

DOI: 10.34185/1991-7848.2025.01.08

УДК 621.774.3

В.Д. Добряк, Ю.Д. Угрюмов, С.Л. Стасевський, І.А. Мазур, Д.Ю. Угрюмов

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТАЛОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОКАТКИ ТРУБ НА ПІЛІГРИМОВОМУ СТАНІ

Анотація. Розглянуті особливості і перспективи розвитку процесу розкатки пілігримової головки на вільній ділянці дорна. Основною проблемою цього процесу є зміщення ділянки по дорну в напрямку обертання валків пілігримового стану. На основі теорії пружно-пластичного удару пілігримової головки і валків стану розраховані після ударні швидкості і переміщення труб для реальних умов пілігримової прокатки. Розглянуті два способи зменшення переміщення пілігримової головки при її взаємодії з валками: зниження кутової швидкості валків при розкатці пілігримової головки та застосування гальмівних колодок, які створюють задній натяг труби.

Ключові слова: пілігримовий стан, труба, гільза, дорн, пілігримова головка, валок пілігримового стану, форголлер, подавальний апарат, коефіцієнт витрати метала, пружно-пластичний удар.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Процесу гарячої пілігримової прокатки труб характерно підвищений витратний коефіцієнт метала (ВКМ) внаслідок наявності недокатаної задньої частини гільзи – пільгерголівки, яка йде у обрізь, та складає 4-7 % від маси вихідної заготовки.

Пошук шляхів зниження ваги пільгерголівки залишається однією з основних проблем удосконалення процесу гарячої пілігримової прокатки труб широкого розмірного і марочного сортаменту. Особливо актуальна ця проблема стала в зв'язку з переходом на безперервно литу заготовку круглого поперечного перерізу, котра дозволяє економити до 16% метала в порівнянні зі злитками стаціонарної розливки в виливниці.

Можливі способи зниження маси пільгерголівки при прокатці товстостінних і тонкостінних труб приведені в ряді робіт [1-4]. Мінімальне

зменшення маси пільгерголовки можливо за рахунок її повної розкатки на вільній ділянці дорна. Однак цей метод застосовується тільки для отримання товстостінних труб з відношенням $D/S = 6-12,5$. Можливості розкатки пільгерголовки на тонкостінних трубах обмежено граничною стійкістю заднього кінця труби під час вилучення дорна за допомогою шибєрного пристрою та подавального апарата. Повну розкатку пільгерголовки можливо здійснювати тільки на вільній ділянці дорна, що значно ускладнює цей процес.

Процесу розкатки пільгерголовки на вільній ділянці дорна присвячені роботи вчених Дніпропетровського металургійного інститута: О.П. Чекмарьова, В.М. Данченко, Е.Н. Потапкіна, а також спеціалістів Нижньодніпровського трубопрокатного заводу: А.А. Чернявського, В.Н. Умеренцева, В.В. Березовського та ін. В останні роки цей напрямок розвивався в Українському державному університеті науки і технологій під керівництвом В.Ф. Балакіна. Цей процес істотного зниження втрат металу в пільгерголовку має певні перспективи для розширення його використання.

Постановка задачі дослідження

На основі аналізу особливостей процесу розкатки пільгерголовки на вільній ділянці дорна необхідно запропонувати нові технологічні рішення для зменшення зміщення розкату по дорну в напрямку обертання валків особливо в перших циклах цього процесу коли практично відсутнє зчеплення розката з дорном.

Особливості процесу гарячої пілігримової прокатки труб

Технологія прокатки труб на пілігримовому стані полягає в наступному. Гільза з дорном подається на передню сторону стана, при цьому хвостовик дорна з'єднується з дорновим замком, який за допомогою ніпеля з'єднаний з плунжером форголлера подавального апарата. Прокатку труб в сталому режимі здійснюють з вибраною швидкістю обертання валків і максимальною величиною подачі, обмеженою для тонкостінних труб ($D/S = 12,5-40$) точністю труб, що прокатуються, а для товстостінних труб ($D/S = 6-12,5$) – навантаженням на кліть стана. Розкатку гільзи в трубу 1 на дорні 2 валками здійснюють з переднім підпором заднього торця гільзи зі сторони дорнового

кільця. На прикінці прокатки на задньому кінці гільзи утворюється недокат в вигляді пілігримової головки, що показано на рис. 1. Пілігерголівка 3 складається з двох основних частин: недокату довжиною l_n і діаметром рівним назовньому діаметру гільзи і змінної частини довжиною l_p , профіль якої відповідає розгортки бойка пілігримового валка з урахуванням випереження.

Передній підпор на задній торець гільзи зі сторони дорнового кільця 4 і дорнового замка 5, в якому закріплений хвостовик 6 дорна 2, здійснюється за рахунок стиснення повітря в повітряному циліндрі форголлера, плунжер якого через ніпель з'єднаний з дорновим замком 5 (рис. 1).

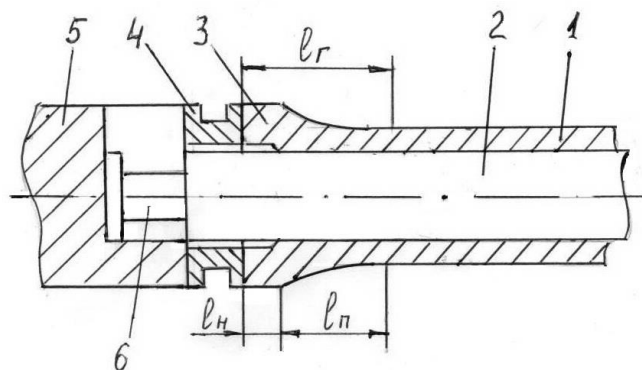


Рисунок 1 – Пілігримова голівка на задньому кінці гільзи після прокатки:
1-труба; 2-дорн; 3-пілігримова голівка; 4- дорнове кільце; 5-дорновий замок;
6-хвостовик дорна

Наявність пілігерголівки суттєво збільшує ВКМ. При цьому втрати металу в обрізь з видаленням пілігерголівки в залежності від сортаменту труб, що прокатуються складає 80-150 кг або 6-8 % від маси вихідної заготовки [5, 6].

Розглянемо більш докладно процес переходу до розкатки пілігерголівки на вільній ділянці дорна.

Вихідне положення пілігримових валків і подавального апарата перед початком розкатки пілігерголівки показано на рис. 2, а. Цей стан характеризується тим, що верхній валок 1 піднятий в верхнє положення, форголлер 5 ходом каретки (на рис. не показана) відведений від кліті так, що опущений шибер 2 входить в паз дорнового кільця 3. При цьому шпindel 4

форголлера 5 знаходиться в крайньому передньому положенні, в якому він опинився в момент закінчення прокатки гільзи в трубу 6.

Наступним етапом переходу до розкатки пільгерголовки 7 є витягування дорна 8 з прокатоної труби 6 за допомогою каретки, яка включається на хід назад, тобто від кліті (рис. 2, б). Величина цього ходу, позначена на рис. 2, б через L , приймається рівною довжині пільгерголовки 7, так як мається на увазі, що сумарна подача каретки для розкатки головки в трубу орієнтовно дорівнює довжині пільгерголовки. Шибєр 2 утримує прокату трубу 6 і дорнове кільце 3 від зміщення при витягуванні дорна з труби.

На заключному етапі переходу до розкатки пільгерголовки (рис. 2, в) оператор стана опускає верхній валок 1 в нижнє положення, яке валок займає при прокатці труби, підіймається шибєр 2 кліті в верхнє положення, звільнюючи дорнове кільце 3. Увімкненням подачі каретки вперед починається процес розкатки пільгерголовки 7 в трубу. Разом з кареткою до кліті рухається дорн з трубою, яка прокатується, та має на кінці пільгерголовку. Валки, які обертаються здійснюють обтискання головки і відкочування рухомих частин форголлера назад від кліті. В період холостого ходу валків повітряний циліндр форголлера посиляє розкату трубу з головою вперед до валків з одночасним обертанням її навколо осі на кут, пропорційний ходу рухомих частин. Гідроциліндр подачі каретки в період холостого ходу валків переміщує каретку з форголлером на величину подачі. Так, за декілька подач здійснюється розкатка пільгерголовки в трубу.

При сталому процесі прокатки труби рухомі частини форголлера сприймають удар при зустрічі гільзи з валками як одне ціле разом з гільзою, так як гільза, по-перше, з'єднана з дорном за рахунок обтискання в калібрі валків, а по-друге, вона через дорнове кільце притиснута до дорнової головки.

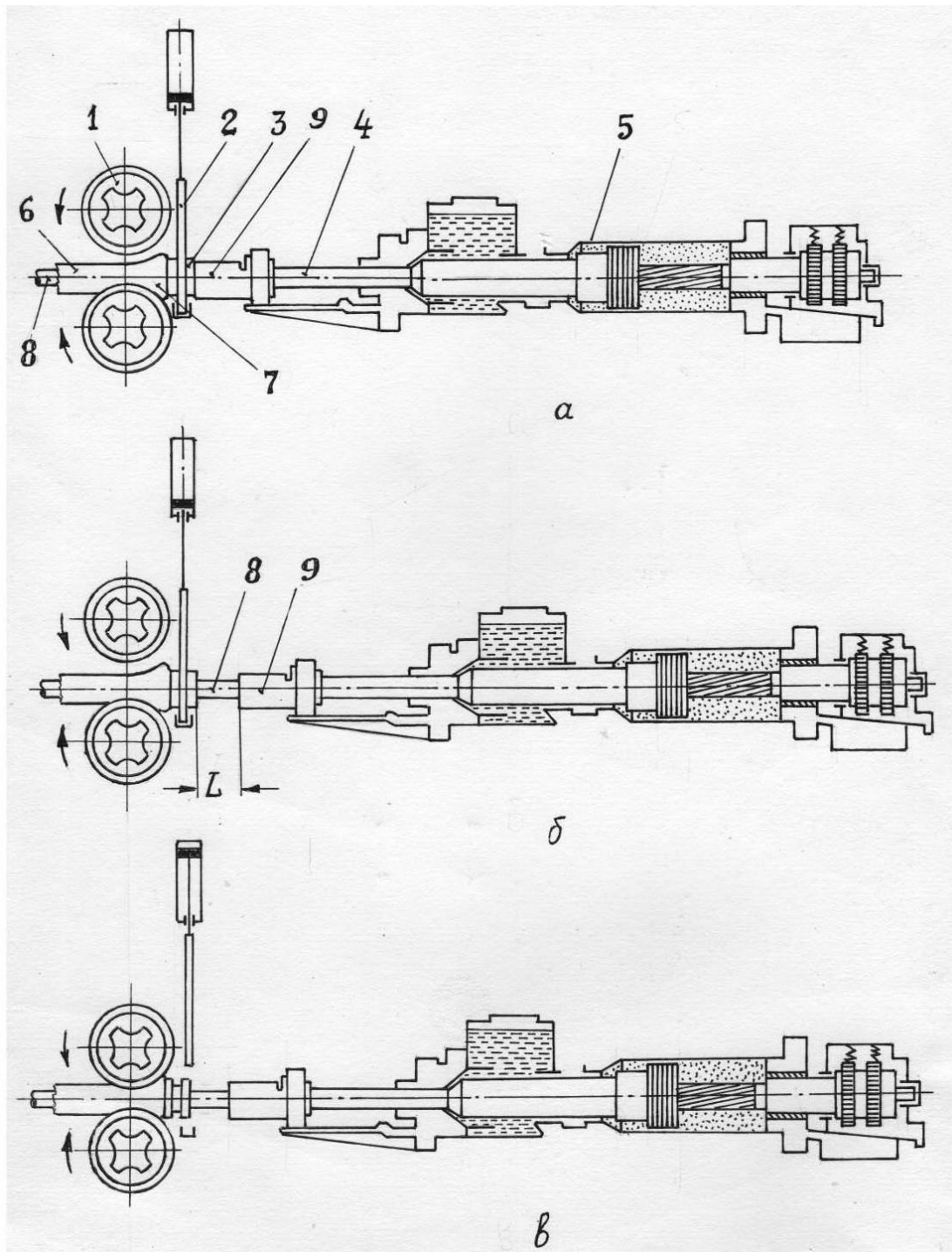


Рисунок 2 – Етапи (а, б,в) підготовки до переходу для розкатки пілігримової головки на вільній ділянці дорна

Проблеми та перспективи розвитку розклатки пільгерголовки

Метод розклатки пільгерголовки на вільній ділянці дорна використовують разом з методом прокатки гільз у стик в тих випадках, коли внаслідок порушення синхронізації роботи прошивного і пілігримового станів чергова гільза надходить з більш низькою температурою, що не дозволяє здійснити процес стикування двох гільз із-за можливого перевантаження стана. В цьому випадку розклатку пільгерголовки здійснюють на попередньо звільненому від розката дорні з подальшим остаточним вивільненням дорна з труби. Недоліком метода є зменшення зчеплення розката з дорном після попереднього вивільнення останнього, що при розклатці пільгерголовки призводить до значного зміщення заднього торця гільзи при перших ударах валків. Після входу в зону деформації заднього торця гільзи в валки починають надходити поперечні перерізи пільгерголовки зі змінною прощиною. При цьому при постійній величині подачі m об'єм подачі безперервно зменшується в зв'язку зі зменшенням площі вхідного в валки перетину метала. В результаті цього безперервно зменшується і величини відката із-за зменшення коефіцієнта витяжки μ_z що приводить до порушення синхронізації системи «валки – подавальний апарат».

При використуванні безперервно- і центробіжнолитих заготовок розклатка пільгерголовок на тонкостінних трубах, де можлива найбільша ефективність цієї технології, значно ускладняється проблемою зняття труби з дорна шибєрним пристроєм із-за зминання заднього кінця труби. Тому технологія повної розклатки пільгерголовки при прокатці тонкостінних труб не знайшла практичного застосування.

Величина зміщення заднього торця розкату по дорну за один цикл прокатки (один оберт валків) залежить в основному від величини об'єму метала який задається в валки, коефіцієнта витяжки, зусилля протитиску зі сторони повітряного циліндра і умов тертя між розкатом і дорном, що підтверджується лабораторними дослідженнями в роботі [7].

В результаті пластичної течії метала по дорну відбувається зміщення заднього торця розкат в напрямку обертання валків, що зменшує фактичну

величину подачі в черговому циклі прокатки. В загальному випадку це потребує корегування подачі з врахуванням вказаного зміщення.

Загальне зміщення метала відносно дорна $\sum C$ коливається в межах 50-200 мм. Суттєвий вплив на $\sum C$ оказують довжина пільгерголовки і сумарне витягування, причому останній фактор оказує більш сильніший вплив. Так, розкатка пільгерголовок товстостінних труб супроводжується незначним зміщенням $\sum C$. Тому розкатка пільгерголовок для цього сортаменту труб отримала більш широке застосування на практиці.

Серед проблем, які маютьсЯ при розкатці пільгерголовки можна виділити наступні:

- розкатка пільгерголовки на вільній ділянці дорна потребує його попереднього вилучення із розката на 1,2-1,5 м; при цьому порушується зчеплення розката з дорном, що несприятливо позначається на перших циклах розкатки пільгерголовки, що приводить до зміщення розката в напрямку дорнового замка під дією валків пілігримового стана. Це в свою чергу потребує більш точного визначення величини попереднього вилучення дорна з розката з врахуванням ширини шибера і зміщення метала в кожному циклі розката пільгерголовки;
- відсутня стабілізація дорнового кільця у дорнового замка при розкатці пільгерголовки.

Розкатка пільгерголовки на вільній ділянці дорна дозволяє зменшити масу пільгерголовки на 75 % та більше. Однак при цьому суттєво збільшується час прокатки труби (час «добивання» пільгерголовки складає 20-30% від загального часу прокатки товстостінної труби), а також ускладнюється робота вальцювальника стана і не виключена можливість аварії при неприпустимому порушенні синхронизації системи «валки – подавальний апарат».

Зі збільшенням діаметра труб, що прокатуються, збільшується маса пільгерголовок, що призводить до більш суттєвому зниженню ВКМ. Показник виходу годного (ВГ) характеризує ефективність використання метала в технологічному процесі. Розрахунки показали, що при існуючій технології прокатки з пільгерголовкою ВГ дорівнює 73-88%, а при розкатці пільгерголовки

на вільній ділянці дорна ВГ дорівнює 92-94%, що вище на 6-19%. Тому технологію прокатки без пільгерголовак слід вважати достатньо ефективною для більш широкого використання.

При розкатці пільгерголови на вільній ділянці дорна однією з проблем є зняття тонкостінної труби з дорну.

Якщо при товщині стінки труби після розкатки $S \geq 18$ мм зняття труби з дорна може бути здійснено за допомогою шибєрного пристрою, то при зменшенні товщини стінки труби тобто менше $S < 18$ мм, ця операція приводить до утворення «гармошки» на задньому кінці труби та росту ВКМ.

Тому необхідно для стінок з $S < 18$ мм передбачити при прокатці таких труб отримання потовщених задніх кінців зі стінкою 18 мм. Це забезпечить можливість зняття труби з дорна, но в той же час збільшить втрати металу в обрізь.

Для підвищення стабільності розкатки пільгерголови на вільній ділянці дорна за рахунок зменшення довжини L попереднього його вивільнення з розкату необхідно зберегти зчеплення розката з дорном перед розкаткою пільгерголови. Для цього відомо декілька технічних рішень (рис. 3). Одне з них (рис. 3, а) передбачає перестановку хвостовика дорна 2 в дорновій головці 3, при цьому хвостовик 5 розміщений в циліндричній розточці 4 дорнової головки 3, що забезпечує вивільнення ділянки дорна довжиною L разом з розкатом 1. При цьому операція перестановки дорна разом з розкатом здійснюється за допомогою спеціального крана (маніпулятора). Друге рішення (рис. 3, б) передбачає висування хвостовика дорна 2 з дорнової головки 3 за допомогою гідроприводу, поршень 4 якого є хвостовиком дорна. В результаті висування поршня 4 на відстань L вивільняється ділянка дорна між дорною головою 3 і розкатом 1.

Розглянуті рішення з одного боку зберігають зчеплення між розкатом і дорном після утворення пільгерголови, а з іншого – характеризується значним ускладненням конструкції обладнання та збільшенням маси рухомих частин.

Тому необхідний подальший пошук технічних рішень для усунення вказаних недоліків.

Вказане вище значне зміщення розкату по дорну при перших циклах прокатки (до 400 мм) обумовлено динамічним впливом на пільгерголовку зі сторони валків. Очевидно, що зниження впливу можливо за рахунок зниження кутової швидкості валків. Крім того може бути запропоновано створення заднього натягіння на трубу, яка знаходиться в жолобі вивідного столу пілігримового стану шляхом гальмівного впливу колодок, в першому циклі розкатки.

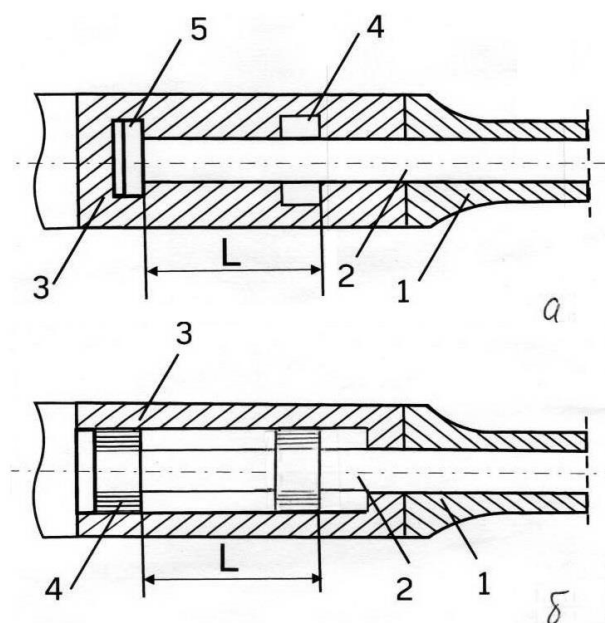


Рисунок 3 – Варіанти вивільнення дорна довжиною L для розкатки пілігримової головки: а) перестановкою хвостовика дорна в дорновій головці; б) висування дорна гідроприводом з дорнової головки

Таким чином, розкатка пільгерголовки на пілігримовому стані зустрічає значні складнощі, котрі пов'язані з її ударною взаємодією з валками стану і, як наслідок цього – зі значним переміщенням труби в напрямку подавального апарата.

Визначення зміщення розката по дорну в перших циклах розкатки пільгерголовки

Аналітичне визначення величини переміщення ускладняється тим, що міцність зчеплення труби з дорном не визначена ані теоретично ані експериментально. Тому в даній роботі прийнято припущення про повну

відсутність зчеплення труби з дорном при розкатці пільгерголовки, а відповідно, і з рухомими частинами подавального апарата, окрім сил тертя.

При розкатці пільгерголовки зчеплення між дорном і трубою порушено витягуванням дорна з труби. Яка частка зчеплення зберіглась при цьому – невідомо. Тому будемо розглядати два варіанта ударної взаємодії валків з пільгерголовкою.

Перший варіант: сили зчеплення дорна і труби після витягування дорна на величину L зберіглись, тому удар сприймають рухомі частини з трубою як одне ціле.

Другий варіант: сили зчеплення дорна і труби повністю відсутні, тому удар сприймає тільки труба.

Примітка: під питомими силами зчеплення дорна і труби мається на увазі граничні дотичні напруження здвигу на контактній поверхні дорна і труби, які залежать від нормальних напружень викликаних обтисканням та температурними деформаціями.

Перший удар валків і пільгерголовки відбувається, як було сказано вище, за рахунок хода каретки вперед, а не за рахунок розгону повітряним циліндром форголлера рухомих частин. Швидкість хода каретки невелика (близько $0,2$ м/с), тому умовно будемо вважати, що перший удар валків о пільгерголовку відбувається при нульовій швидкості рухомих частин і пільгерголовки.

При розгляданні взаємодії гільзи і пілігримових валків як механічного удару двох тіл використовуються два рівняння, які відображають закон збереження кількості руху і закон збереження кінетичної енергії. Спільне рішення цих рівнянь дозволяє отримати формули для післяударних швидкостей мас які соударяються.

Для такого випадку в роботі [8] наведені формули для розрахунку післяударних швидкостей при абсолютно пружному ударі, при якому коефіцієнти відновлення по Ньютону [9] $k = 1$:

$$v_{1m}^{k=1} = \frac{2 \cdot M_{np}}{m + M_{np}} \cdot v_{om}^{np}; \quad (1)$$

та при абсолютно непружному ударі, при якому $k = 0$:

$$v_{1m}^{k=0} = \frac{M_{\text{пр}}}{m + M_{\text{пр}}} \cdot v_{\text{ом}}^{\text{пр}} \quad (2)$$

Тут $M_{\text{пр}}$ – маса двох валків які обертаються приведена в точці А зустрічі пільгримової головки з валками (рис. 4); m – маса рухомих частин, які приймають участь в процесі удару; $v_{\text{ом}}^{\text{пр}}$ – проекція тангенціальної швидкості точки А приведення маси валка на ось прокатки.

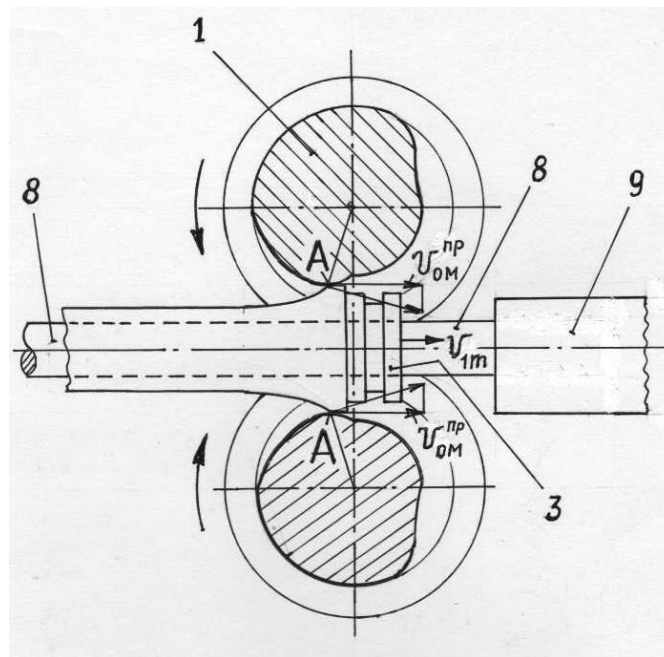


Рисунок 4 – Динамічна взаємодія валків з пільгримовою головою

Вважаємо, що дорнове кільце, яке контактує з торцем пільгерголівки, отримує в результаті удару таку ж швидкість, що і сама пільгерголівка.

Стальна гільза при температурі 1100–1150 °С, як відомо з [10], має не тільки пластичність, но і на 15-20% зберігає пружні властивості від холодного стану.

Отже, в даній взаємодії має місце так званий не цілком пружний удар, який характеризується коефіцієнтом відновлення в межах $0 < k < 1$, в даному випадку ближче до нуля. Теоретичне визначення коефіцієнта відновлення в даному випадку неможливо. Тому після ударну швидкість, яка враховує пружну складову, визначимо по вираженню:

$$v_{1m}^* = v_{1m}^{k=0} + 0,15 \cdot v_{1m}^{k=1}, \quad (3)$$

де $v_{1m}^{k=1}$ – післяударна швидкість рухомих частин форголлера при абсолютно пружному ударі; $v_{1m}^{k=0}$ – післяударна швидкість тих же частин при абсолютно непружному ударі.

Швидкості, розраховані по формулам (1), (2), (3) для двох варіантів ударної взаємодії пільгерголівки і пілігримових валків для п'яти типорозмірів труб, які прокатуються на пілігримовому стані 5÷12", представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Маси і швидкості при ударній взаємодії пільгерголівки з пілігримовими валками

Труба	$M_{пр},$ кг	$v_{ом}^{пр},$ м/с	$m, \text{ кг}$		$v_{1m}^{k=1}, \text{ м/с}$		$v_{1m}^{k=0}, \text{ м/с}$		$v_{1m}^*, \text{ м/с}$	
			I вар.	II вар.	I вар.	II вар.	I вар.	II вар.	I вар.	II вар.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
168×25	7638	1,65	7645	899	1,649	2,95	0,83	1,47	1,077	1,912
219×25	8398	1,67	8978	1549	1,614	2,82	0,81	1,40	1,052	1,823
273×30	9394	1,64	10077	2356	1,582	2,62	0,79	1,31	1,027	1,703
324×33	9902	1,46	11296	3373	1,364	2,18	0,68	1,09	0,885	1,417
377×20	10742	1,41	12698	4447	1,292	1,99	0,65	0,99	0,844	1,288

Слід звернути увагу на ту обставину, що розрахунок швидкостей по вказаним формулам виконаний при кутовій швидкості валків як при сталій прокатці труби.

Як видно з табл. 1 (графи 10, 11), післяударні швидкості рухомих частин, включаючи трубу, в 1,54÷1,78 рази менше, ніж післяударна швидкість труби, непов'язаної в одне ціле з дорном силами зчеплення.

Представляє практичний інтерес величина переміщення прокатаної труби при першому ударі валків по пільгерголівці при умові, що зчеплення між трубою і дорном порушено (варіант II). Після удару труба рухається по інерції з початковою швидкістю v_{1m}^* (табл. 1, графа 11). На трубу діє сила тертя в жолобі і на дорні від ваги труби. Напишемо рівняння руху труби під дією сил інерції і тертя:

$$-m \cdot \ddot{x} + P_{тр} = 0, \quad (4)$$

де $\ddot{x}$ – прискорення гальмування труби; $P_{\text{тр}}$ – сила тертя, яка визначається з вираження:

$$P_{\text{тр}} = m \cdot g \cdot f.$$

Тут g – прискорення сили тяжіння; f – коефіцієнт тертя.

Представимо прискорення гальмування труби в вигляді вираження:

$$\ddot{x} = v \cdot \frac{dv}{dx}.$$

Тоді рівняння (4) представимо так:

$$m \cdot v \cdot \frac{dv}{dx} = m \cdot g \cdot f, \quad (5)$$

де v – поточна швидкість труби.

Інтегрування формули (5) дає рівняння:

$$\frac{v^2}{2} + C_1 = g \cdot f \cdot x + C_2, \quad (6)$$

де C_1 та C_2 – постійні інтегрування.

При $x = 0$ $v = v_{1m}^*$, тоді рівняння (6) приймає вид:

$$\frac{(v_{1m}^*)^2}{2} + C_1 = C_2; \text{ звідкіля } C_2 \pm C_1 = \frac{(v_{1m}^*)^2}{2}. \quad (7)$$

При $v = 0$ $x = x_{\text{кон}}$, рівняння (6) приймає вид:

$$C_1 = g \cdot f \cdot x_{\text{кон}} + C_2; \text{ звідкіля } C_2 \mp C_1 = g \cdot f \cdot x_{\text{кон}}. \quad (8)$$

З рівності правих частин формул (7) та (8) отримаємо формулу для розрахунку величини переміщення труби при першому ударі валків по пільгерголовці:

$$x_{\text{кон}} = \frac{(v_{1m}^*)^2}{2 \cdot g \cdot f}. \quad (9)$$

Зазвичай в розрахунках, пов'язаних з переміщенням гарячого прокату по шершавій металевій поверхні, коефіцієнт тертя ковзання приймається рівним 0,3. В нашому випадку між дорном і пілігримовою головкою існує більш тісний

контакт з можливістю (ймовірністю) схоплювання гарячого металу с дорном. Тому коефіцієнт тертя f приймаємо не менше 0,4. Величина переміщення труби після першого удару валків по пільгерголівки, розрахована по формулі (9) при $f = 0,4$ і v_{1m}^* по II варіанту, представлена в табл. 2 (графа 5).

Таблиця 2

Переміщення труби від удару пілігримових валків при розкатці пільгерголівки

Труба	Частота обертання пілігримових валків, об/хв	$X_{\text{кон}}$, мм	Частота обертання пілігримових валків, об/хв	$X_{\text{кон}}$, мм
1	2	3	4	5
168×25	68	460	34	116
219×25	66	420	33	106
273×30	64	370	32	92
324×33	59	250	29,5	64
377×20	56	210	28	53

Отримані теоретичним шляхом значення переміщень труби від удару пілігримових валків при розкатці пільгерголівки цілком узгоджуються з практичними спостереженнями.

Зменшення переміщення труби може бути досягнуто зменшенням числа обертів пілігримових валків при розкатці пільгерголівки по відношенню до числа обертів при сталому процесі прокатки труби. Розрахунки показують, що зменшення кутової швидкості валків при розкатці пільгерголівки в 2 рази по відношенню до кутової швидкості при сталому процесі прокатки труби зменшує переміщення труби від удару пілігримовими валками в $3,96 \div 4,02$ рази (див. табл. 2, графи 3, 5).

Дорнове кільце після першого удару пілігримових валків по пільгерголівці зі швидкістю $v_{1m}^* = 1,912$ м/с (див. табл. 1, графа 11) ударяє в дорнову голівку. При цьому енергія удару складає для випадка прокатки труби діаметром $\varnothing 168 \times 25$:

$$E = \frac{m_k \cdot (v_{1m}^*)^2}{2} = \frac{120 \cdot 1,912^2}{2} \approx 219 \text{ Дж},$$

де $m_k = 120 \text{ Нс}^2/\text{м}$ – маса дорнового кільця.

Така енергія удару порівняна з енергією удару пневмо- або гідромолотів малої потужності (200 Дж) і може викликати деформацію зминання контактних поверхонь як дорнового кільця, так і дорнової головки. Окрім того, удар кільця по дорновій головці передається через шліцьове з'єднання шпинделя і дрилі на упорний підшипник дрилі, що сприяє прискореному зносу як шліцьового з'єднання так і упорного підшипника.

Другий і наступні удари пілгеримових валків по пільгерголовці не будуть сприйматися дорновим кільцем, так як в момент удару не буде контакту між пільгерголовкою і дорновим кільцем.

Зменшення переміщення труби в результаті удару валків по пільгерголовці може бути досягнуто гальмівними колодками, притиснутими до труби в двох діаметрально протилежних секторах з визначеною силою. Поставимо умову, що гальмівні сили не повинні викликати пластичні деформації стінки труби, інше кажучи – не повинні приводити до сплюснення труби. Розглянув схему вигину стінки труби при сплюснюванні отримаємо приблизне вираження для визначення радіальної сили для початку сплюснення труби:

$$P_{\text{сп}} = \frac{2 \cdot \sigma_s \cdot h^2}{d_{\text{нар}} + h} \cdot l, \quad (10)$$

де σ_s – межа текучості матеріала труби, в нашому випадку при статичному навантаженні; h – товщина стінки труби; $d_{\text{нар}}$ – зовнішній діаметр труби; l – довжина контакту гальмівної колодки з трубою.

З урахуванням сили гальмування труби гальмівними колодками рівняння руху труби (див. формулу (4)) записується так:

$$-m \cdot \ddot{x} + P_{\text{тр}} + 2 \cdot P_{\text{сп}} \cdot f = 0.$$

Рішення цього рівняння дає наступний результат:

$$x_{\text{кон}} = \frac{(v_{1m}^*)^2}{2 \cdot f \cdot \left(g + \frac{2 \cdot P_{\text{сп}}}{m} \right)}. \quad (11)$$

Знайдемо переміщення труби $x_{\text{кон}}$ для наступних вихідних даних: труба діаметром $\varnothing 168 \times 6$; матеріал труби - сталь 45; $T = 1150^\circ \text{C}$; $f = 0,4$; $m = 899 \text{ Нс}^2/\text{м}$; $v_{\text{lm}}^* = 1,912 \text{ м/с}$; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; $\sigma_s = 3 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$; $l = 0,5 \text{ м}$; $d_{\text{нар}} = 0,168 \text{ м}$; $h = 0,006 \text{ м}$.

Спочатку визначимо $P_{\text{сп}}$ по формулі (10):

$$P_{\text{сп}} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 10^7 \cdot 0,006^2}{0,168 + 0,006} \cdot 0,5 = 6207 \text{ Н}.$$

Потім по формулі (11) визначимо переміщення труби:

$$x_{\text{кон}} = \frac{1,912^2}{2 \cdot 0,4 \cdot \left(9,81 + \frac{2 \cdot 6207}{899} \right)} = 0,19 \text{ м}.$$

Порівнюючи отримане переміщення труби від удару пілігримових валків по пільгерголовці з даними табл. 2, приходимо до висновку, що зменшення кутової швидкості валків при розкатці пільгерголовки більш ефективно зменшує переміщення труби, чим прикладання до труби гальмівної дії колодок.

Висновки

1. Процес гарячої пілігримової прокатки труб характеризується наявністю недокатанного заднього кінця гільзи, який називається пільгерголовкою, яка видаляється в обрізь, що збільшує ВКМ.

2. Аналіз відомих рішень по зниженню втрат метала в пільгерголовку показав, що найбільш ефективним є метод розкатки пільгерголовки на вільній ділянці дорна, який в той же час має цілий ряд недоліків, що перешкоджають його більш широкому застосуванню. Одним з головних недоліків є значне зміщення розкату по дорну в перших циклах розкатки пільгерголовки внаслідок динамічної взаємодії з нею валків пілігримового стану.

3. На основі теорії пружно-пластичного удару пільгерголовки і валків пілігримового стану розраховані післяударні швидкості і переміщення труб для реальних умов прокатки на стані $5 \div 12$.

4. Розглянуто два способи зменшення переміщення труби при ударі пільгерголовки і валків: це зниження в 2 рази кутової швидкості валків у

порівнянні зі швидкістю сталого процесу прокатки та застосування гальмівних колодок, які діють на трубу з діаметрально протилежних сторін.

5. Розраховані теоретичним шляхом переміщення труби в наслідок удару пільгерголовки і валків оцінюються як завищені, так як не враховано вплив вертикальних складових сили удару на зміщення труби в районі пільгерголовки і дорна. Врахування цього впливу може стати предметом окремого дослідження.

6. Порівняння розрахованих переміщень труби від удару валків і пільгерголовки для двох способів їх зменшення показує, що більш ефективно зменшує переміщення труби зниження кутової швидкості валків, чим гальмування труби за допомогою колодок. Перший спосіб не пов'язаний з деформацією труби (змінанням) і не потребує матеріальних затрат, так як електрична схема привода валків пільгримового стана забезпечує регулювання швидкості прокатки в достатньо короткий проміжок часу і також відновлення швидкості. Разом з цим поєднання двох запропонованих способів може дати повне гальмування труби, що однак, потребує додаткових досліджень.

7. Якщо допустити деформацію вмінання гальмівних колодок в стінку труби (наприклад, на кінцевій ділянці) то шлях гальмування труби від ударів валків при розкатці пільгерголовки можна звести до мінімуму (до кількох мм).

ЛІТЕРАТУРА

1. Балакин В.Ф., Угрюмов Ю.Д., Угрюмов Д.Ю. Пути снижения массы пильгерголовки при горячей прокатке труб. Теория и практика металлургии. 2012. №1-2. С. 32-36.
2. Развитие методов снижения потерь металла в пилигримовую головку при горячей прокатке труб / В.Ф. Балакин, С.Л. Стасевский и др. Металлургическая и горнорудная промышленность. 2018. №2. С. 52-59.
3. Balakin V .F. Stasevsky S.L. Ugryumov Y.D. Problem of rolling the pilgrim head and their solution. Message 1. Modern engineering and innovative technologie. 2020. Issue 6. Part 1. P. 67–84. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2020-14-01-056>.
4. Balakin V .F. Stasevsky S.L. Ugryumov Y.D. Problem of rolling the pilgrim head and their solution. Message 2. ScientificWorld Journal. 2020. Issue 14. Part 1. P. 12–29. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2020-06-01-006>.
5. 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.

6. Павловский Б.Г., Стасевский С.Л., Угрюмов Ю.Д., Гринев А.Ф. Определение технологической обреза на пилигримовых станах и прогнозирование ее уменьшения. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2016. №3. С. 78-84.
7. Чернявский А.А., Березовский В.В., Угрюмов Ю.Д. Экономия металла при производстве труб нефтяного сортамента. М.: *Металлургия*, 1987. С. 304.
8. Пути снижения динамических нагрузок пилигримового стана при горячей прокатки труб / В.Ф. Балакин, В.Д. Добряк и др. *Черная металлургия : Бюллетень НТИ «Черметинформация»*. 2011. Вып. 6. С. 53-60.
9. Гарцман С.Д. Сильверстов И.Н., Карпухин И.И. Инженерный расчет коэффициента восстановления при ударе. *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. 2006. №6. С. 7-10
10. Клименко П.Л. Упрочнение стали и цветных металлов при холодной и горячей деформации. Днепропетровск: Пороги, 2011. С. 187.

REFERENCES

1. Balakin V.F., Ugryumov YU.D., Ugryumov D.YU. Puti snizheniya massy pil'gergolovki pri goryachej prokatke trub. *Teoriya i praktika metallurgii*. 2012. №1-2. S. 32-36.
2. Razvitie metodov snizheniya poter' metalla v piligrimovuyu golovku pri goryachej prokatke trub / V.F. Balakin, S.L. Stasevskij i dr. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. 2018. №2. S. 52-59.
3. Balakin V .F. Stasevsky S.L. Ugryumov Y.D. Problem of rolling the pilgrim head and their solution. *Message 1. Modern engineering and innovative technologie*. 2020. Issue 6. Part 1. P. 67–84. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2020-14-01-056>.
4. Balakin V .F. Stasevsky S.L. Ugryumov Y.D. Problem of rolling the pilgrim head and their solution. *Message 2. ScientificWorld Journal*. 2020. Issue 14. Part 1. P. 12–29. <https://doi.org/10.30888/2663-5712.2020-06-01-006>.
5. Puti umen'sheniya tekhnologicheskoy obrezi na piligrimovom stane /S.L. Stasevskij, YU.D. Ugryumov i dr. *Visnik Nacional'nogo tekhnichnogo universitetu "HPI"*. Seriya: Novi rishennya v suchasniy tekhnologiyah. 2013. №43 (1016). S. 211-219.
6. Pavlovskij B.G., Stasevskij S.L., Ugryumov YU.D., Grinev A.F. Opredelenie tekhnologicheskoy obrezi na piligrimovyh stanah i prognozirovanie ee umen'sheniya. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*. 2016. №3. S. 78-84.
7. Chernyavskij A.A., Bereзовskij V.V., Ugryumov YU.D. *Ekonomiya metalla pri proizvodstve trub neftyanogo sortametnta*. М.: *Металлургия*, 1987. S. 304.
8. Puti snizheniya dinamicheskikh nagruzok piligrimovogo stana pri goryachej prokatki trub / V.F. Balakin, V.D. Dobryak i dr. *Chernaya metallurgiya : Byulleten' NTI «Chermetinformaciya»*. 2011. Vyp. 6. S. 53-60.
9. Garcman S.D. Sil'verstov I.N., Karpuhin I.I. Inzhenernyj raschet koefficienta vosstanovleniya pri udare. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem*. 2006. №6. S. 7-10
10. Klimenko P.L. Uprochnenie stali i cvetnyh metallov pri holodnoj i goryachej deformacii. Днепропетровск: Пороги, 2011. S. 187.

Received 10.04.2025.

Accepted 16.05.2025.

UDC 621.774.3

Volodymyr Dobriak, Yurii Uhriumov, Stanislav Stasevskyi,
Ihor Mazur, Dmytro Uhriumov

IMPROVEMENT OF METAL-SAVING TECHNOLOGY OF PIPE ROLLING ON A PILGRIMM MILL

Abstract. *The features and prospects for the development of the process of rolling a pilgrim head on the free section of the mandrel are considered. The main problem of this process is the displacement of the section along the mandrel in the direction of rotation of the pilgrim mill rolls. Based on the theory of elastic-plastic impact of the pilgrim head and mill rolls, the post-impact velocities and pipe displacements for real conditions of pilgrim rolling are calculated. Two methods of reducing the displacement of the pilgrim head during its interaction with the rolls are considered: reducing the angular velocity of the rolls during rolling of the pilgrim head and using brake pads that create back tension on the pipe.*

Keywords: *pilgrim mill, pipe, sleeve, mandrel, pilgrim head, pilgrim mill roll, forgoller, feeder, metal consumption coefficient, elastic-plastic impact.*

Добряк Володимир Дмитрович, кандидат технічних наук, провідний інженер, Український інститут по проектуванню металургійних заводів.

Угрюмов Юрій Дмитрович, кандидат технічних наук, провідний інженер, Український інститут по проектуванню металургійних заводів.

Стасевський Станіслав Леонідович, кандидат технічних наук, директор, Український інститут по проектуванню металургійних заводів.

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».

Dobriak Volodymyr, candidate of technical sciences, senior engineer, Ukrainian institute for designing iron and steel works.

Uhriumov Yurii, candidate of technical sciences, senior engineer, Ukrainian institute for designing iron and steel works.

Stasevskyi Stanislav, candidate of technical sciences, director, Ukrainian institute for designing iron and steel works.

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».