

УДК 621.774.35:621.771.22.047

Балакін В. Ф., Стасевський С. Л., Угрюмов Ю. Д., Балаханова Т. В., Угрюмов Д. Ю.
**Металозберігаюча технологія виготовлення товстостінних труб з
безперервною заготовки на пілігримовому стані**

Balakin V. F., Stasevsky S. L., Ugrumov Yu. D., Balakhanova T. V., Ugrumov D. Yu.

Анотація. Розглянуто способи зниження витрат металу при виготовленні особливо товстостінних труб з $D/S < 6$ з безперервною заготовки на пілігримовому агрегаті 5-12" в умовах ПАТ ІНТЕРПАЙП Ніжньодніпровський трубопрокатний завод. Підвищений витратний коефіцієнт металу під час прокатування труб на пілігримовому стані зумовлений особливостями технології, що призводить до збільшення обрізу передніх (затравочних) і задніх кінців труб, які утворюють пілігримову головку. При цьому витрата металу під час прокатування труб на агрегаті з пілігримовим станом на 50-100 кг на тонну труб вища, ніж на інших агрегатах (з автоматичним, безперервним та ін. станами). На основі теоретичного аналізу та експериментальних даних із застосуванням діючого промислового обладнання було визначено, що методом гарячої прокатування гільз у стик можуть бути отримані труби $D/S < 6$ з якісною структурою металу готових труб, у тому числі на задніх кінцях, що відповідають пілігримовій голівці. Результати дослідження можуть бути використані для прокатування товстостінних труб з $D/S < 6$ широкого розмірного і марочного сортаменту на пілігримових агрегатах з мінімальною витратою металу на затравку і пільгерголовку.

Ключові слова: труба, пілігримовий стан, гільза, затравка, пільгерголовка, економія металу, структура металу, безперервною заготовка, ліквідація

Abstract. The methods of reducing metal waste during the production of especially thick-walled pipes with $D/S < 6$ on a 5-12" polygrim unit at the INTERPIPE NTRP are examined. from non-recast billets. Increases the depletion coefficient of the metal during the rolling of pipes on a plating mill due to the peculiarities of the technology, in order to increase the shape of the front (seed) and rear ends of the pipes, which create the saws makeup head. At this rate of metal, the hour of rolling pipes on a unit with a rolling mill is 50-100 kg per ton of pipes, lower on other units (with automatic, non-interruptible mills). Based on theoretical analysis and experimental data from the current industrial production, it was determined that the method of hot rolling of liners can be used to remove $D/S < 6$ pipes with a clear structure from the metal of finished pipes, including and at the rear ends, similar to the polygrimic head. The results of the investigation can be used for rolling thick-walled pipes with $D/S < 6$ of a wide range of sizes and grades on printing units with minimal waste of metal into the seed and the printing head.

Key words: pipe, pilgrim installation, metal saving, pilger hot rolling clad tube, modernization, descaling.

Вступ.

Зміна якості та розмірного сортаменту вихідної заготовки для виготовлення труб, підвищення вимог до якості готової продукції, екологічності та економії як енергоресурсів та металозберігання у процесі виготовлення труб потребує нового підходу до технологій, що наразі застосовані. Оскільки на даний час дуже важко відновити та зробити повне переоснащення обладнання на підприємствах на більш сучасне, то в короткостроковій перспективі та у скрутних обставинах необхідно знаходити нові шляхи підвищення якості продукції, економії енергоресурсів та матеріалів тощо.

Аналіз наявних даних та постановка проблеми.

Процес гарячого пілігримового прокатування труб характеризується значними деформаціями (з коефіцієнтом витяжки μ до 15), що забезпечує високий ступінь обробки литої структури вихідної заготовки. Цей процес забезпечує отримання товстостінних гарячекатаних труб значної довжини (до 15 м). Альтернативою йому є лише процес гарячого пресування. [1, 2]. Процес періодичної пілігримової прокатки також широко застосовується при виробництві холоднокатаних труб [3].

Одним із складних моментів є економія металу під час виробництва товстостінних труб. Процес пільгерпрокатування був відкритий в 1890 р., і на той час мав низку плюсів. Пілігримовий спосіб

виробництва труб має незаперечну перевагу насамперед за широтою сортаменту одержуваних труб, а також за діаметром і товщиною стінки, так і за марками сталі. [4, 5]. Водночас до недоліків цього способу виробництва труб можна віднести недостатню продуктивність пілігримових станів, підвищену різностінність готових труб, збільшений витратний коефіцієнт металу під час прокатування тонкостінних труб [2, 6, 7].

Особливу актуальність проблема модернізації технологічного процесу набула при переході на безперервнолітій заготовки (БЛЗ) малого діаметра (порівняно зі стаціонарними зливками, відлитими у виливниці), та підвищенні вимог до якості продукції. Виникла необхідність термінового перегляду підходу до технології отримання безшовних труб.

При отриманні труб на агрегаті з пілігримовими станами основні втрати металу пов'язані з кінцевим обрізом у затравку та пільгерголовку. Ці втрати металу становлять 6-10 % маси початкової заготовки, причому частка витрат у затравку становить 25-27 %, а в пільгерголовку – 83-85 %. Таким чином основна частка втрат металу на пілігримовому стані пов'язана з обрізом пільгерголовки, яка є неминучою при цьому способі деформації.

При використанні в якості вихідної заготовки злитків стаціонарної розливки в виливниці проблема значних втрат металу в пільгерголовку не була

актуальною, оскільки усадочна дефектна частина злитка розміщувалася в пильгерголовці, що відрізається. У той самий час під час використання в якості вихідної заготовки катаного і ковального металу ці проблеми мали місце, проте більшість труб прокочувалося з злитків стаціонарної розливки. Особливу актуальність проблема зниження втрат металу в пильгерголовку отримала у зв'язку з переходом спочатку на квадратну, а згодом на круглу БЛЗ.

В Україні у зв'язку з пуском в експлуатацію в 2012 році Інтерпайп Сталь та всі трубопрокатні цехи компанії Інтерпайп переведені на одержання труб з круглої БЛЗ. Ця подія дала змогу істотно поліпшити екологічну ситуацію, а також забезпечило виробництво труб на всіх агрегатах компанії Інтерпайп із круглої БЛЗ діаметром до 500 мм із вуглецевих та низьколегованих марок сталі, що використовується як для виробництва гарячекатаних труб, так і коліс та осей залізничного транспорту.

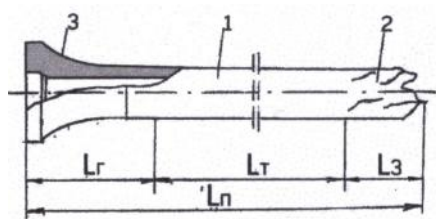
БЛЗ круглого поперечного перерізу має значно кращу якість порівняно зі злитком, відлитим у виливниці, завдяки зниженню ліквації хімічних елементів і зниженню нерівномірності механічних властивостей по довжині заготовки. У той самий час особливістю круглої БЛЗ є наявність осьової рихлості, що пов'язано з умовами формування структури металу в круглому кристалізаторі під час безперервної розливки [6, 8].

На сьогодні технологія виробництва труб діаметром 168-426 мм на пілігримовому агрегаті 5-12" НТЗ здійснюється з круглої БЛЗ діаметром 380-470 мм, виробленої на Інтерпайп Сталь за такою технологією. нагрівання в кільцевій печі до температури гарячої деформації, видалення окалини, заготовки прошиваються в стакані на горизонтальному гідравлічному пресі зусиллям 20 МН, а

потім, після підігріву в кільцевій печі, стакани розкатуються на косовалковому стані-елонгаторі в гільзи з прошивкою денця. Потім гільзи передаються на ділянку позастанового завантаження, де здійснюється видувка окалини з них і зарядка дорен. Гільза з дорном передаються на один із двох пілігримових станів, де за допомогою подавального апарату розкатують гільзу на дорні профільними валками в чорнову трубу довжиною 12-36 м. За пілігримовою кліттю розкат розділяють на мірні частини і відрізають передній кінець (затравку) і задній кінець (пильгерголовку). Після підігріву в печі з пересувними балками труби калібруються за зовнішнім діаметром на одному з двох калібрувальних станів. Після охолодження труби проходять правку на одному з двох правильних станів і надходять на ділянку обробки гладких труб або на обсадну ділянку.

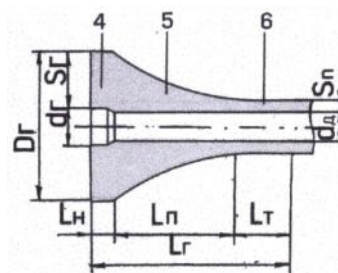
При отриманні широкого сортаменту труб за товщиною стінки коефіцієнти витяжки на пілігримовому стані змінюються в широких межах $\mu_{\Sigma}=2.8-15.0$. Під час прокатування передніх (затравочних) кінців труб за відсутності «жорсткого кінця» зі збільшенням μ_{Σ} збільшується обріз затравочних кінців. Тому найбільший резерв зниження обрізу передніх кінців має місце під час виготовлення тонкостінних і особливо тонкостінних труб [9].

Шляхи зниження обрізу затравочних кінців труб розглянуті в роботах [9, 10]. Отриманий на пілігримовому стані з гільзи розкат складається з основної частини 1, довжина якої L_T , є сумою мірних (кратних) частин, затравочного кінця 2, довжиною L_3 ; і пілігримової головки 3, довжиною L_r (рис. 1, а). Пілігримова головка складається з недокату 4, профільної частини 5 і ділянки труби 6 (рис. 1, б)



а

Рисунок 1. – Розкат на пильгерстані (а) і складові частини пильгерголовки (б): 1 – основна частина (придатна труба), 2 – затравка, 3 – пильгерголовка, 4 – недокат гільзи, 5 – профільна частина, 6 – ділянка труби



б

Насьогодні одним з ефективних методів зниження витрат металу в пильгерголовку є прокатування гільз у стик (рис. 2) [11].

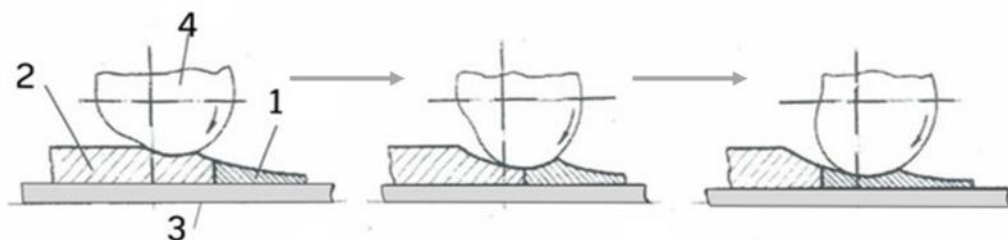


Рисунок 2 – Послідовність розкачування стику гільз: 1 – попередня гільза, 2 – наступна гільза, 3 – дорн, 4 – валок

Метод прокатування гільз у стик полягає в послідовній стиковці на дорні недокатаної гільзи і наступної гільзи. Після деформації труби на дорні залишається недокатаним задній кінець гільзи. Потім дорн витягують з розкату і подають наступну гільзу на новому дорні, яку стикують з торцем попередньої гільзи, з подальшим розкатуванням пілігримової головки. При цьому пілігримова головка повністю розкатується, а задній кінець труби обрізається на довжині 60-80 мм.

Після закінчення прокатування першої труби піднімають верхній валок, витягають і замінюють дорн. Трубу при цьому не відводять рольгангом, а залишають у валках, а в приймальний жолоб пільгерстана подають гільзу для прокатування іншої труби, потім дорн вводять в гільзу, а його передній кінець – в першу трубу (при позастановій зарядці на пільгерстан подають гільзу разом з дорном). При цьому відбувається стикування переднього торця гільзи з заднім торцем першої труби.

Важливою особливістю методу прокатки гільз у стик є той факт, що забезпечується бездефектна прокатка передніх і задніх кінців гільз, що стикуються, досягається мінімальна обріз кінців труб (~50-80 мм). При цьому передній кінець першої гільзи в партії (плавці) прокатується за децю інших умов (повної відсутності «жорсткого кінця»), а розкату заднього кінця останньої гільзи в партії здійснюють методом розкату на вільній ділянці дорна. Отримання необхідних механічних властивостей готових труб, що прокатується з БЛЗ, залежить від ступеня проробки литої структури вихідної заготовки, що характеризується сумар-

Таблиця 1 – Дефекти структури БЛЗ

	Дефекти макроструктури, бал					
	Осьова пористість	Осьова ліквация	Тріщини осьової зони	Ліквацийні смужки й тріщини перерізом	Крайова точкова неоднорідність	Хімічна неоднорідність (світла смуга)
Середній показник по 4 заготовках	2,12	1,75	0,375	0	0	0
Норма згідно вимог ТУ У 27.1-05757883-212:2011	2,0	2,0	1,0	1,0	1,0	1,0

ною витяжкою насамперед на пілігримовому стані [7]. Під час прокатки тонкостінних труб ($D/S=12,5-40$) на пілігримовому стані з коефіцієнтами витяжки $\mu=9-15$, як зазначалося вище, забезпечується достатнє опрацювання вихідної литої заготовки (злитків і БЛЗ).

Водночас при отриманні товстостінних труб ($D/S=6,0-12,5$) і особливо товстостінних труб ($D/S<6$) значення сумарних витяжок становлять 2,5-12, що зумовлює в окремих випадках проведення додаткових досліджень якості структури і властивостей готового прокату через недостатнє опрацювання вихідної литої заготовки.

На підставі проведеного аналізу відомих методів метою роботи було експериментальне дослідження зменшення втрат металу на пілігримовому стані в затравку і пільгерголовку для здійснення прокатки труб з $D/S<6$ способом прокатки гільзи у стик із забезпеченням отримання якісної металопродукції.

Методика дослідження

При проведенні дослідної прокатки труб $D \times S=203 \times 45$ мм в якості вихідного матеріалу використовувалася БЛЗ діаметром 385 мм зі сталі 45 виробництва Інтерпайп Сталь, яка була виплавлена у дуговій електросталеплавильній печі і розлита на машині безперервного лиття заготовки. Технологія прокатки відбувалася за вищезначеною схемою.

Аналіз отриманих результатів

Згідно ТУ У 27.1-05757883-212:2011 допустимі дефекти макроструктури не повинні перевищувати значень, зазначених в таблиці 1.

Досліджували макроструктуру вихідної БЛЗ на поперечних темплетях від чотирьох заготовок однієї плавки, середні показники наведено в таблиці 1. Дослідження макроструктури БЛЗ виявило структурні зони, що відрізняються різним ступенем розвитку, протяжністю, а також формою і розмірами кристалів. Структура БЛЗ відрізняється неоднорідністю, що властива цьому виду заготовок. Відзначається відсутність усадочної раковини, розшарування, заворотів корок, газових бульбашок і тріщин, сторонніх неметалевих і шлако-

вих включень. Макроструктура БЛЗ на поперечних зразках задовольняє вимогам вищезгаданого ТУ (рис. 3).

Оскільки підвищення осьової пористості окремих заготовок може призводити до збільшення плен на внутрішній поверхні готових труб, тому постійне підвищення якості БЛЗ і забезпечення її стабільно високого рівня є найважливішим фактором забезпечення необхідної якості готової продукції [12].

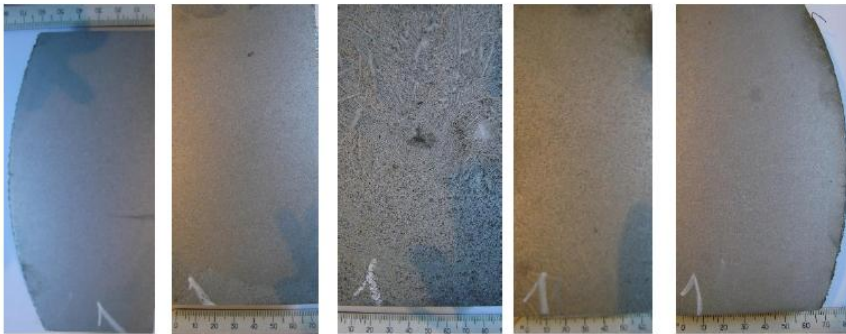


Рисунок 3. – Макроструктура темплету БЛЗ № 1

Особливо товстостінні труби з $D/S < 6$ застосовуються в машинобудуванні в якості порожнистих заготовок для деталей різного обладнання [13]. Виробництво труб для машинобудування здійснюється по ДСТУ 8941:2019, ДСТУ EN 10297-1:2022, ДСТУ 8938:2019 і технічних специфікацій замовників. Як правило, такі труби, які використовуються в машинобудуванні, піддаються механічній обробці з зовнішньої і внутрішньої поверхні.

Відомо, що для глибокого опрацювання структури литого металу в тому числі і БЛЗ найбільш ефективний пілігримовий спосіб, з його значними сумарними деформаціями при прокатуванні тонкостінних труб ($D/S = 12,5-40$), що досягають значень 36-40. При одержанні товстостінних ($D/S = 6-12,5$) і особливо товстостінних труб ($D/S < 6$) питання

отримання якісних труб з недеформованої БЛЗ круглого поперечного перерізу вивчені недостатньо [12].

В цій роботі досліджено якість труб розміром $D \times S = 203 \times 45$ мм зі сталі 45, на ТПА 5-12" за технологією Кальмеса, при якій гільзу отримують послідовно на горизонтальному прошивному пресі і розкатуванні стакану на елонгаторі з прошивкою денця.

Для прокатування труб розміром $D \times S = 203 \times 45$ мм на ТПА 5-12" спеціалістами підприємства була розроблена технологія отримання труб з БЛЗ $\varnothing 385$ мм. Схема та основні характеристики наведено у таблиці 2. Сумарний коефіцієнт витяжки при прокатуванні склав $\mu = \mu_n \times \mu_e \times \mu_{п.с} = 5.12$.

Таблиця 2 – Технологія отримання труб $D \times S = 203 \times 45$ мм з БЛЗ $\varnothing 385$ мм.

Етап технологічного ланцюжка	Характеристики, де μ – коефіцієнт витяжки
1. Прошивка на пресі прошивним пуансоном	\varnothing головки 160 мм Розміри стакану: $D_c = 390$ мм, $S_c = 115$ мм, коефіцієнт витяжки $\mu_n = 1.17$
2. Прокатування на елонгаторі	Оправка $\varnothing 127,5$ мм, $\mu_e = 1.6$. Розміри гільзи $D_g = 310$ мм, $S_g = 94$ мм
3. Прокатування на пілгерстані	$\mu_{п.с} = 2.74$ Подача $m = 46,4$ мм

В процесі деформації БЛЗ на прошивному пресі зусиллям різностінність стакану на його передньому кінці склала 10 мм, а у самого денця – 37 мм (рис. 4). Підвищена різностінність стакану відноситься до дефектів прокатного походження і на наступних етапах деформації вона трансформу-

ється в підвищену різностінність гільз і труб, збільшуючи їх відбраковування.

Основними причинами підвищеної різностінності стаканів на пресі є наступні: відсутність співвідності прошивного пуансона щодо осі матриці; наявність зазору між заготовкою і матрицею; знос направляючої втулки прошивного пуансона; недо-

статне або нерівномірне нагрівання металу; анізотропія властивостей і осьова ліквіація БЛЗ. Проведено аналіз зовнішньої та внутрішньої поверхні стакану (рис. 4).

Встановлено, що на зовнішній поверхні видно сліди хитання кристалізатора МБЛЗ; на поверхні

дна стакану є воронкоподібне поглиблення (утяжина); на внутрішній поверхні стакану є поздовжні риски, що переходять по дну стакану в продіри, що є наслідком зносу головки прошивного пуансона преса; біля дна стакану в його денці є грубі раковини.

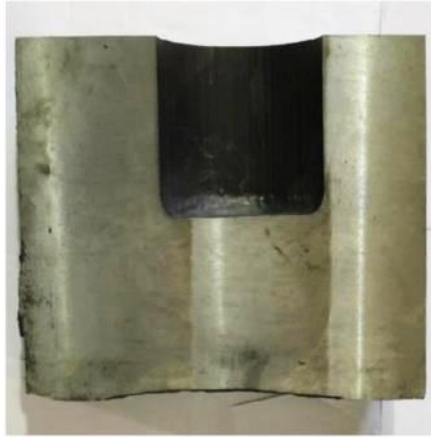


Рисунок 4. – Поздовжній переріз стакану в районі денця при прошивці БЛЗ на горизонтальному пресі 20 МН

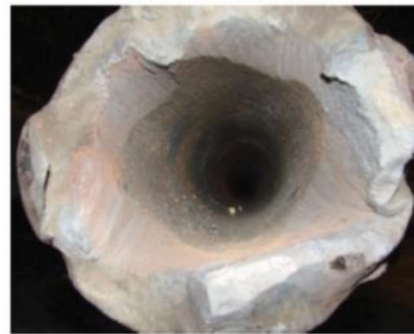
По довжині стакану структура металу більш однорідна. При цьому по зовнішньому контуру структура металу більш однорідна, ніж по внутрішньому контуру, що пояснюється різницею в ступені деформації при прошивці стакану на пресі. На поперечних темплетах стакану відзначається відмінність структури і величини зерна по контуру. Після розкочування стакану на елонгаторі з прошивкою денця різностінність гільз знизилася майже в 3 рази. Відзначаються відмінності в структурі зовнішнього і внутрішнього контурів гільзи. Внутрішні шари виглядають як би «шаруватим пирогом», при цьому шари щільно приляга-

ють один до одного. При косовалковій розкатуванні на елонгаторі в більшості випадків відбувається заварювання продірів і інших дефектів металу. Пороки поверхні гільз перетворюються на трубах в зовнішні і внутрішні плени, що веде до додаткових витрат на ремонт і збільшення обрізу труб.

Прокатку гільз здійснювали на пільгерстані методом у стик без утворювання пільгерголівки за рахунок її повного розкочування. Вид заднього і переднього кінців прокатаних труб наведені на рисунку 5, а на рисунку 6 – темплети переднього і заднього кінців труби.

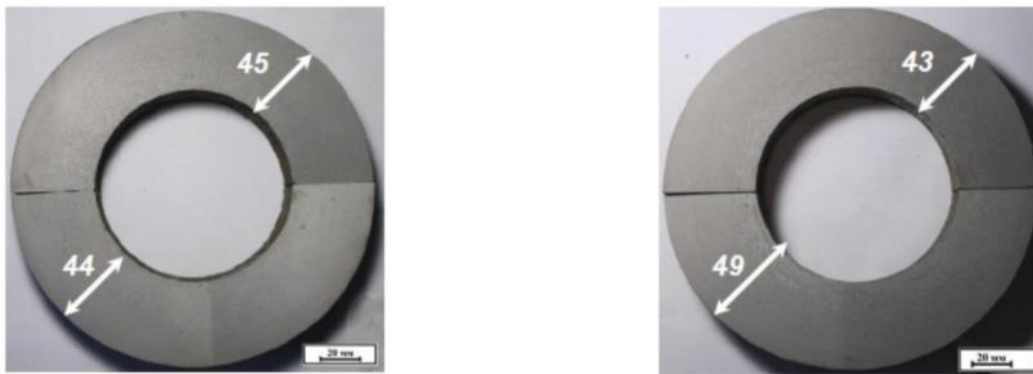


а



б

Рисунок 5. – Труба $D \times S = 203 \times 45$ мм після прокатування на пілігримовому стані: а – задній кінець, б – передній кінець



а б
Рисунок 6. – Зовнішній вид темплетів труби $D \times S = 203 \times 45$ мм: а – передній кінець, б – задній кінець

Одним з методів випробувань, пред'явлених до труб-заготовок для подальшої механічної обробки, є контроль макроструктури. На вимогу споживача гарячодіформовані труби з товщиною стінки більше 12 мм перевіряють на макроструктуру. При цьому не повинні бути виявлені сліди усадкової раковини, порожнечі, тріщини, бульбашки та інші вади, видимі без спеціальних приладів. Макроструктуру металу контролювали протравленням спеціально підготовлених зразків в розчині кислот. Оцінку макротемплетів і зламів проводили оглядом неозброєним оком. Для уточнення класифікації дефектів допускається застосувати двох-чотириохразове збільшення (згідно ДСТУ 8975:2019).

В результаті досліджень встановлено, що якість вихідної БЛЗ у забезпечує отримання труб розміром 203×45 мм ($D/S < 6$) зі сталі 45 з задовільною якістю задніх і передніх кінців труб під час прокатки у стик без пільгерголівки, що знижує витратний коефіцієнт металу.

У макроструктурі переднього і заднього кінців труби відзначаються слабо виражені дві області. У структурі першої з них, ширина якої становить до 15 мм, є ліквіація – темні тонкі прошарки розміром 2...3 мм. Ліквіація характеризується підвищеним вмістом перліту і неметалевих включень, які під впливом навантажень можуть сприяти появі розшарувань і тріщин, що знижують механічні властивості труб. Однак у трубах, отриманих зі всіх заготовок (табл. 1) критичних дефектів не виявлено.

Рекомендації щодо вдосконалення технології отримання труб з $D/S < 6$ на ТПА 5-12".

У зв'язку з підвищеною різностінністю стаканів на пресі при отриманні труб малого діаметру з товщиною стінки 45 мм і більше і, як наслідок, підвищеною різностінністю гільз і готових труб за доцільне є зміна технології в результаті переходу на пряму прошивку гільз для труб даного сортаменту, для чого необхідно здійснювати прискорену подачу заготовки від нагрівальної печі до стану-елонгатора, на якому встановити центровачі стрижня оправки і гільзи, а також забезпечити співвісність осі стану і осі прошивки.

При прокатуванні гільз на пільгерстані економія металу за рахунок повного розкочування пільгерголівки складе 152,9 кг (без урахування обрізу заднього кінця труби). Крім того, прокатка гільз у стик збільшує корисну довжину труби за рахунок зменшення затравочного кінця.

Для підвищення точності труб на ТПА 5-12" одержуваних з гільз за схемою Кальмеса (прес-елонгатор) запропоновано кілька нових технологічних рішень. Перша технологія передбачає на прошивному пресі зміну калібрування робочої поверхні матриці та зменшення глибини прошивання отвору з подальшим залишковим прошиванням денця на косовалковому стані-елонгаторі [14]. Технологія покращує центрування заготовки в матриці преса та знижує осьове зусилля на прошивний пуансон у кінці процесу. Друга технологія передбачає формування конічної поверхні заготовки біля денця в процесі прошивання на пресі за рахунок зміни калібрування робочої поверхні матриці з подальшим завданням стакану у валки стану елонгатора збоку денця стакану [15]. Технологія знижує різностінність переднього кінця гільзи за рахунок поліпшення умови його розкати валками на оправці. Третя технологія передбачає наскрізну прошивку заготовки на прошивному пресі (без денця). Для здійснення наскрізної прошивки порожнистої заготовки на пресі знімають підпір на задній торець заготовки, наприклад, переміщенням опорного пуансона в напрямі прошивки і прошивають денце прошивним пуансоном [16]. Нова технологія дає змогу оперативно контролювати й усувати підвищену різностінність порожнистої заготовки на пресі, що має найбільше значення біля її заднього кінця.

Висновки:

Підвищений витратний коефіцієнт металу під час прокатки труб на пілігримовому стані зумовлений особливостями технології, що призводить до збільшення обрізу передніх (затравочних) і задніх кінців труб, які утворюють пілігримову голівку. При цьому витрата металу під час прокатки труб на агрегаті з пілігримовим станом на 50-100 кг на тонну труб вища, ніж на інших агрегатах (з автоматичним, безперервним та ін. станами).

Виконані дослідження на ТПА 5-12" НТЗ деформованості структури БЛЗ, що використовується під час прокатки труб $D \times S = 203 \times 45$ мм з $D/S < 6$, і встановлено, що за сумарної витяжки 5,12, розкати передні і задні кінці труб мають задовільну якість.

Використання методу прокатки гільзи у стик для труб $D \times S = 203 \times 45$ мм (сталь 45) з БЛЗ діаметром 385 мм забезпечує зниження маси обрізу на 152,9 кг за рахунок повного розкачування пілігрової головки (без урахування необхідного додаткового обрізу задніх кінців труб довжиною 50 - 80 мм).

Перелік посилань

1. Крупман Ю. Г., Ляховецкий Л. С., Семенов О. А. Современное состояние мирового производства труб. Москва. 1992. 353 с.
2. Stiefel R., Pugh G. The Manufacture of Seamless Tubes. *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers.* – 2023. С. 49-50. DOI: 10.1115/1.4058736
3. Cold forming for high-quality seamless tubes. URL: <https://www.sms-group.com/plants/cold-pilger-mill> (дата звернення 29.04.2024)
4. Козловский А. И., Балакин В. Ф., Угрюмов Ю. Д. Состояние и перспективы развития процесса горячей пилигровой прокатки труб. *Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации.* – 2012. № 7. С. 82-91.
5. Stasevsky. S. L., Balakin. V. F., Ugryumov. Y. D. Проблемы свободной раскатки пильгерголки и пути их решения. *Збірник наукових праць Дніпровського державного технічного університету (технічні науки).* – 2020. С. 8-13.
6. Li R., Jin P., Wang W., Zhang Ch., Du X., Huang J. (2023). Inner Surface Morphology and Roughness Evolution of Pilgering Thick-Walled Tubes. *Materials.* – 2023. № 16. С. 7618. DOI: 10.3390/ma16247618
7. Chung S.-H., Jeong S.W., Chung W., Joun M. S. Realistic finite element analysis model of the pilgering process to deal with initial tube thickness nonuniformity. *Journal of Manufacturing Processes.* – 2023. № 95. С. 217-228. DOI: 10.1016/j.jmapro.2023.04.015
8. Генкин. В. Я., Есаулов А. Т., Староселецкий М. И., Пикус М. И., Журавлев В. А. Непрерывнолитые круглые заготовки. Москва. 1984. 143 с.
9. Чернявский А. А., Березовский В. В., Угрюмов Ю. Д. Экономия металла при производстве труб нефтяного сортамента. Москва. 1987. 304 с
10. Стасевский, С. Л., Угрюмов, Ю. Д., Гармашов, Д. Ю., Ксёэнз, А. А. Пути уменьшения технологической обрезки на пилигровом стане. *Вісник НТУ «ХПІ».* – 2013. №43(1016). с. 211-220
11. Балакин В., Угрюмов Ю., Угрюмов Д. Пути снижения массы пильгерголки при горячей прокатке труб. *Теория и практика металлургии.* – 2012. № 1-2. С.32-36
12. Matyko O., Fartushnyi R., Mul'chin, V., & Romantsev, B.. (2009). Piercing of continuous-cast alloy-steel blanks on a pipe-rolling system with a pilger mill. *Steel in Translation.* № 39. С. 161-163. DOI: 10.3103/S096709120902017X.
13. Гуляев Ю. Г., Друян В. М. Стальные трубы. Изготовление, применение, сортамент: справочник. Днепропетровск. 2002. 350 с.
14. Спосіб отримання гільз: пат. 94018 Україна. заявл. 12.05.2014. опубл. 27.10.2014. Бюл. №20
15. Спосіб отримання гільз: пат. 108378 Україна., заявл. 05.02.2016. видано 11.07.2016. Бюл. №13
16. Спосіб прошивки заготовки на горизонтальному гідравлічному пресі: пат. 99774 Україна. заявл. 22.12.2014. видано 25.06.2015. Бюл. №12

References

1. Krupman Yu. G., Lyakhovetsky L. S., Semenov O. A. Current state of world pipe production. Moscow. 1992. 353 p.
2. Stiefel R., Pugh G. The Manufacture of Seamless Tubes. *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers.* – 2023. P. 49-50. DOI: 10.1115/1.4058736
3. Cold forming for high-quality seamless tubes. URL: <https://www.sms-group.com/plants/cold-pilger-mill> (production date 04/29/2024)
4. Kozlovsky A.I., Balakin V.F., Ugryumov Yu.D. State and prospects for the development of the process of hot pilgrim rolling of pipes. *Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information.* – 2012. Vol. 7. P. 82-91.
5. Stasevsky. S. L., Balakin. V. F., Ugryumov. Y. D. Problems of free rolling of the pilger head and ways to solve them. *Collection of scientific works of the Dnipro State Technical University (technical sciences).* – 2020. P. 8-13.
6. Li R., Jin P., Wang W., Zhang Ch., Du X., Huang J. (2023). Inner Surface Morphology and Roughness Evolution of Pilgering Thick-Walled Tubes. *Materials.* – 2023. Vol. 16. P. 7618. DOI: 10.3390/ma16247618
7. Chung S.-H., Jeong S.W., Chung W., Joun M. S. Realistic finite element analysis model of the pilgering process to deal with initial tube thickness nonuniformity. *Journal of Manufacturing Processes.* – 2023. Vol. 95. P. 217-228. DOI: 10.1016/j.jmapro.2023.04.015
8. Genkin. V. Ya., Esaulov A. T., Staroseletsky M. I., Pikus M. I., Zhuravlev V. A. Continuously cast round billets. Moscow. 1984. 143 p.
9. Chernyavsky A. A., Berezovsky V. V., Ugryumov Yu. D. Metal saving in the production of oil pipes. Moscow. 1987. 304 p.
10. Stasevsky, S. L., Ugryumov, Yu. D., Garmashov, D. Yu., Ksenz, A. A. Ways to reduce technological trim on a pilgrimage camp. *Newsletter of NTU "KhPI".* – 2013. Vol. 43(1016). With. 211-220
11. Balakin V., Ugryumov Yu., Ugryumov D. Ways to reduce the mass of the pilger head during hot rolling of pipes. *Theory and practice of metallurgy.* – 2012. Vol. 1-2. P.32-36
12. Matyko O., Fartushnyi R., Mul'chin, V., & Romantsev, B.. (2009). Piercing of continuous-cast alloy-steel blanks on a pipe-rolling system with a pilger mill. *Steel in Translation.* Vol. 39. P. 161-163. DOI: 10.3103/S096709120902017X.
13. Gulyaev Yu. G., Druyan V. M. Steel pipes. Production, application, assortment: reference book. Dnepropetrovsk. 2002. 350 p.
14. Method for removing cartridges: Pat. 94018 Ukraine. appl. 05/12/2014. publ. 10/27/2014. Bull. No. 20
15. Method for removing cartridges: Pat. 108378 Ukraine. appl. 02/05/2016. seen 07/11/2016. Bull. No. 13
16. Method of piercing a workpiece on a horizontal hydraulic press: Pat. 99774 Ukraine. appl. 12/22/2014. seen 06/25/2015. Bull. No. 12