита більш щільним і менш пористим, ніж зовнішня поверхня, окисленим шаром. Важко видалити окислений шар з поверхні труб з низько та середньолегованих сталей, які проходять тривалу термічну обробку при високих температурах в пічах без захисної атмосфери. Шар при цьому може досягати товщини більше 1,0 мм.

Окалина, яка утворюється в процесі виробництва безшовних труб, окрім втрат металу ускладнює процес прокатки, і тому необхідно розробляти заходи по її видаленню. Наприклад, для очищення гільз від окалини в гарячому стані рекомендується здійснювати їх продувку сухим водяним паром. Для видалення окалини з зовнішньої поверхні гільзи, яка обертається під час прошивання, пропонується подавати за допомогою форсунок воду під високим тиском.

Одночасно в оправку з осьовими отворами крізь полий стрижень кріплення оправки також подають воду під тиском, стиснене повітря або пар, за допомогою яких видаляють окалину з внутрішньої поверхні труби, яка прокатується.

Після прошивання заготовки на прошивному стані та при проміжному підігріванні на її поверхні утворюється шар окалини, іноді товщиною до 1,0 мм. При подальшій прокатці на оправці вона закатується в стінку труби. Для того, щоб ця окалина легко видалялася, була крихкою, рекомендують стосовно автоматичного та пілігримового станів в гільзу, яка має температуру 850°C вдувати кисень, підігрітий до температури $425 \div 550^{\circ}\text{C}$. Потім гільзи завантажують в підігрівальну піч з температурою 1150°C , де завдяки окислювальній дії кисню на внутрішній поверхні гільзи утворюється окалина, яка складається з магнетиту або гематиту, котра потім легко зламується при прокатці. З метою зменшення міцності зчеплення окалини з поверхнею труби і її кращого видалення зі стінок труби в гарячому стані продувають водоповітряною сумішшю безпосередньо в потоці ТПА.

На ряді підприємств окалину з внутрішньої поверхні гільз після прошивання видаляють поза станом за допомогою стисненого повітря або азоту з вдуванням в струмені газу порошкоподібного розкислювача, зазвичай на основі боратів (бура). Цей метод має ряд недоліків, в тому числі той, що окалина накопичується в порожнині гільзи за час її транспортування до розкатного стана. Нове рішення технологія «Incoat» полягає в суміщенні операцій прошивання і обробки внутрішньої порожнини гільзи розкислювачем, що фактично виключає її окислення. Нова технологія [17] полягає в подачі порошкоподібного розкислювача в потоці газу (азоту або повітря) по спеціальному каналу в стрижні для кріплення оправки, котрий нагнітається крізь 6-8 радіальних отворів, розташованих у оправки. Більш рівномірному розподіленню розкислювача сприяє обертання гільзи відносно стрижня оправки. Швидкість подачі розкислювача забезпечує утворення суцільного шару розплавленого порошку по всій довжині гільзи.

Регулювання окислювальних процесів в кінцевому підсумку стабілізує умови тертя, поліпшує якість поверхні продукції, зменшує знос прокатного інструмента, а іноді сприяє підвищенню продуктивності станів.

Безперервне підвищення вимог до якості гарячекатаних труб потребує подальшого розвитку технології виробництва, що неможливо без рішення проблеми зниження окислення металу в процесі виготовлення труб.

Висновки

1. Ресурсо- і енергозбереження наряду з екологічною безпекою є основним напрямком розвитку металургії в сучасних умовах.

2. Розглянуті основні напрямки економії металу при виробництві гарячекатаних безшовних труб. Зниження витрати металу є одним з основних напрямків зниження затрат при виробництві труб, так як доля вартості заданого металу за відрахуванням відходів складає від 50% до 85%.

3. Аналіз металовикористання при виробництві гарячекатаних труб на різних ТПА показав, що найбільші втрати металу мають місце на ТПА з пілігримовими станами за рахунок технологічної обрізі затравки та пільгерголови.

4. Розглянуті основні напрямки зниження втрат металу в затравку і пільгерголовку, при цьому найбільш ефективними є прокатка гільз в стик і розкатка пільгерголови на вільній ділянці дорна.

5. Одним з основних резервів зниження витрати металу при горячій прокатці труб є їх виготовлення з середньою товщиною стінки близькою до прокатного номіналу або в полі мінусових допусків. Крім того удосконалення металовикористання можна досягнути диференційним постачанням труб споживачу по масі (фізичною або теоретичною), що забезпечить економію металу у виробника труб або виключить відвантаження споживачам неоплаченої продукції.

6. Для центрування гільзи на дорні перед пілігримовою прокаткою запропоновані нові процеси підготовки передніх і задніх кінців гільз, що знижує поперечну різностінність труб і зменшує втрати металу.

7. Розглянуті питання зменшення окалиноутворення при гарячій прокатці труб шляхом прискореного охолодження виробів водою на виході з чистового калібра і збільшення швидкості охолодження на повітрі. При цьому прискорене охолодження прокату (труб) застосовується головним чином в лініях термічного оброблення труб зі спеціального або прокатного нагріву, а також в окремих випадках застосовується прискорене охолодження прокату водоповітряною сумішшю, що подається за допомогою осьового спреєра.

8. запобігання утворенню окалини на внутрішній поверхні гільзи при прошиванні на косовалковому стані і її транспортування до розкатного стану забезпечує підвищення якості труб і зниження втрат метала. Перспективною є нова технологія «Incoat», котра полягає в суміщенні прошивки і обробки внутрішньої порожнини гільзи розкислювачем, який подається крізь полий стрижень оправки.

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. Современные тенденции развития трубного производства / Ю.Г.Гумев, Е.И.Шифрин и др. Теория и практика металлургии. 2009. № 4. С. 30-36.
3. Друян В.М., Чукмасов С.А., Гуляева И.Ю. повышение эксплуатационных характеристик стальных труб. Теория и практика металлургии. 2001. № 5. С. 32-40.
4. Гуляев Ю.Г., Друян В.М., Чукмасов С.А. Изготовление и использование стальных труб с покрытиями. Теория и практика металлургии. 2001. № 5. С. 40-48.
5. Эффективное покрытие для повышения эксплуатационной надежности труб в осложненных условиях нефтегазодобычи. Сталь. 2013. № 9. С. 60-64.
6. Пинчук С.И. Чигринцев Е.Э. Новые антикоррозионные материалы, разработанные на основе ресурсосберегающих и экологических «зеленых» технологий. Теория и практика металлургии. 2012. № 3. С. 173-176.
7. Анализ путей уменьшения концевой обрезки при редуцировании с натяжением / Ю.Г.Гумев, И.А.Шапиро и др. Теория и практика металлургии. 2012. № 1-2. С. 45-48.
8. Угрюмов Ю.Д., Губинский А.В., Угрюмов Д.Ю. Совершенствование неустановившегося – затравочного режимы горячей пилигримовой прокатки труб. Сучасні проблеми металургії. 2005. Том 8. С. 477-481.
9. Балакин В.Ф., Угрюмов Ю.Д., Угрюмов Д.Ю. Методы подготовки передних концов гильз перед прокаткой труб. Теория и практика металлургии. 2012. № 1-2. С. 16-20.
10. Пути снижения расхода металла на пилигримовых трубопрокатных установках / Ю.Д.Угрюмов, П.В.Дрожжа и др. Сучасні проблеми металургії. 2008. Том 11. С. 216-222.
11. Пути уменьшения технологической обрезки на пилигримовом стане / С.Л.Стасевский, Ю.Д. Угрюмов и др. Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. 2013. №43 (1016). С. 211-219.

12. Методы уменьшения массы пылгерголовки при горячей прокатке труб / Ю.Д.Угрюмов, В.Ф.Балакин и др. Черная металлургия : Бюллетень НТИ «Черметинформация». 2011. Вып. 10. С. 68-77.
13. Стасевський С.Л. Удосконалення ресурсозберігаючої технології на основі розвитку розрахунку параметрів виробництва гарячекатаних труб нафтогазового сотаменту : автореф. Дис. На здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.03.05. Кременчук, 2021. 21 с.
14. Пути снижения расходных коэффициентов металла при производстве горячедеформированных труб за счет управления точностью прокатки в цехах ОАО «НТЗ» / В.П.Сокуренько, Е.И.Шифрин и др. Металлургическая и горнорудная промышленность. 2004. № 5. С. 55-60.
15. Совершенствование использования металла в цехах по производству бесшовных горячедеформированных труб / В.П.Сокуренько, Ю.А.Банник и др. Металлургическая и горнорудная промышленность. 2008. № 6. С. 43-48.
16. Губинский В.И., Минаев А.И., Гончаров Ю.В. Уменьшение окисления при производстве проката. Київ : Техніка, 1981. 135 с.
17. Innovative solution for improvements in seamless tube production / T.Wagner, M.Toputh and others. AJS Tech proceedings. 2014. P. 2767-2774.

REFERENCES

1. Stasovskyi Yu.M., Chukhlib V.L., Boiarkin V.V. Resursozberezhennia ta ekolohiia v protsesakh obrobky metaliv tyskom : pidruchnyk. Dnipropetrovsk : Porohy, 2013. 353 s.
2. Sovremennye tendencii razvitiya trubnogo proizvodstva / Yu.G.Gumev, E.I.Shifrin i dr. Teoriya i praktika metallurgii. 2009. № 4. S. 30-36.
3. Druyan V.M., Chukmasov S.A., Gulyaeva I.Yu. povyshenie ekspluatatsionnykh harakteristik stalnykh trub. Teoriya i praktika metallurgii. 2001. № 5. S. 32-40.
4. Gulyaev Yu.G., Druyan V.M., Chukmasov S.A. Izgotovlenie i ispolzovanie stalnykh trub s pokrytiyami. Teoriya i praktika metallurgii. 2001. № 5. S. 40-48.
5. Effektivnoe pokrytie dlya povysheniya ekspluatatsionnoy nadezhnosti trub v oslozhnennykh usloviyakh neftegazodobychi. Stal. 2013. № 9. S. 60-64.
6. Pinchuk S.I. Chigrinec E.E. Novye antikorroziionnye materialy, razrabotannyye na osnove resursosberegayushih i ekologicheskikh «zelenykh» tehnologiy. Teoriya i praktika metallurgii. 2012. № 3. S. 173-176.
7. Analiz putei umensheniya koncevoj obrezi pri reducirovanii s natyazheniem / Yu.G.Gumev, I.A.Shapiro i dr. Teoriya i praktika metallurgii. 2012. № 1-2. S. 45-48.
8. Ugryumov Yu.D., Gubinskij A.V., Ugryumov D.Yu. Sovershenstvovanie neustanovivshegosya – zatravochnogo rezhimi goryachej piligrimovoy prokatki trub. Suchasni problemy metalurhii. 2005. Tom 8. S. 477-481.
9. Balakin V.F., Ugryumov Yu.D., Ugryumov D.Yu. Metody podgotovki perednih koncov gilz perez prokatkoj trub. Teoriya i praktika metallurgii. 2012. № 1-2. S. 16-20.
10. Puti snizheniya rashoda metalla na piligrimovykh truboprokatnykh ustanovkakh / Yu.D.Ugryumov, P.V.Drozhzha i dr. Suchasni problemy metalurhii. 2008. Tom 11. S. 216-222.
11. Puti umensheniya tehnologicheskoy obrezi na piligrimovom stane / S.L.Stasevskij, Yu.D. Ugryumov i dr. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu “KhPI”. Seriya: Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh. 2013. №43 (1016). S. 211-219.
12. Metody umensheniya massy pylgergolovki pri goryachej prokatke trub / Yu.D.Ugryumov, V.F.Balakin i dr. Chernaya metallurgiya : Byulleten NTI «Chermetinformaciya». 2011. Vyp. 10. S. 68-77.

13. Stasevskiy S.L. Udoskonalennia resursozberehaiuchoi tekhnolohii na osnovi rozvytku rozrakhunku parametriv vyrobnytstva hariachekatanykh trub naftohazovoho sotamentu : avtoref. Dys. Na zdobuttia nauk. stupenia kand. tekhn. nauk : 05.03.05. Kremenchuk, 2021. 21 s.
14. Puti snizheniya rashodnykh koefficientov metalla pri proizvodstve goryachedeformirovannykh trub za schetupravleniya tochnostyu prokatki v cehah OAO «NTZ» / V.P.Sokurenko, E.I.Shifrin i dr. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost. 2004. № 5. S. 55-60.
15. Sovershenstvovanie ispolzovaniya metalla v cehah po proizvodstvu besshovnykh goryachedeformirovannykh trub / V.P.Sokurenko, Yu.A.Bannik i dr. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost. 2008. № 6. S. 43-48.
16. Gubinskij V.I., Minaev A.I., Goncharov Yu.V. Umenshenie okalinoobrazovaniya pri proizvodstve prokata. Kiyiv : Tehnika, 1981. 135 s.
17. Innovative solution for improvements in seamless tube production / T.Wagner, M.Toputh and others. AJS Tech proccedings. 2014. P. 2767-2774.

Received 13.04.2025.

Accepted 21.05.2025.

UDC 621.771:621.774:621.73

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

THE ISSUE OF REDUCING METAL CONSUMPTION IN THE PRODUCTION OF HOT-ROLLED PIPES

Abstract. *Resource and energy conservation, along with environmental safety, are the main historical areas of development for metallurgy in modern conditions.*

This article discusses the main areas of metal saving in the production of hot-rolled seamless pipes using various pipe rolling units, which have reached practical use. Reducing metal consumption is one of the main ways to reduce costs in pipe production, as the share of the cost of a given metal minus waste ranges from 50% to 85%. An increase in metal consumption is one of the main factors in reducing the company's competitiveness in the domestic and foreign markets.

An analysis of metal consumption in the production of hot-rolled seamless pipes at various pipe rolling units has shown that the largest technological metal losses occur at pilgrim mills due to metal cut-off at the pilgrim mill into the billet and pilgrim head. The main directions of reducing these losses are considered, and it is noted that the most effective are rolling the liner into the joint and rolling the pilgrim head on a free section of the mandrel.

One of the main reserves for reducing metal consumption during hot rolling is the manufacture of pipes with an average wall thickness close to the rolling nominal or within the field of negative tolerances. Reducing metal losses by improving pipe accuracy can be achieved by centring the liner on the mandrel before pilgrim rolling. To solve this problem, new processes for preparing the front and rear ends of the sleeves have been proposed.

The article considers the issues of reducing scale formation during hot rolling of pipes by accelerating the cooling of the product with water at the outlet of a clean gauge and increasing the cooling rate in air.

One of the new ways to prevent scale formation on the inner surface of the liner when it is pierced on a rolling mill is to supply deoxidiser through the hollow core of the mandrel directly during the piercing process.

The known and new technical solutions considered in this paper can be used in the development of metal-saving technology.

Keywords: *hot-rolled pipe, billet, liner, pilgrim mill, piercing beam mill, pickling, piercing head, scale formation, metal saving, technological cut, metal consumption factor.*

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: ugrumov1946@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».

Hubynskiy 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.

Gubinskyy 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.