

practical work should be public with the involvement of the entire student audience. This contributes to increasing the level of activity and assimilation of lecture materials, reducing the number of unclear questions and errors during the performance of tasks. Interdisciplinary connections are very important, because the remote form of work in the absence of material and technical base requires more complex knowledge, especially in the field of modeling the behavior of objects and the operation of specialized equipment.

So, this work considers the possibilities of implementing modern information technologies for organizing practical work of students in conditions of distance learning with limited access to the laboratory base. As an example, virtual laboratory work on the design of a local automatic control system based on a programmable logic controller (PLC) is presented. The principle of implementing a control object using mathematical modeling and organizing remote control using SCADA and web technologies is given.

Keywords: distance learning, technical disciplines, teaching methods, informatization, independent work, practical experience, virtual laboratory practicum.

Стаття надійшла 05.05.2025р.

УДК 671.774.35

doi.org/10.31498/2522-9990292025330259

Григоренко В.У., Куцевол С.В.

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВЕДУЧИХ ШЕСТЕРЕНЬ З ЗМІННИМ ДІЛИЛЬНИМ РАДІУСОМ ДЛЯ СТАНІВ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ ТРУБ

Стани холодної прокатки труб широко застосовуються для виробництва високоякісних труб відповідального призначення.

В існуючих станах холодної прокатки труб примусовий катаючий радіус є незмінним і рівним ділільному діаметру ведучої шестерні пари ведуча шестерня - нерухома зубчаста рейка, а природний катаючий радіус є змінним і залежить від параметрів робочого конусу деформування.

Значення примусового катаючого радіусу приймають на практиці як середню величину між діаметром труби-заготовки та діаметром готової труби і тільки в одному перетині робочого конусу значення примусового катаючого радіусу буде дорівнювати значенню природного катаючого радіусу.

В роботі розглядається варіант застосування ведучих шестерень з змінним ділільним радіусом для кожного наступного зуба шестерні за законом відповідно з зміною природного катаючого радіусу.

Вперше запропоновано алгоритм розрахунків ділільного радіусу кожного зубця ведучої шестерні який забезпечує рівність примусового та природного катаючого радіусів по довжині зони деформування робочого конуса згідно його параметрів для способу коли деформування стінки виконують на конічній оправці і коли деформування стінки виконують на оправці з криволінійною твірною її повздожнього профілю.

Отримані результати потрібні для забезпечення більш раціональних умов деформування металу, покращення поверхні прокатаних труб, зменшення зносу поверхні рівчаків валків та оправок, а також для підвищення міжремонтного часу роботи обладнання стану.

Також це потрібно і для проектування при розробці модернізацій чи при розробці нових конструкцій станів холодної прокатки труб.

Ключові слова: стани холодної прокатки труб, природний та примусовий катаючий радіуси, змінний ділильний радіус ведучої шестерні. алгоритм розрахунків.

Постановка проблеми. Стани холодної прокатки труб широко застосовуються для виробництва труб відповідального призначення [1]. Технологія холодного пластичного деформування труб пільгерною прокаткою забезпечує необхідну високу якість параметрів труб.

Радіус точки на рівчаку валка, де швидкість виходу металу з калібру дорівнює коловій швидкості точки рівчака валка називають природним катаючим радіусом. Природний катаючий радіус знаходиться між вершиною рівчака валка та циліндричною поверхнею валка.

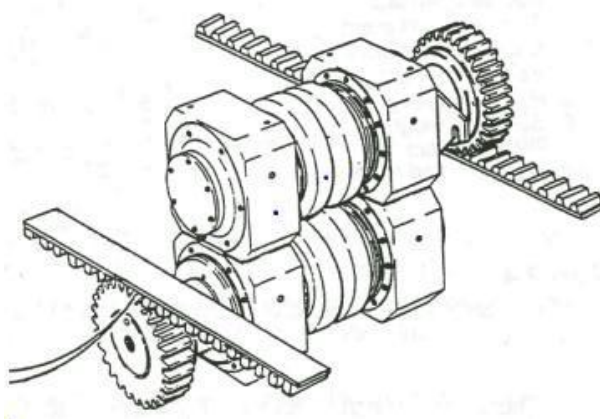


Рисунок 1 – Схема приводу ведуча шестерня та нерухома рейка на сучасних станах холодної прокатки труб [2]

Природний катаючий радіус можна визначати з достатньою точністю за спрощеною формулою

$$R_{npk} = R_o - 0,76R_i$$

де, R_o - ідеальний радіус бочки валка, що дорівнює половині діаметра бочки валка плюс половина зазору між валками при прокатці;

R_i - радіус круглого перерізу робочого конусу в положенні i кліті, що є змінним по довжині робочого конусу.

Природний катаючий радіус є величиною змінною.

При упорі зубця ведучої шестерні у зубець шестеренчастої рейки валок перекатується і поверхнею рівчака деформує трубу на нерухомій оправці.

Примусовий катаючий радіус при цьому дорівнює радіусу ділильного кола ведучої шестерні і є незмінним по довжині ходу кліті.

Значення примусового катаючого радіусу приймають на практиці як середню величину між діаметром труби-заготовки та діаметром готової труби. Вибирають ведучу шестерню з ділильним діаметром близьким значенню примусового катаючого радіусу. При цьому, тільки в одному перетині робочого конусу значення примусового катаючого радіусу буде дорівнювати значенню природного катаючого радіусу. В інших перетинах кінематичні умови деформування

будуть відрізнятися від природних і здійснювати додатковий вплив на процес прокатки та на обладнання.

Потрібно шукати можливості для максимального наближення значень примусового катаючого радіусу до значень природного у всіх перетинах робочого конусу деформування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зараз в Україні і в світі для виробництва холоднодеформованих труб застосовують стани типу КРВ, LG, ХПТ [3]. На цих станах примусовий катаючий є незмінним по довжині ходу кліті. Це приводить до додаткових навантажень на інструмент та обладнання стану, ускладнює процес деформування і приводить до збільшених витрат.

Відомі наступні пропозиції по зміні конструкцій стану стосовно приближення примусового катаючого радіусу природному у всіх перетинах робочого конусу:

- застосування рейок під кутом до лінії прокатки;
- переміщення зубчастої рейки під час прокатки;
- застосування пари зубчасте колесо та рейка з перемінним шагом зубців;
- застосування ексцентричних шестерень в парі з незмінною рейкою;
- застосування некруглих зубчастих коліс з перемінним ділільним радіусом [4].

Але ці пропозиції на сьогодні не знайшли застосування.

В роботі авторів [5] представлено основні положення з розвинутого методу визначення змінних параметрів зубчастої пари шестерня - рейка станів холодної прокатки труб для забезпечення природного процесу прокатки. Новизна є наступному - значення радіусу ділільного кола на кожному зубці змінюється по залежності в відповідності до зміни катаючого природного радіусу.

Але в цій роботі не було представлено методу визначення ділільного радіусу для кожного зубця ведучої шестерні в залежності від параметрів процесу деформування по довжині зони обтиску робочого конусу деформації.

Мета дослідження. Метою статті є зв'язати визначення ділільного радіусу кожного зубця ведучої шестерні відповідно з значеннями природного катаючого радіусу по довжині зони обтиску робочого конуса деформування.

Це необхідно в основному для забезпечення більш раціональних умов деформування металу, покращення поверхні прокатаних труб, зменшення зносу поверхні ривчаків валків та оправок, а також для підвищення міжремонтного часу роботи обладнання стану.

Також це потрібно і для проектування при розробці модернізацій чи при розробці нових конструкцій станів холодної прокатки труб.

Основний матеріал дослідження. Одним з варіантів зменшення різниці між примусовим та природним катаючими (R_{npk}) радіусами є застосування шестерень з змінним ділільним радіусом для кожного наступного зуба шестерні за законом відповідно з зміною природного катаючого радіусу по довжині зони обтиску робочого конусу розкатки (рис.2).

При розрахунках параметрів процесу деформування в стані холодної прокатки природний катаючий радіус R_{npk} в залежності від параметрів зони обтиску стінки робочого конусу деформування можна визначити як :

$$R_{npk} = D_o/2 - (d_{oi}/2 + S_i) \quad (1)$$

де, D_o - ідеальний діаметр валка, що дорівнює діаметру бочки валка плюс зазор між валками;

d_{oi} - діаметр оправки в перетині i ;

S_i - товщина стінки в перетині i

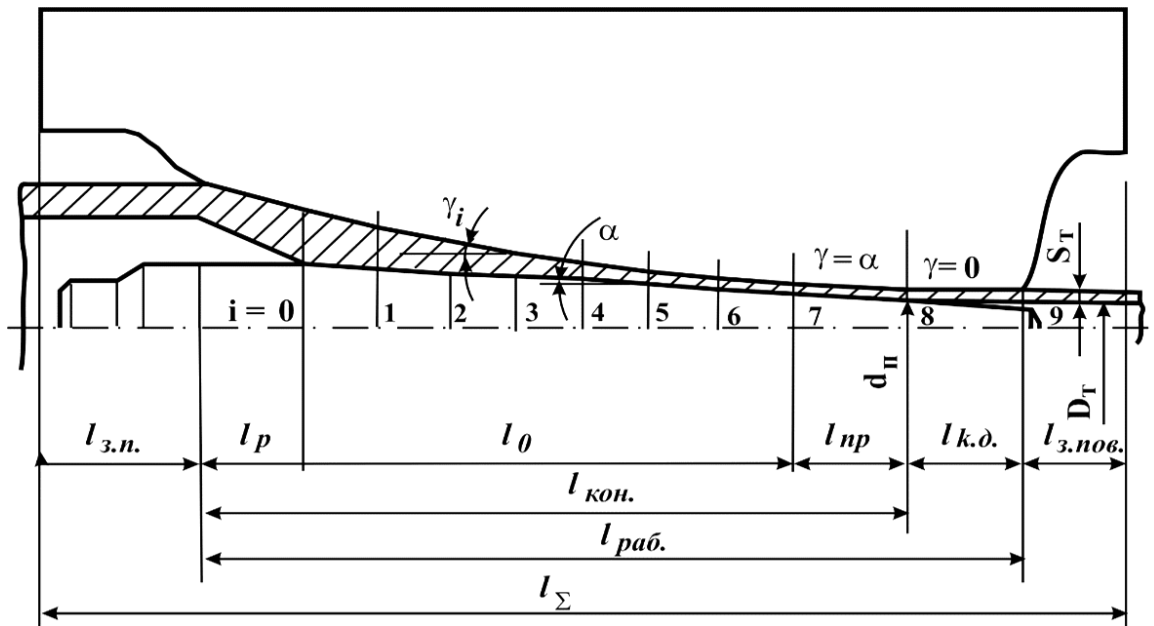


Рисунок 2 – Робочий конус прокатки в процесі холодної пільгерної прокатки труб: $l_{з.п.}$ – довжина ділянки зеву подачі; l_p – довжина ділянки редукування; l_o – довжина ділянки обтиснення стінки; l_{np} – довжина ділянки калібрування стінки; $l_{к.д.}$ – довжина ділянки калібрування діаметра; $l_{з.пов.}$ – довжина зеву повороту труби; $l_{кон.}$ – довжина кінчної частини оправки; $l_{раб.}$ – довжина робочої частини конуса розкатки; l_{Σ} – довжина розгортки рівчака [6]

Розповсюджені два способи холодної прокатки труб. Перший, коли деформування стінки виконують на кінчній оправці. Другий, коли деформування стінки виконують на оправці з криволінійною твірною її повздовжнього профілю.

Для першого способу.

Конусність оправки приймається в залежності від прийнятого маршруту прокатки.

Залежність для визначення товщини стінки S_i в перетині i описується формулою [6]:

$$S_i = \frac{S_0}{\frac{\mu_s - 1}{1 - e^{-n}} \left(1 - e^{-n \frac{x}{l_o}} \right) + 1}, \quad (2)$$

де, S_0 – товщина стінки з урахуванням стовщення при редукуванні;

l_o та x – довжина зони обтиснення та координата перерізу i , відповідно, мм;

μ_s – відношення товщини стінки заготовки до товщини стінки готової труби;

n – коефіцієнт.

Для другого способу.

Застосовують в основному два типи калібровок валків та оправок [6].

Для калібровок першого типу. Вираховують діаметри калібру D_i і діаметр оправки d_i в перетинах зони деформування робочого конуса. По різниці D_i та d_i визначають значення товщини стінки в відповідному перетині i .

Розподіл діаметрів D_i в перетинах рівчака калібру по контрольних перерізах визначають за формулою:

$$D_i = D_T + (D_3 - D_T - \gamma_{\min} \cdot l) \left(\frac{x}{l} \right)^{n+1} + \gamma_{\min} x, \quad (3)$$

де $\gamma_{\min}$ – мінімальна конусність рівчака в кінці конуса деформації;
 x – координата перерізу;
 l – загальна довжина зони обтиснення;
 n – показник ступеня, що визначає крутизну нахилу профілю рівчака.

За аналогічною формулою знаходяться діаметри оправки в контрольних перерізах [4]:

$$d_i = d_T + (d_u - d_T - \gamma_{\min} \cdot l) \left(\frac{x}{l} \right)^{n+1} + \gamma_{\min} x, \quad (4)$$

де $\alpha_{\min}$ – мінімальна конусність оправки в кінці конуса деформації;
 d_u – діаметр циліндричної частини оправки.

Для калібровки другого типу. Діаметр калібру в контрольних перерізах:

$$D_{xK} = D_F + (D_L - D_F - Z - l_i) \left(\frac{x}{l} \right)^E + Z \frac{x}{l}, \quad (5)$$

де D_{xK} – діаметр калібру в місці «х» робочого конуса;
 D_L – зовнішній діаметр труби-заготовки;
 D_F – зовнішній діаметр готової труби;
 Z – бажана мінімальна конусність оправки перед перетиском;
 l_i – зазор між внутрішнім діаметром труби-заготовки та оправки;
 x/l – відносна координата перерізу x ;
 E – коефіцієнт крутизни профілю.

Діаметр оправки у контрольних перерізах:

$$D_{xD} = d_F + (d_L - d_F - z - l_i) \left(\frac{x}{l} \right)^{E_1} + Z \frac{x}{l}, \quad (6)$$

де D_{xD} – діаметр оправки в місці «х»;
 d_L – внутрішній діаметр чорнової труби;
 d_F – внутрішній діаметр готової труби;
 Z – бажана мінімальна конусність;
 E_1 – коефіцієнт крутизни профілю оправок

Програмний продукт який можна використати для розрахунків представлений в джерелі [7].

ВИСНОВКИ

Застосування представленого алгоритму вираховування значень ділильного радіусу ведучих шестерень забезпечить рівність примусового катаючого радіус природному катаючому радіусу.

Це забезпечить природні умові холодної продольної прокатки в калібрах і підніме технічний і технологічний рівень обладнання. а також і технології холодної прокатки труб. Покращаться умовив деформування металу.

Це приведе до кращою поверхні прокатаних труб, зменшення зносу поверхні рівчаків валків та оправок, а також для підвищення міжремонтного часу роботи обладнання стану. Також це потрібно і для проектування при розробці модернізацій чи при розробці нових конструкцій станів холодної прокатки труб.

Список використаних джерел

1. McNair, S., Chaharsooghi, A.S., Carnevale, M., Onnela, A., Daugin, J., Cichy, K., ..., Lunt, A. J.G. (2022). Manufacturing technologies and joining methods of metallic thin-walled pipes for use in high pressure cooling systems. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 118(3-4), pp.667-681. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07982-8>
2. Azizoğlu, Y.; Sjöberg, B.; Lindgren, L.-E (2024). Modeling of Cold Pilgering of Stainless-Steel Tubes. *J. Manuf. Process.* 2024, 112, 112–125. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2024.01.039>
3. Golovchenko O., Grigorenko V., & V. Protsiv V. (2023). Microstructures and mechanical properties of cold rolled pipes with increased small deformation. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 3, 054-059. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-3/054>.
4. Пат. 61108410 Японія, МКИ В21 В 21/00. Пілігримовий стан холодної прокатки труб / Сумітомо кіндзоку кочо (Японія); Масами О., Масахиро К., Мунэкацу К. (Японія). – Опубл. 27.05.86.
5. Григоренко В.У., Куцевол С.В. (2024) розвитку методу визначення змінних параметрів зубчатої пари шестерня - рейка станів холодної прокатки труб для забезпечення природного процесу прокатки. *ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», Наука та виробництво.* № 28 (2024). С 12-18. <https://orcid.org/0000-0002-1809-2842>.
6. Григоренко В.У., Пилипенко С.В., Головченко О.П. (2010). Розвиток методу розрахунку параметрів процесу холодної пільгерної прокатки труб і калібровки інструмента: монографія. *Дніпропетровськ: Пороги.* 120 с.
7. Григоренко В.У., Клименко П.Л., Ханін М.І. (2000). Розрахунки калібровки та зусиль в станах холодної прокатки труб з використанням ЕВМ: [Учб. посібник] - Дніпропетровськ: НМетАУ, 2000. – 22 с

Hryhorenko V.U., Kutsevol S.V.

DETERMINATION OF PARAMETERS OF DRIVE GEARS WITH VARIABLE PITCH RADIUS FOR COLD ROLLING PIPE ROLLING MITTS

Cold rolling pipe mills are widely used for the production of high-quality pipes for critical purposes.

In existing cold rolling pipe mills, the forced rolling radius is constant and equal to the pitch diameter of the drive gear of the drive gear - fixed gear rack pair, and the natural rolling radius is variable and depends on the parameters of the working deformation cone.

The value of the forced rolling radius is taken in practice as the average value between the diameter of the blank pipe and the diameter of the finished pipe, and only in one section of the working cone will the value of the forced rolling radius be equal to the value of the natural rolling radius.

The paper considers the option of using drive gears with a variable pitch radius for each subsequent gear tooth according to the law in accordance with the change in the natural rolling radius.

For the first time, an algorithm for calculating the pitch radius of each tooth of the drive gear is proposed, which ensures the equality of the forced and natural rolling radii along the length of the deformation zone of the working cone according to its parameters for the method when the wall deformation is performed on a conical mandrel and when the wall deformation is performed on a mandrel with a curvilinear generator of its longitudinal profile.

The obtained results are needed to ensure more rational conditions for metal deformation, improve the surface of rolled pipes, reduce wear of the surface of the grooves of rolls and mandrels, as well as to increase the time between overhauls of the mill equipment.

It is also needed for design when developing modernizations or when developing new designs for cold pipe rolling mills.

Keywords: cold pipe rolling mills, natural and forced rolling radial, algorithm for calculating the pitch radius of the driving shaft.

Стаття надійшла 30.04.2025р.

УДК 671.774.35

doi.org/10.31498/2522-9990292025330261

Григоренко В.У., Іскрижицький Д.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОСЕРЕДКУ ХОЛОДНОГО ПІЛЬГЕРНОГО ДЕФОРМУВАННЯ ТРУБИ ПРИ ЗВОРОТНОМУ ХОДІ КЛІТІ

В Україні виробляють значні обсяги холоднодеформованих труб відповідального призначення.

В останнє півтора десятиліття почався процес заміни станів холодної прокатки труб застарілих конструкцій на новітні стани типу KPW, LG, ХПТ.

Особливістю новітніх станів ХПТ 6-20, ХПТ 2-40, ХПТ 20 -45, KPW25, LG20 є те, що вони мають можливість виконувати процес за різними варіантами сполучень подачі та повороту і в тому числі за варіантом з подачею та поворотом перед деформування як прямим так і зворотним ходом кліті. При цьому процес деформування зворотним ходом є мало вивченим.

Такі стани встановлені для забезпечення можливості випускати труби за регламентованими показниками по якості за сучасними стандартами та з високою продуктивністю і відповідно для підвищення конкурентної здатності українських виробників.

В роботі набуло розвитку дослідження осередку деформування труби між нерухомою оправкою та валками, що перекачуються при зворотному ході кліті і висвітлюються позитивні відмінності від процесу деформування при прямому ході кліті.

Отримані результати потрібні для проектування маршрутів прокатки, вибору варіантів застосування сполучень подачі та повороту при прямому та зворотному ході кліті, розробок калібровок інструменту процесу холодного деформування на новітніх станах холодної прокатки труб відповідального призначення з підвищеними якісними показниками.