

Білодіденко С.В., Мазур І.А., Добряк В.Д., Угрюмов Ю.Д., Угрюмов Д.Ю.
Моделювання нових процесів підготовки гільз перед прокаткою

Bilodidenko S.V., Mazur I.A., Dobriak V.D., Uhriumov Yu.D., Uhriumov D.Yu.
Modeling new processes for preparing sleeves before rolling

Метою даної роботи є розробка нових технологічних процесів підготовки кінців гільз на дорні перед прокаткою на пілігримовому трубопрокатному стані.

Методика. В роботі вирішена задача підготовки кінців гільз в лінії зарядки в них дорнів, котра здійснюється на діючій ділянці пілігримового стану.

Результати. Для визначення енергосилових параметрів зусилля заправного преса при підготовці заднього кінця гільзи використано метод ліній ковзання, за допомогою якого були розраховані зміни зусилля роздачі заднього кінця гільзи конічним пояском дорна з урахуванням глибини його введення.

Наукова новизна. Це дозволяє назначити робочу довжину конічного пояса дорна при вибраній його конусності з урахуванням можливостей гідроциліндра заправного преса.

Практична значущість. Запропонована технологія підготовки кінців гільз на дорні перед пілігримовою прокаткою дозволяє знизити різностінність гільз та труб за рахунок концентричного розташування гільзи на дорні в процесі прокатки.

Ключові слова: моделювання, труба, гільза, дорн, стан пілігримовий, зарядка позастановова, метод ліній ковзання, різностінність, зусилля заряджання, прес обтискний, прес заправний.

The purpose of this work is to develop new technological processes for preparing the ends of sleeves on a mandrel before rolling on a pilgrim tube rolling mill.

Methodology. The work solves the problem of preparing the ends of the sleeves in the line for loading mandrels into them, which is carried out on the operating section of the pilgrim mill.

Findings. To determine the energy-power parameters of the loading press force during the preparation of the rear end of the sleeve, the sliding line method was used, with the help of which changes in the force of distributing the rear end of the sleeve by the conical belt of the mandrel were calculated, taking into account the depth of its insertion.

Originality. This allows you to determine the working length of the conical mandrel belt with its selected taper, taking into account the capabilities of the hydraulic cylinder of the filling press.

Practical value. The proposed technology for preparing the ends of sleeves on the mandrel before pilgrim rolling allows reducing the unevenness of sleeves and pipes due to the concentric arrangement of the sleeve on the mandrel during the rolling process.

Key words: modeling, pipe, sleeve, mandrel, pilgrim mill, off-mill charging, sliding line method, heterogeneity, charging force, crimping press, charging press.

Вступ. Процес гарячої пілігримової прокатки труб відомий з 1891 року і отримав доволі широке застосування в світі [1]. В даний час, в Україні знаходиться в експлуатації один пілігримовий агрегат 5–12" на ПрАТ «Інтерпайп-НТЗ», який було введено в експлуатацію наприкінці 1968 року. Незважаючи на те, що частина обладнання цього агрегата зазнала модернізації або реконструкції, залишається ще цілий ряд питань, в тому числі по удосконаленню підготовки гільз до прокатки на пілігримових станах [2].

Наявність позастанового заряджання на пілігримових станах дозволило скоротити допоміжний час прокатки до 35 с., що підвищило продуктивність агрегата на 10%. В той же час, це збільшило витрату дорнів внаслідок більш довгого часу їх контакту з гільзами [3, 4].

Після задавання дорна в гільзу остання розташовується ексцентрично на дорні внаслідок зазору між ними до 20 мм, що при прокатці на пілігримовому стані збільшує поперечну різностінність труб.

Постановка проблеми. Підготовка гільз до прокатки на пілігримовому стані трубопрокатного агрегата (ТПА) 5–12" ПрАТ «Інтерпайп-НТЗ» має наступні недоліки, які знижують якість поверхні готових труб та збільшують їх поперечну різностінність. До них належить ексцентричне розташування гільзи на дорні в процесі прокатки, що знижує точність труб та збільшує витратний коефіцієнт металу.

Аналіз підготовки гільз до прокатки на пілігримовому стані. Одним із важливих завдань підвищення якості труб є кардинальне поліпшення підготовки гільз за рахунок більш ефективного очищення їх внутрішньої поверхні від окалини, а також захист металу від окислення під час прокатки.

Для вирішення цієї задачі запропоновані нові технічні рішення [5, 6]. В процесі заряджання дорна в гільзу на ТПА 5–12" ПрАТ «Інтерпайп-НТЗ» має місце односторонній зазор δ між ними, що з одного боку призводить до нерівномірного нагрівання дорна та підвищує ймовірність його викривлення при

© Білодіденко С.В. – д.т.н., проф. УДУНТ
Мазур І.А. – к.т.н., доц. УДУНТ
Добряк В.Д. – к.т.н., ДП «УКРДІПРОМЕЗ»
Угрюмов Ю.Д. – к.т.н., ДП «УКРДІПРОМЕЗ»
Угрюмов Д.Ю. – LLC «Marine Survey Company»

© Bilodidenko S. – d.t.s., prof., USUST
Mazur I. – c.t.s., docent USUST
Dobriak V. – c.t.s., SE «UKRDIPROMEZ»
Uhriumov Yu. – c.t.s., SE «UKRDIPROMEZ»
Uhriumov D. – TOB «Морська Сюрвейерська Компанія»



This is an Open Access article under the CC BY 4.0 license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

передачі дорна з гільзою на пілігримовий стан, а також в процесі прокатки, а з іншого боку, це збільшує поперечну різностінність труб із-за нерівномірного обтискання по товщині стінки (рис. 1, а).

Відомий варіант підготовки гільзи до прокатки шляхом її редукування на дорні для усунення зазору δ , однак це призведе до значного перегріву дорна в процесі прокатки та к суттєвій витраті прокатного інструмента (рис. 1, б).

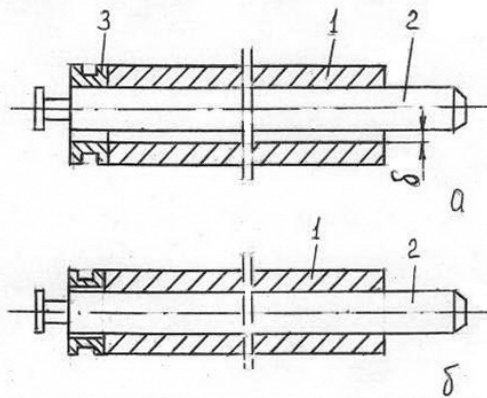


Рисунок 1 – Варіанти (а, б, в, г) підготовки гільз на дорні перед прокаткою: 1 – гільза; 2 – дорн; 3 – дорнове кільце; 4 – конічний хвостовик дорна; 5 – передній кінець гільзи; 6 – конічна ділянка дорна

Відома підготовка передніх кінців гільз на прошивному косовалковому стані в процесі прошивання (елонгування), що викликає певні труднощі для наступного введення в гільзу дорна.

Для зниження зазору між заднім кінцем гільзи і дорном, хвостовик останнього виконано конічної форми, однак для полегшення заряджання дорна необхідно передбачити певну величину зазору [10]. На рис. 1, в наведено варіант розташування гільзи з підготовленими кінцями на дорні перед прокаткою.

Найбільш раціональною схемою розташування гільзи на дорні є схема наведена на рис. 1, г, яка забезпечує концентричне розташування гільзи на дорні за рахунок відсутності зазорів між дорном та кінцями гільз. Для цього підготовку передніх кінців гільз необхідно здійснювати на дорні на ділянці позастанового заряджання, а підготування задніх кінців гільз – за рахунок певного їх роздавання конічним пояском на дорні зусиллям подавального апарата.

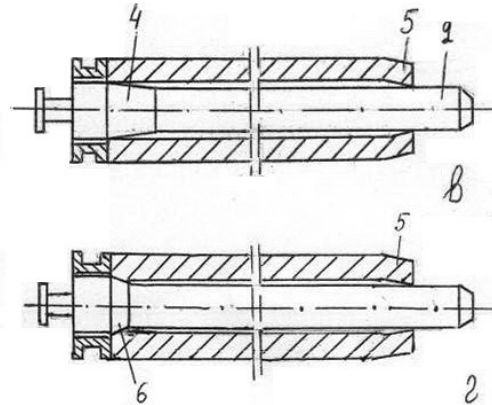
Підготовка передніх та задніх кінців гільз сприяє також зниженню технологічної обрізі на пілігримовому стані.

Найбільш раціональним є здійснення підготовки кінців гільз на позиції заряджання в них дорнів за рахунок зусилля заправного преса.

Мета і завдання досліджень. Метою даної роботи є розробка нових процесів підготовки кінців гільз на дорні перед прокаткою для зниження поперечної різностінності труб на пілігримовому стані за рахунок концентричного розташування гільзи на дорні, а також забезпечення зниження витрати металу в технологічну обрізь.

Однією з проблем гарячої пілігримової прокатки є також підвищена витрата металу в технологічну обрізь: затравку та пільгерголовку, що обумовлено особливостями прокатки переднього та заднього кінців гільзи [1–3].

В роботах [7–9] запропоновані технічні рішення для підготовки кінців гільз, що суттєво знижує їх ексцентричне розташування на дорні в процесі пілігримової прокатки.



Результати дослідження. Підготовка переднього кінця гільзи. На ділянці позастанового заряджання дорна існуючого пілігримового стану пропонується обтискання тільки переднього кінця гільзи на дорні. Для цього на місці стаціонарного упору заправного столу встановлюється двохбойковий прес з профільними бойками.

Гільза (без дорна) скидається з рольганга на заправний стіл в поперечному напрямку по відношенню до осі заправного столу. Причому, передній торець гільзи завжди знаходиться в одній базовій площині, так як вона встановлюється стаціонарним упором на прикінці рольганга. Довжина гільзи та її діаметри залежать від заданих параметрів труби: різниця між максимальною і мінімальною довжинами гільз складає 850 мм; різниця між максимальним і мінімальним зовнішніми діаметрами складає 185 мм, а різниця між максимальним і мінімальним діаметрами дорнів складає 200 мм.

На рис. 2, а показано положення гільзи 1 і дорна 2 в момент закінчення заправки на існуючому пілігримовому стані 5–12", де відсутнє обтискання гільзи на дорні (вид в плані). Заправка дорна 2 в гільзу 1 здійснюється за допомогою гідроциліндра 3 подачі орієнтуючої головки 4 і замка 5, в якому встановлений хвостовик дорна. Між замком 5 і заднім торцем гільзи на дорні надягнене (змонтоване) дорнове кільце 6. В момент закінчення заправки дорна в гільзу сила штока гідроциліндра 3 через орієнтуючу головку 4, замок 5 і дорнове кільце 6 передається задньому торцю гільзи, при цьому передній торець гільзи впирається в стаціонарний упор 7, який має проїом для розміщення кінця дорна, який виступає з гільзи. Далі маніпулятор (на рис. 2 не показаний) підіймає захватами гільзу з дорном і

дорновим кільцем, транспортує її до стана і вкладає хвостовик дорна в замок подавального апарата.

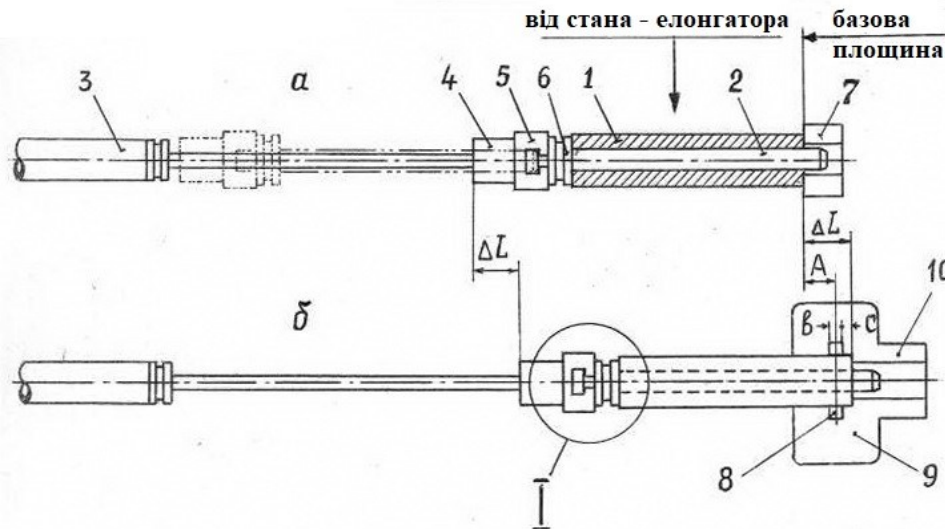


Рисунок 2 – Проектна (а) і запропонована (б) схеми підготовки гільзи до прокатки на ділянці позастанового заряджання: 1 – гільза; 2 – дорн; 3 – гідроциліндр; 4 – орієнтуюча головка; 5 – дорновий замок; 6 – дорнове кільце; 7 – стаціонарний упор; 8 – бойки преса; 9 – двохбойковий прес; 10 – вбудований упор

На рис. 2, б показано момент закінчення заправки дорна 2 в гільзу 1 (вид в плані), суміщений з обтисканням переднього кінця гільзи на дорні двома профільними бойками 8 преса 9 з вбудованим упором 10. Так як існуюче суміжне обладнання не дозволяє розташувати прес так, щоб вісь бойков преса знаходилась на визначеній відстані від передньої торцевої площини гільзи, то приходиться змістити прес вправо. Це зміщення тягне за собою збільшення довжини ходу штока гідроциліндра 3 на величину ΔL , яка визначається по вираженню:

$$\Delta L = A + \frac{b}{2} + c,$$

де A – відстань між базовою площиною і осью бойків преса; b – ширина бойка; c – відстань від краю бойка до передньої торцевої площини гільзи.

Орієнтовно, при $A = 630$ мм, $b = 80$ мм, $c = 40$ мм збільшення довжини ходу штока гідроциліндра складе $\Delta L = 710$ мм.

Після обтискання переднього кінця гільзи гідроциліндр 3 вмикається на втягування штока, в результаті чого гільза з дорном повертається в зону дії маніпулятора, який транспортує її до пілігримового стана.

Підготовка заднього кінця гільзи. Вище розглянуто схему обтискання переднього кінця гільзи на дорні по закінченню заправки дорна в гільзу на ділянці позастанової заправки пілігримового стана. Обтискання гільзи відбувається двома профільними бойками гідравлічного преса до такого ступеня, що вибирається зазор між гільзою та дорном. При цьому забезпечується не тільки необхідна прочність зчеплення гільзи з дорном, но і центрування переднього кінця гільзи на дорні. В той же час задній кінець гільзи залишається нецентрованим

відносно дорна, так як в верхній зоні зазор відсутній, а в нижній зоні зазор максимальний, рівний діаметральному зазору $\delta = d_r - d_d$ між гільзою і дорном (див. рис. 1, а). Ексцентриситет дорна та гільзи є однією з причин різностінності прокатаних труб.

Нижче пропонується спосіб центрування заднього кінця гільзи на дорні (див. рис. 2, б). Спосіб полягає в тому, що на заключній стадії введення дорна в гільзу в контакт з внутрішньою циліндричною порожниною гільзи вступає конічний поясок дорна. Поясок має мінімальний діаметр, рівний діаметру дорна, а величина конусності визначається з міркувань не перевищення номінального зусилля гідроциліндра подачі орієнтуючої головки з замком та мінімізації довжини пояску.

Під час дотику переднього торця гільзи зі стаціонарним упором 10, вбудованим в двохбойковий прес 9, починається введення конічного пояску в порожнину гільзи. Одночасно з введенням відбувається роздача кінця гільзи по діаметру, а радіальний зазор $\frac{\delta}{2}$ між гільзою та дорном розподіляється рівномірно по колу, тобто усувається ексцентриситет дорна та гільзи. По мірі введення пояску зона деформації гільзи збільшується, збільшується сила введення. Схема введення конічного пояску дорна з роздаванням заднього кінця гільзи по діаметру приведено на рис. 3.

Моделювання процесу підготовки заднього кінця гільзи. Для визначення сили введення конічного пояску в порожнину гільзи розглянемо плоску задачу деформації стінки гільзи. На рис. 4 показано спрощене поле ліній ковзання (без врахування контактної тертя), яке складається з прямих ліній в якому має місце розрив швидкостей вздовж цих

ліній. Задамося стандартною величиною конусності $\alpha = 1:10$, при якій кут нахилу утворюючої дорівнює $\alpha = 2^\circ 51' 45''$. Припустимо, дорн рухається відносно нерухомої гільзи зі швидкістю v_d . Тоді

швидкість руху інструмента в вигляді утворюючої конуса, перпендикулярна до утворюючої, визначається з вираження

$$u = v_d \cdot \sin \alpha.$$

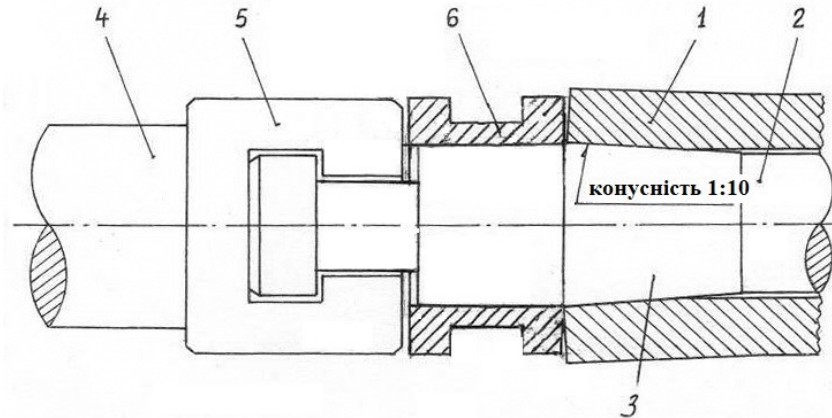


Рисунок 3 – введення конічного пояска дорна в порожнину гільзи з роздаванням її заднього кінця по діаметру (місце 1 на рис. 2): 1 – гільза; 2 – дорн; 3 – конічний поясок дорна; 4 – орієнтуюча головка; 5 – дорновий замок; 6 – дорнове кільце

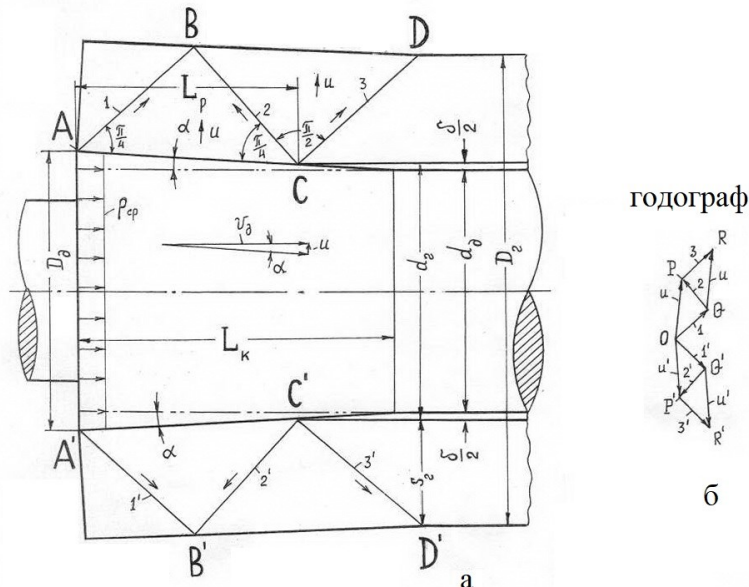


Рисунок 4 – Базове спрощене поле ліній ковзання (а) та годограф швидкостей (б) з довжиною робочої частини конічного пояска в натурі 150 мм

Побудова годографа швидкостей здійснюється наступним чином. Із полюса O відкладаємо в довільному масштабі швидкість u (OP і OP'), перпендикулярні до утворюючих AC і $A'C'$. В жорсткому трикутнику ABC швидкість OP розкладається на дві складові: OQ вздовж лінії AB і QP вздовж лінії BC . Далі в жорсткому трикутнику BCD дві швидкості QP вздовж лінії BC і PR вздовж лінії CD , складаючись,

$$p_{cp} \cdot D_d = \frac{2 \cdot \sigma_s}{\sqrt{3}} \cdot \left(AB \cdot \frac{OQ}{u} + BC \cdot \frac{QP}{u} + CD \cdot \frac{PR}{u} \right), \quad (1)$$

де AB , BC , CD – довжини ліній розриву швидкостей, які взяті з рис. 4; OQ , QP , PR – довжини розриву швидкостей, які взяті з годографа; D_d – діаметр конуса в перетині AA' ; σ_s – межа текучості матеріалу гільзи при статичному навантаженні.

повинні дати швидкість u . Аналогічна побудова виконана для діаметрально протилежного поля ліній ковзання.

Верхньомежову оцінку середнього питомого тиску p_{cp} на торці конуса AA' відповідно до метода Джонсона [11, с.220] можна розрахувати шляхом визначення деформації зрушення вздовж лінії ковзання відповідно рівнянню:

Вказані вище параметри, виміряні з рис 4, мають наступні значення: $AB = 53$ мм; $BC = 52,5$ мм; $CD = 55$ мм; $u = 20$ мм; $D_d = 94$ мм; $OQ = 15$ мм; $QP = 14$ мм; $PR = 14,5$ мм. Підставляємо ці значення в рівняння (1) і отримуємо середнє контактне напруження на площині круга діаметром AA'

$$p_{cp} \cdot 94 = \frac{2 \cdot \sigma_s}{\sqrt{3}} \cdot \left(53 \cdot \frac{15}{20} + 52,5 \cdot \frac{14}{20} + 55 \cdot \frac{14,5}{20} \right) = 134,42 \cdot \sigma_s.$$

Звідкіля,

$$p_{cp} = \frac{134,42}{94} \cdot \sigma_s = 1,43 \cdot \sigma_s.$$

За допомогою рис. 4 можна отримати формули для розрахунку параметрів конічного пояса на дорні. Так, довжина пояса визначається по вираженню:

$$L_k = 2 \cdot S_r \cdot \cos \alpha + \frac{\delta}{2} \cdot \operatorname{ctg} \alpha, \quad (2)$$

де $S_r = \frac{D_r - d_r}{2}$ – товщина стінки гільзи.

Робоча довжина конічного пояса визначається по вираженню:

$$L_p = 2 \cdot S_r \cdot \cos \alpha. \quad (3)$$

Діаметр конуса в перетині AA' знаходимо по формулі:

$$D_d = d_d + 2 \cdot L_k \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (4)$$

де d_d – діаметр дорна.

Поле ліній ковзання на рис. 4 побудовано в масштабі 1:2 для конкретної гільзи діаметром $\varnothing 320/170$, призначеної для прокатки труби діаметром $\varnothing 168$ мм. При цьому діаметр дорна дорівнює $d_d = 163,5$ мм. Використовуючи формули (2), (3), (4), знайдемо параметри конічного пояса для гільзи діаметром $\varnothing 320/170$, для натурі.

Маємо:

$$L_p^b = 2 \cdot \frac{320-170}{2} \cdot \cos 2^\circ 51'45'' \approx 150 \text{ мм.}$$

$$L_k^b = 2 \cdot \frac{320-170}{2} \cdot \cos 2^\circ 51'45'' + \frac{170-163,5}{2} \cdot \operatorname{ctg} 2^\circ 51'45'' \approx 215 \text{ мм.}$$

$$D_d^b = 163,5 + 2 \cdot 215 \cdot \operatorname{tg} 2^\circ 51'45'' \approx 185 \text{ мм.}$$

Знайдені параметри приймемо за базові з індексом «б». Далі визначаємо базову силу введення конічного пояса в порожнину гільзи на величину L_p^b

$$P_{BH}^b = \frac{\pi \cdot D_d^2}{4} \cdot p_{cp} = \frac{\pi \cdot D_d^2}{4} \cdot 1,43 \cdot \sigma_s = \frac{\pi \cdot 0,185^2}{4} \cdot 1,43 \cdot \sigma_s = 0,0384 \cdot \sigma_s.$$

Нехай гільза зі сталі 45 на заправному столі має температуру 1150°C . Межа текучості для цієї сталі в умовах статичного навантаження згідно методу термомеханічних коефіцієнтів [12] складе:

$$\sigma_s = 86 \cdot 0,65 \cdot 0,82 \cdot 0,38 = 17,4 \text{ МПа.}$$

Тоді, сила введення базового конічного пояса складе:

$$P_{BH}^b = 0,0384 \cdot \sigma_s = 0,0384 \cdot 17,4 \cdot 10^6 = 668160 \text{ Н} = 668,16 \text{ кН.}$$

Очевидно, що зі зменшенням робочої довжини конічного пояса у порівнянні з базовою довжиною сила введення буде зменшуватися. Знайдемо залежність сили введення від робочої довжини поясу, побудувавши поля ліній ковзання для других значень робочої довжини пояса.

На рис. 5 представлено поле ліній ковзання та годограф для випадку, коли робоча довжина L_p конічного пояса зменшена до 80 мм (в натурі) і до 40 мм на рисунку. В цьому випадку оцінка середнього питомого тиску на площині круга діаметром AA' (D_d) визначається з вираження:

$$p_{cp} \cdot D_d = \frac{2 \cdot \sigma_s}{\sqrt{3}} \cdot \left(CD \cdot \frac{OQ}{u} + BC \cdot \frac{QP}{u} \right). \quad (5)$$

Виміряні з рис 5, мають наступні значення: $CD = 50$ мм; $BC = 52$ мм;; $u = 20$ мм; $D_d = 92$ мм; $OQ = 14,5$ мм; $QP = 14,5$ мм. Підставив ці значення в рівняння (5), отримаємо середнє нормальне напруження на площині круга діаметром AA' = D_d : $p_{cp} \cdot 92 = \frac{2 \cdot \sigma_s}{\sqrt{3}} \cdot \left(50 \cdot \frac{14,5}{20} + 52 \cdot \frac{14,5}{20} \right) = 85,39 \cdot \sigma_s.$

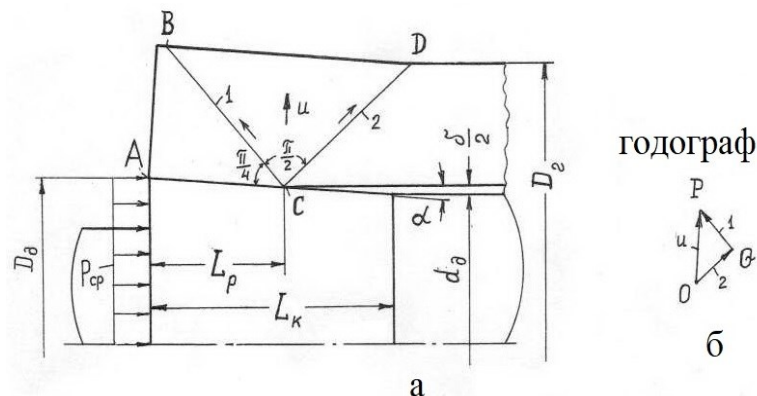


Рисунок 5 –Спрощене поле ліній ковзання (а) та годограф швидкостей (б) з довжиною робочої частини конічного пояса в натурі 80 мм

$$\text{Звідкіля } p_{cp} = \frac{85,39}{92} \cdot \sigma_s = 0,928 \cdot \sigma_s.$$

Визначимо силу введення натурального конічного пояса в порожнину гільзи на величину $L_p = 80$ мм

$$P_{BH} = \frac{\pi \cdot D_d^2}{4} \cdot p_{cp} = \frac{\pi \cdot D_d^2}{4} \cdot 0,928 \cdot \sigma_s = \frac{\pi \cdot 0,184^2}{4} \cdot 0,928 \cdot \sigma_s = 0,0247 \cdot \sigma_s.$$

Для тієї ж сталі 45 при температурі 1150 °С сила введення складе:

$$P_{BH} = 0,0247 \cdot \sigma_s = 0,0247 \cdot 17,4 \cdot 10^6 = 429780 \text{ Н} = 429,78 \text{ кН}.$$

На рис. 6 показано поле ліній ковзання і годограф для випадку, коли робоча довжина L_p кінчного пояса зменшена до 25 мм (в натурі) і до 12,5 мм на рисунку. В цьому випадку оцінка середнього нормального напруження на площині круга діаметром AA' (D_d) визначається аналогічно вираженню (5).

Виміряні з рис 6, мають наступні значення: $CD = 56 \text{ мм}$; $BC = 16 \text{ мм}$; $u = 20 \text{ мм}$; $D_d = 88 \text{ мм}$; $OQ = 14 \text{ мм}$; $QP = 14 \text{ мм}$. Підставив ці значення в рівняння (5), отримаємо середнє нормальне напруження на площині круга діаметром $AA' = D_d$:

$$p_{cp} \cdot 88 = \frac{2 \cdot \sigma_s}{\sqrt{3}} \cdot \left(56 \cdot \frac{14}{20} + 16 \cdot \frac{14}{20} \right) = 58,189 \cdot \sigma_s.$$

$$\text{Звідкіля } p_{cp} = \frac{58,189}{88} \cdot \sigma_s = 0,66 \cdot \sigma_s.$$

Визначимо силу введення натурального кінчного пояса в порожнину гільзи на величину $L_p = 25 \text{ мм}$

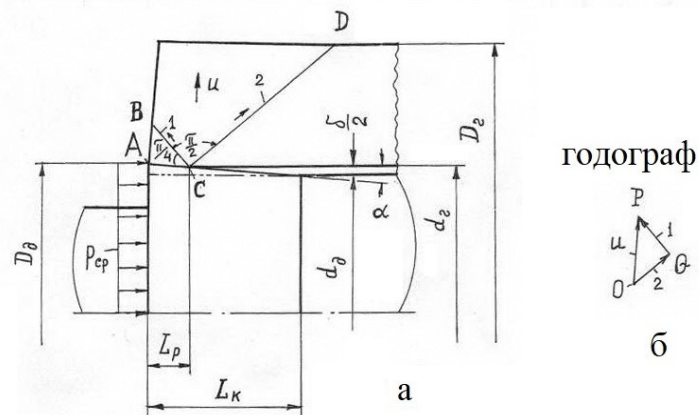


Рисунок 6 – Спрощене поле ліній ковзання (а) та годограф швидкостей (б) з довжиною робочої частини кінчного пояса в натурі 25 мм

$$P_{BH} = \frac{\pi \cdot D_d^2}{4} \cdot p_{cp} = \frac{\pi \cdot 0,176^2}{4} \cdot 0,66 \cdot \sigma_s = 0,01605 \cdot \sigma_s.$$

Для тієї ж сталі 45 при температурі 1150 °С сила введення складе:

$$P_{BH} = 0,0247 \cdot \sigma_s = 0,01605 \cdot 17,4 \cdot 10^6 = 279247 \text{ Н} = 279,25 \text{ кН}.$$

За аналогічною методикою було виконано розрахунок сили введення кінчного пояса дорна в порожнину гільзи діаметром $\emptyset 505/365$ при різній робочій довжині пояса. Результати розрахунку

сили введення кінчного пояса дорна в порожнину гільзи (для двох типорозмірів) при різній довжині робочого пояса представлено в табл. 1.

Таблиця 1 – Робоча довжина кінчного пояса, сила введення пояса без врахування тертя і з коефіцієнтом тертя $f = 0,3$, та сумарна сила введення

Параметр	гільза $\emptyset 320/170$			гільза $\emptyset 505/365$		
$L_p, \text{ м}$	0,025	0,080	0,150	0,040	0,100	0,140
$P_{BH}, \text{ кН}$	279	430	668	640	862	1265
$\Delta P_{BH}, \text{ кН}$	4,2	6,4	10	9,6	12,9	18,9
$\sum P, \text{ кН}$	283,2	436,4	678	649,6	875	1284

За трьома розрахунковими точками на рис. 7 побудовано графік залежності сили введення кінчного пояса дорна в порожнину гільзи, від робочої довжини пояса, тобто від глибини введення.

Графік дозволяє призначити робочу довжину пояса з урахуванням сили на штоці гідроциліндра подачі орієнтуючої головки і замка на заправному столі пілігримового стану.

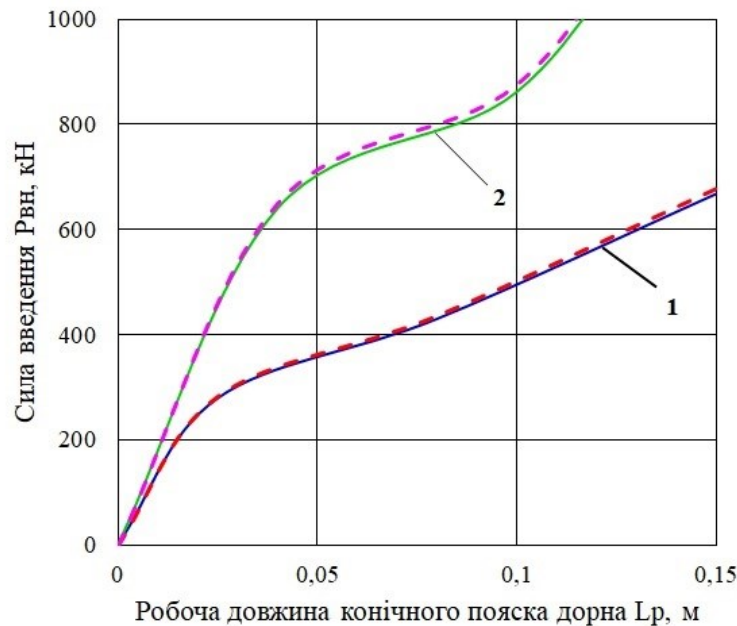


Рисунок 7 – Залежність зусилля $P_{\text{вн}}$ введення конічного пояса дорна в порожнину гільзи від робочої довжини пояса L_p (сплошна лінія – без урахування тертя, $f = 0$; пунктирна лінія – з урахуванням тертя, $f = 0,3$): 1 – для гільзи діаметром $\varnothing 320/170$; 2 – для гільзи діаметром $\varnothing 505/365$

Аналогічні графіки повинні бути побудовані для всіх типорозмірів гільз, які прокатуються на пілігрімовому стані. В залежності від обраної робочої довжини конічного пояса загальна довжина пояса вибирається за формулою (2), а діаметр конуса в перетині AA' (D_d) призначається по формулі (4).

Для врахування сили тертя на похилій поверхні пояса розложимо силу $P_{\text{вн}}$ на дві складові: одну – вздовж похилої поверхні, а іншу – перпендикулярно цій поверхні. Остання визначається вираженням $N = P_{\text{вн}} \cdot \sin \alpha$. Ця сила створює на похилій поверхні силу тертя $N \cdot f$, де f – коефіцієнт кулонівського тертя. Горизонтальна складова цієї сили є додатком $\Delta P_{\text{вн}}$ до сили введення $P_{\text{вн}}$. Знаючи кут $\alpha = 2^\circ 51' 45''$ та приймаючи найбільш ймовірне значення коефіцієнта тертя по гарячому металу $f = 0,3$, знаходимо додаток $\Delta P_{\text{вн}}$ до сили введення $P_{\text{вн}}$ за формулою:

$$\Delta P_{\text{вн}} = N \cdot f \cdot \cos \alpha.$$

Результати розрахунку наведено в табл. 1.

Як видно з табл. 1 та графіків представлених на рис. 7, сила кулонівського тертя на конічному пояску впливає на силу введення незначно (в межах 1,5%).

Висновки. Сучасні пілігрімові агрегати оснащені обладнанням для позастанової зарядки гільз дорна перед пілігрімовою прокаткою, що дозволяє підвищити продуктивність процесу прокатки за рахунок зниження допоміжного часу.

На основі аналізу операцій підготовки гільз до прокатки виявлені на діючому пілігрімовому агрегаті 5 – 12" ПрАТ «Інтерпайп-НТЗ» такі недоліки як:

низька ефективність видалення окалини з гільзи, відсутність додавання в гільзу антиоксидантів, ексцентричність розташування гільзи на дорні перед прокаткою, відсутність підготовки кінців гільз, що підвищує різностінність гільз і труб, та збільшує витрату метала.

В роботі запропонований новий технологічний процес підготовки кінців гільзи на дорні в лінії зарядження дорна в гільзу, який забезпечує концентричне розташування гільзи на дорні перед та в процесі пілігрімової прокатки.

Нова технологія полягає в обтисканні переднього кінця гільзи на дорні профільними бойками двохбойкового горизонтального гідравлічного преса до усунення зазору між гільзою та дорном.

Підготовку заднього кінця гільзи здійснюють шляхом його роздавання конічним пояском на дорні в період зарядки дорна в гільзу, що не потребує встановлення додаткового обладнання.

Визначення зусилля роздавання заднього кінця гільзи проведено за допомогою моделювання процесу методом ліній ковзання, в результаті якого розраховано зміни зусилля роздавання дорна з урахуванням глибини введення конічного пояса дорна, що дозволяє призначити його робочу довжину при обраній конусності з урахуванням можливостей гідроциліндра заправного преса.

Запропонована технологія підготовки кінців гільз перед прокаткою дозволяє знизити різностінність гільз та труб, зменшити витратний коефіцієнт металу і масу обладнання ділянки позастанового зарядження.

Перелік посилань

1. Козловский А.И., Балакин В.Ф., Угрюмов Ю.Д. Состояние и перспективы развития процесса горячей пилигримовой прокатки труб. *Черная металлургия : Бюллетень НТИ «Черметинформация»*. 2012. Вып. 7. С. 82-90. https://nmetau.edu.ua/file/byulleten_chernaya_metallurgiya_no_7.pdf
2. Данилов А.Ф., Глейберг А.З., Балакин В.Г. Горячая прокатка и прессование труб. М.: Металлургия, 1972. С.578.
3. Чернявский А.А., Березовский В.В., Угрюмов Ю.Д. Экономия металла при производстве труб нефтяного сортамента. М.: Металлургия, 1987. С. 304.
4. Оборудование цехов с пилигримовыми трубопрокатными установками / С.Н. Кожевников, А.В. Праздников и др. М.: Металлургия, 1974. С. 256.
5. Пристрій для очищення внутрішньої поверхні гарячих трубних заготовок (гільз): пат. 109104 Україна: МПК 2016.01 B21B45/04. № u201601676; заявл. 22.02.2016; опубл. 10.08.2016, Бюл. № 15.
6. Спосіб нанесення дезоксиданта на внутрішню поверхню гарячих виробів типу гільз: пат. 112735 Україна: МПК 2016.01 B21B23/00, B05B 13/06. № u201607226; заявл. 04.07.2016; опубл. 26.12.2016, Бюл. № 24.
7. Совершенствование горячей пилигримовой прокатки труб за счет управления зазором между гильзой и дорном / В.Ф. Балакин, С.Л. Стасевский и др. Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. 2015. Вып. №30. С.245-256. https://jrn.isi.gov.ua/wp-content/uploads/2022/04/sb2015_30.pdf?
8. Пути уменьшения технологической обрези 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. http://library.kpi.kharkov.ua/files/Vestniki/2013_43.pdf
9. Совершенствование подготовки гильзы к прокатке на пилигримовом стане / В.Ф. Балакин, С.Л. Стасевский и др. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2018. №4. С. 39-44. <https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/Balakin.pdf>
10. Балакин В.Ф., Угрюмов Ю.Д., Угрюмов Д.Ю. Пути снижения массы пилгерголовки при горячей прокатке труб. *Теория и практика металлургии*. 2012. №1-2. С. 32-36.
11. Томсен Э., Янг Ч., Кабаяши Ш. Механика пластических деформаций при обработке металлов / пер. с англ. под ред. Е.П. Ункова. М.: Машиностроение, 1969. 504 с.
12. Зюзин В.И., Бровман М.Я., Мельников А.Ф. Сопротивление деформации сталей при горячей прокатке. М.: Металлургия, 1969. 270 с.

References

1. Kozlovskii, A. I., Balakin, V. F., & Ugriymov, Iu. D. (2012). Sostoianie i perspektivy razvitiia protsesssa go-riachei piligrimovoi prokatki trub. *Chernaia metallurgii: Biulleten NTI "Chermetinformatsiia"*, 7, 82-90. https://nmetau.edu.ua/file/byulleten_chernaya_metallurgiya_no_7.pdf
2. Danilov, A. F., Gleiberg, A. Z., & Balakin, V. G. (1972). *Goriachaia prokatka i pressovanie trub*. Metallurgii
3. Cherniavskii, A. A., Berezovskii, V. V., & Ugriymov, Iu. D. (1987). *Ekonomiia metalla pri proizvodstve trub neftianogo sortametnta*. Metallurgii
4. Kozhevnikov, S. N., Prazdnikov, A. V. et al (1974). *Oborudovanie tsekhov s piligrimovymi truboprokatnymi ustanovkami*. Metallurgii
5. Stepanenko O. M., Dobriak V. D., Hubynskiy M. V., & Uhriymov Yu. D. (2016). Prystrii dlia ochyshchennia vnutrishnoi poverkhni hariachykh trubnykh zahotovok (hilz). (Patent No. 109104). Ukrpatent. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/831829/>
6. Stasevskiy S. L., Dobriak V. D., Uhriymov Yu. D., & Uhriymov Yu. D. (2016). Sposib nanesennia dezoksydanta na vnutrishniu poverkhniu hariachykh vyrobiv typu hilz. (Patent No. 112735). Ukrpatent. <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/820686/>
7. Balakin V. A., Stasevsky S. L., Dobriak V. D., & Ugriymov Y. D. (2022). Improved hot pilger tube rolling by controlling the clearance between the sleeve and the dorn. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, 30, 245-256. https://jrn.isi.gov.ua/wp-content/uploads/2022/04/sb2015_30.pdf
8. Stasevskii S. L., Ugriymov Iu. D., Garmashov D. Iu., & Ksenz A. A. (2013). Puti umensheniia tekhnologicheskoi obrezi na piligrimovom stane. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Seriia: Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh*, (43(1016)), 211-219. http://library.kpi.kharkov.ua/files/Vestniki/2013_43.pdf
9. Balakin V. A., Stasevskii S. L., Ugriymov Iu. D., & Dobriak V. D. (2018). Improving the preparation of the liner for rolling on the pilger mill. *Metallurgical and mining industry*, (4), 39-44. <https://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/Balakin.pdf>
10. Balakin V. F., Ugriymov Iu. D., & Ugriymov D. Iu. (2012). Puti snizheniia massy pilgergolovki pri goriachei prokatke trub. *Theory and Practice of Metallurgy*, (1-2), 32-36.
11. Tomsen E., Iang Ch., & Kabaiaishi Sh. (1969). *Mekhanika plasticheskikh deformatsii pri obrabotke metallov*. Mashinostroenie
12. Ziuzin V. I., Brovman M. Ia., & Melnikov A. F. (1969). *Soprotivlenie deformatsii stalei pri goriachei prokatke*. Metallurgii

Надійшла до редакції / Received by the editorial board: 19.02.2024

Прийнята до друку / Accepted for publication: 20.05.2024