

РОЗРОБКА ВЕДУЧИХ ШЕСТЕРЕНЬ ЗІ ЗМІННИМ ДІЛІЛЬНИМ РАДІУСОМ У ПАРІ З НЕРУХОМОЮ ЗУБЧАСТОЮ РЕЙКОЮ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИРОДНОГО ПРОЦЕСУ ХОЛОДНОЇ ПІЛЬГЕРНОЇ ПРОКАТКИ ТРУБ

Стани холодної пільгерної прокатки застосовують у промисловості для виробництва труб з високими вимогами до якості.

В Україні працюють багато станів холодної пільгерної прокатки застарілих конструкцій та нові сучасні стани холодної пільгерної прокатки труб ХПТ8-40, КПВ25, ХПТ6-20, ХПТ10-45, LG20 та LG40. Всі ці стани мають один суттєвий недолік – обертання валків здійснюється за рахунок контакту зубців ведучої шестерні з зубцями нерухомої рейки, що розташована на станині стану. Причому примусовий катаючий радіус, що задається ділільним радіусом кола ведучої шестерні, не співпадає з природнім катаючим радіусом у перетинах робочого конусу деформування.

Для вирішення цієї проблеми представлено реалізацію пропозиції, де ведучі шестерні мають кожен зубець, що розташований відповідно зміні катаючого природного радіуса, а кожен зубець нерухомої зубчастої рейки розташований так, що він є заціпленим з зубцями шестерні за закономірностями, що притаманні евольвентному зацепленню зубців шестерні та рейки.

Це забезпечує відповідність примусового катаючого радіуса, що задається відповідністю ділільного радіуса ведучої шестерні до природнього катаючого радіуса, утворюючи потрібний режим деформування металу труби рівчаком валка на нерухомій оправці.

Це знижує рівень осьових сил та сил тертя на поверхні між рівчаком валка та трубою, що деформують. Додатково, це підвищить міжремонтний термін обладнання та якість поверхні готових труб.

Ключові слова: Стани холодної пільгерної прокатки труб, ведуча шестерня, зубчаста нерухома рейка, примусовий та природний катаючий радіус, осьові сили, міжремонтний термін обладнання, якість поверхні труб.

Постановка проблеми. Стани холодної пільгерної прокатки труб з валками широко застосовуються в Україні й у світі у виробництві труб відповідального призначення для сучасних літаків, ракет, підводних і надводних човнів, автомобілів та інших машин.

Основний робочий орган станів холодної прокатки труб – це робоча кліть з валками (рис. 1.)

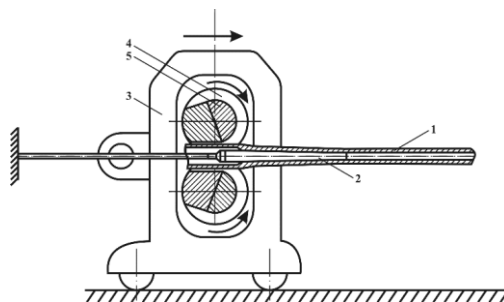


Рисунок 1 – Кліть стану ХПТ, труба та оправка зі стрижнем:
1 - труба; 2 - оправка; 3 - станина; 4 - валок; 5 – калібр [1]

Металургія

На сьогодні всі стани холодної пільгерної прокатки мають привід обертання валків по типу ведуча шестерня на осі валка – нерухома зубчаста рейка. Причому, обертання валків здійснюється за рахунок контакту зубців ведучої шестерні із зубцями нерухомої рейки, що розташована на станині стану (рис. 2).

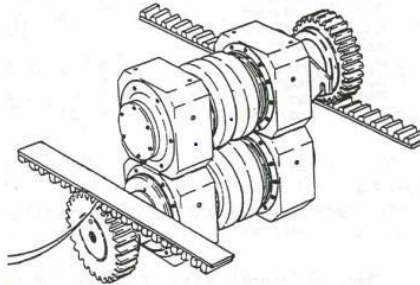


Рисунок 2 – Візуалізація приводу ведуча шестерня – нерухома зубчаста рейка на сучасних станах холодної пільгерної прокатки [2]

В процесі холодної пільгерної прокатки розрізняють природний катаючий радіус та примусовий. Природний катаючий радіус – це радіус від центра калібру валка до поверхні рівчака в точці, де коло швидкість точки рівчака (де знаходиться катаючий радіус R_k) дорівнює швидкості виходу металу з рівчака у разі вільної повздовжньої прокатки.

$$R_k = R_o - 0,76R_t \quad (1)$$

де, R_o – ідеальний радіус бочки валка, що дорівнює діаметру бочки валка, плюс зазор між валками при прокатці, R_t – радіус труби на виході металу з рівчака.

Примусовий катаючий радіус – це радіус, який дорівнює радіусу ділильного кола ведучої шестерні.

Така система приводу валків ведуча шестерня – нерухома зубчаста рейка має суттєвий недолік – тільки в одному перетині робочого конусу (поблизу середини довжини робочого конусу деформування) природний катаючий радіус дорівнює примусовому, що є рівним радіусу ділильного кола ведучої шестерні.

В інших перетинах збільшуються відносні швидкості ковзання поверхні рівчака валка та зовнішньої поверхні труби. Йде підвищений знос поверхні рівчака валка та погіршується якість поверхні труб.

Для зменшення цих негативних складових на поверхню труб наносять розділяючі шари матеріалів та застосовують мастила і охолоджуючі рідини.

Потрібно наблизити примусовий катаючий радіус до природнього. Це значно підвищить якість труб і покращить експлуатаційні показники обладнання станів холодної пільгерної прокатки труб.

В останні роки на українських підприємствах встановили імпорتنі стани ХПТ8- 40, КПВ25, ХПТ6-20, ХПТ10-45, LG20 та LG40, на яких привід валків виконується також за системою ведуча шестерня – нерухома зубчаста рейка.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомі описані в роботах [3, 4] пропозиції для нівелювання невідповідності примусового катаючого радіуса природньому, які були випробувані на практиці, вони такі:

- по перше, застосування шестерень, які мають зміщення отвору посадки на вісь валка на невелику відстань від центру осі валка;

- по друге, переміщення рейки під час прокатки;
- по третє, застосування рейки з перемінним кроком зубців.

Але такі рішення не знайшли використання на практиці.

Відома також пропозиція із застосування шестерні, де кожен зубець має контакт з зубцем рейки де зубці розташовані уздовж кривої, що описує зміну природнього катаючого радіусу [3, 7] та пропозиція із застосування нахиленої рейки, що наближує криву зміни примусового катаючого радіусу до природнього. В цих пропозиціях дільний радіус шестерні змінюється відповідно зі зміною природнього катаючого радіусу уздовж обтискної зони робочого конусу деформування.

У роботах [3, 4, 5 та 6] наведено розробки з розвитку пропозиції із застосування шестерні зі змінним ділільним радіусом.

Мета дослідження. Метою статті є представлення реалізації пропозиції по використанню шестерні зі змінним ділільним радіусом в парі з рейкою у САД-системах тривимірного моделювання, коли кожен її зубець розташовується у контакті із зубцями рейки за закономірностями, притаманними евольвентному зачепленню зубців шестерні та рейки.

Основний матеріал дослідження. Для забезпечення роботи шестерні з перемінним ділільним колом, її зубці встановлені таким чином у відношенні до зубців нерухомої рейки, що відстань між рейкою та центром обертання шестерні залишалася незмінною під час перекочування зубців шестерні по зубцях рейці відповідно до теорії евольвентного зачеплення (рис.3).

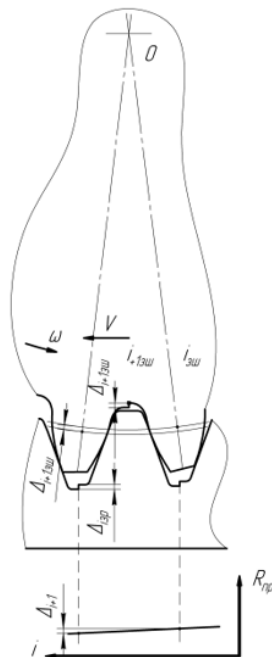


Рисунок 3 – Контури зубців ведучої шестерні в купі із зубчастою нерухомою рейкою стану холодної прокатки труб, де кожен зубець шестерні розташовано на іншому ділільному колі, діаметр якого змінено відповідно зі зміною природнього катаючого радіусу, а кожен зубець шестерні розташовується в контакті з зубцями рейки по закономірностям, притаманним евольвентному зачепленню зубців шестерні та рейки (прямий хід кліті справа уліво):

I – номер зубця; Δ – зміна природнього катаючого радіусу; $зш$ – зубець шестерні; $зр$ – зубець рейки; $R_{пр}$ – природний катаючий радіус; V – поступова швидкість валка; ω – кутова швидкість валка

Металургія

Але для кожної пари зубців шестерні та рейки діаметр ділительного кола шестерні змінюється (зменшується або збільшується), що, відповідно, змінює передавальне число зубчастої пари за певним законом, найпростішим з яких є лінійна функція.

Поява технологій CAD, CAM (наприклад, пакетів тривимірного моделювання та технологічного підготування виробництва Autodesk, Solidworks, Esprit та інші) дала можливість виконати розробки зубчастого зачеплення пари шестерня – рейка для станів холодної пильгерної прокатки труб зі змінними значеннями розмірів ділительного кола та профілів зубців (рис. 4 та рис.5).

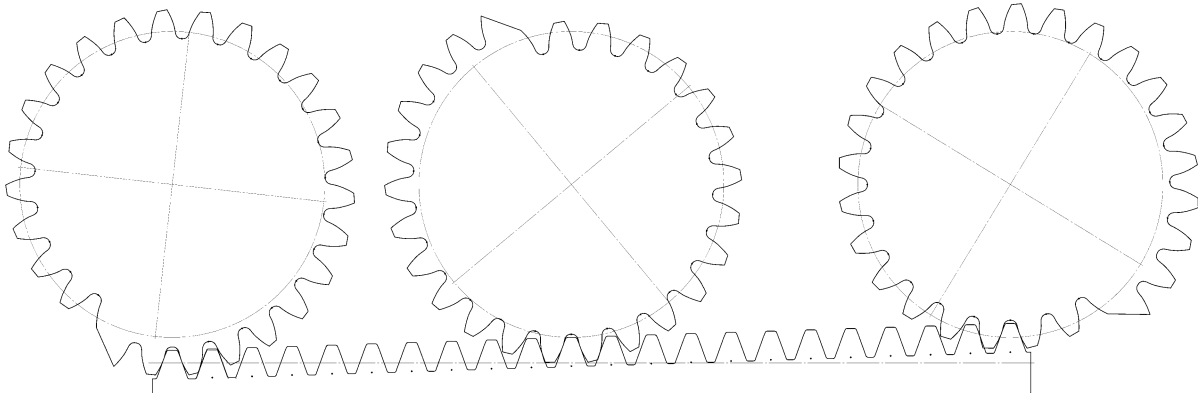


Рисунок 4 – Ведуча шестерня зі змінним значенням ділительного кола зубців у парі з нерухомою зубчастою рейкою для забезпечення природнього процесу холодної пильгерної прокатки труб (прямий хід кліті справа уліво)



Рисунок 5 – 3D модель розробки ведучої шестерня зі змінним значенням ділительного кола зубців у парі з нерухомою зубчастою рейкою для забезпечення природнього процесу холодної пильгерної прокатки труб

Поява верстатів електроерозійної різки та багатовісних фрезерувальних оброблювальних центрів з числовим програмним керуванням дає поштовх на масову реалізацію запропонованого методу в промисловості для покращення технологічних можливостей процесу холодної пильгерної прокатки і відповідно експлуатаційних характеристик обладнання.

ВИСНОВКИ

В Україні працюють багато станів холодної пильгерної прокатки труб, де обертання валків здійснюється за рахунок контакту зубців ведучої шестерні з зубцями нерухомої рейки, що розташована на станині стану.

В таких станах примусовий катаючий радіус, що задається ділильним радіусом кола ведучої шестерні, не співпадає з природнім катаючим радіусом у перетинах робочого конусу деформування. Це збільшує інтенсивність тертя між поверхнями валків та труб в осередку деформування і знижує технологічні можливості.

В роботі представлена реалізації пропозиції із застосування шестерні з змінним ділильним радіусом зубців в парі з рейкою у тривимірній комп'ютерній моделі, коли кожен зубець розташовується в контакті із зубцями рейки відповідно закономірностям, притаманним евольвентному зачепленню зубців шестерні та рейки.

Поява верстатів електроерозійної різки та багатовісних фрезерувальних оброблювальних центрів з числовим програмним керуванням дає поштовх на масову реалізацію запропонованого методу в промисловості задля покращення технологічних можливостей процесу холодної пильгерної прокатки і, відповідно, експлуатаційних характеристик обладнання.

Список використаних джерел

1. Григоренко В.У., Пилипенко С.В., Головченко О.П. (2014). Розвиток методу розрахунку параметрів процесу холодної пильгерної прокатки труб і калібровки інструмента: Монографія. Дніпропетровськ: Пороги. 120 с.
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. Григоренко В.У., Куцевол С.В. (2024). Розвитку методу визначення змінних параметрів зубчастої 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>.
4. Володимир Григоренко, Сергій Куцевол. (2025). Визначення параметрів ведучих шестерень з змінним ділильним радіусом для станів холодної прокатки труб. *Наука та виробництво.* № 29 (2025). <https://doi.org/10.31498/2522-9990292025330259>. 95-101.
5. Григоренко В.У., Куцевол С.В. (2024) Забезпечення рівності природного та примусового катаючого радіусу по довжині зони деформування при холодній прокатці труб. *Університетська наука - 2024 : тези доп. Міжнар.науково-техн. конф. (Дніпро, 23-24 травня 2024 р) : в 3 т. Т. 1: факультети: Навчально-науковий інститут сучасних технологій, машинобудування та зварювання, транспортний, інформаційних технологій / ДВНЗ «ПДТУ». – Дніпро: ДВНЗ«ПДТУ», 2024. – 331 с., с.27-29. https://drive.google.com/file/d/1GUhI_j5-ZS--VIMLesla7Ev0c_TQtd97/view.*
6. В.У. Григоренко, С.В. Куцевол. (2024). Умови відповідності кінематики течії металу та руху валків в станах холодної прокатки труб. *II Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми і перспективи розвитку сучасних технологій»: тези доповідей: Дніпро: ПДТУ, 2024.*
[file:///C:/Users/admin/Downloads/%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8_%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%97%202024.p](file:///C:/Users/admin/Downloads/%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8_%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%97%202024.pdf)
df162 с. С38-40.

7. 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.

Grigorenko V.U., Protsiv V.V., Kutsevol S.V.

DEVELOPMENT OF DRIVE GEARS WITH VARIABLE PITCH RADIUS IN PAIR WITH A FIXED GEAR RACK TO PROVIDE A NATURAL PROCESS OF COLD PIPE ROLLING

Cold pilger rolling mills are used in production to obtain high quality pipes. In Ukraine, many HPT mills of the old design and new modern cold pilger rolling mills of HPT8-40, KPV25, HPT6-20, HPT10-45, LG20 and LG40 operate.

All these mills have one significant drawback - the rotation of the rolls is carried out due to the contact of the teeth of the drive gear with the teeth of the fixed rack, which is located on the mill bed. In this case, the forced rolling radius, which is given by the dividing radius of the driving gear circle, does not coincide with the natural rolling radius in the sections of the working cone of deformation.

To solve this problem, an implementation of the proposal is presented where the driving gears have each tooth located in accordance with the change in the natural rolling radius, and each tooth of the stationary gear rack is located so that it is meshed with the gear teeth according to the laws present in the involute meshing of the gear teeth and the rack.

This ensures that the forced rolling radius, which is given by the dividing radius of the driving gear, corresponds to the natural rolling radius, which is given by the given mode of deformation of the pipe metal by the roll groove on a stationary mandrel.

This reduces the level of axial forces and friction forces on the surface between the roll groove and the pipe. What is deformed. In turn, this will increase the equipment's maintenance interval and the surface quality of finished pipes.

Keywords: Cold rolling mills, driving gear, fixed rack, forced and natural rolling radius, axial forces, equipment's maintenance interval, pipe surface quality.

Стаття надійшла 23.11.2025р.

УДК 621.774.2

doi.org/10.31498/2522-9990302025347108

Овсяников В.В.

ДО ПИТАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАКОРДОННИХ МАРОК СТАЛЕЙ ДЛЯ ВІТЧИЗНЯНИХ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВІДІВ

В Україні в 2019-2022 роках на підприємстві НВП УКРТРУБОІЗОЛ введена в експлуатацію сучасна імпортна лінія з повним технологічним циклом та з спеціалізованим обладнанням по виробництву зварних сталевих труб великого діаметру. Ця лінія забезпечує можливість виробництва за технічними вимогами відповідно сучасним міжнародним стандартам і нормам.