

Григоренко В.У., Іскрижицький Д.В.

СКЛАДОВІ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО КІНЕМАТИЧНОГО РЕЖИМУ В ОСЕРЕДКУ ПЛАСТИЧНОГО ДЕФОРМУВАННЯ МЕТАЛУ У ХОЛОДНОЇ ПРОКАТЦІ ТРУБ ВАЛКАМИ

Холодна прокатка труб валками застосовується у виробництво труб підвищеної якості по показникам точності їх по діаметру та по товщині стінки так і по відповідності мікроструктури та механічних властивостей металу вимогам стандартів та норм.

Конструкція станів холодної прокатки середніх та великих діаметрів труб така, що довжині ходу кліті задається примусовий катаючий радіус як правило для декілька сорторозмірів труб. Для забезпечення прокатки труб всього сортаменту стану застосовують декілька ведучих шестерен і прямозубу рейку. Рейку при цьому встановлюють відповідно діаметрові шестерні. Це приводить до того, що різниця між природним катаючим радіусом, що змінюється відповідності до діаметра прокатуємих труб та примусовим катаючим радіусом, що задається конструкцією стану і параметрами ведучої шестерні є значна і такою, що приводить до ковзання поверхні валків по трубі, що деформується в миттєвому осередку деформації. Це приводить до зносу валків і збільшення осьових сил.

Потрібно вирішувати проблему забезпечення малої різниці між примусовим катаючим радіусом і природним.

В роботі розглядається складові розвинутого методу розрахунку параметрів шестерні та прямозубої рейки, що забезпечують мінімально можливу різницю між примусовим катаючим радіусом і природним для прокатки кожного типорозміру труб.

Це дозволяє значно знизити швидкості ковзання між поверхнею валка та трубою в осередку деформування та осьові сили.

В свою чергу це виводить обладнання стану та процес прокатки на більш досконалий технічний рівень.

Ключові слова: *холодне пластичне деформування труб, стан холодної прокатки труб, примусовий та природний катаючий радіуси, швидкості ковзання поверхні валка по поверхні металу труби, осьові сили.*

Постановка проблеми. Для виробництва труб підвищеної якості як по показникам точності розмірів їх поперечного перетину так і по відповідності мікроструктури та механічних властивостей металу вимогам стандартів та норм широко застосовують стани холодної прокатки труб валками.

Труби деформують валками, що мають рівчак з змінним поперечним профілем по периметру валка на нерухомій оправці конічної чи з криволінійною твірною форми (рис.1).

В діючих станах холодної прокатки труб типу кінематична взаємодія поверхні рівчака валка та поверхні металу труби задається величиною діляльного радіусу ведучої шестерні, що розташована на торцях вісі валків і яка опирається на нерухому зубчасту рейку (рис. 1).

На таких станах можливо прокатувати орієнтовно до 10...15 сорторозмірів труб за діаметром. Тоді для цього потрібно мати таку ж кількість шестерен з різним діляльним радіусом. Це великий парк шестерен. А також потрібен час на заміну шестерен на новий сорторозмір труб. Щоб скоротити кількість шестерен застосовують два – чотири розміри зубчастих коліс, кожний для декількох сорторозмірів труб.

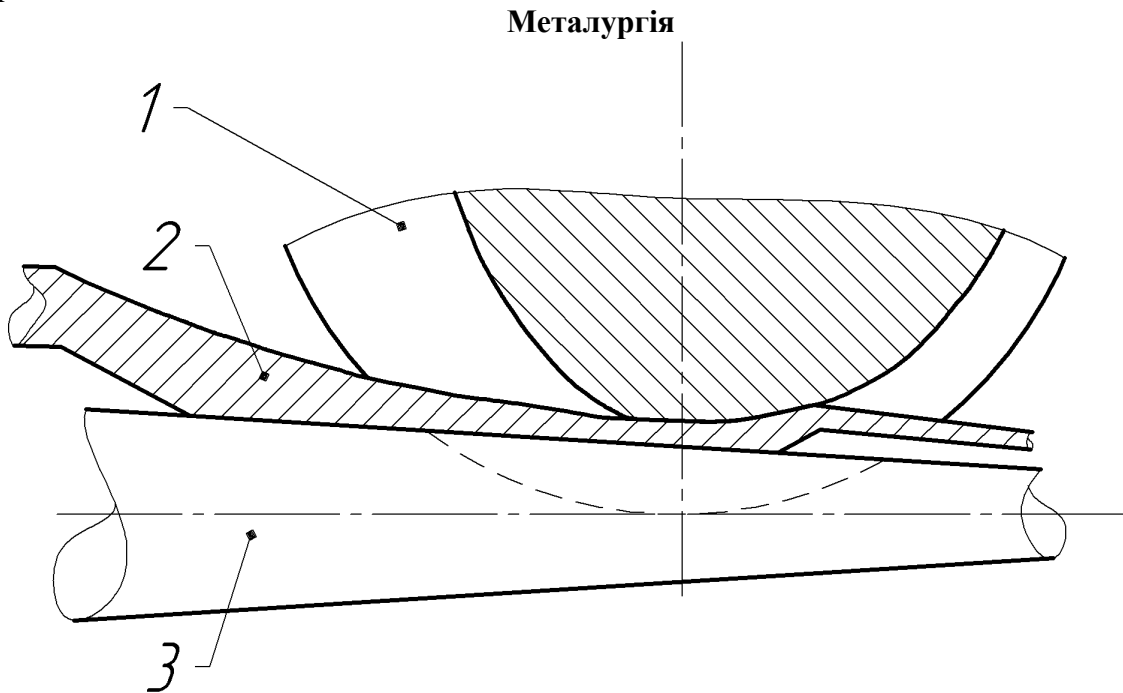


Рисунок 1 – Схема процесу холодної періодичної валкової прокатки на стані типу ХПТ: 1 – валок, 2 – робочий конус деформування, 3 – оправка

Напрямок розвитку процесу холодної прокатки труб і відповідно конструкції станів є модернізація системи ведуча шестерня – нерухома рейка для того щоби для кожного сорторозміру труби заготовки і готової труби мати відповідний радіус ділильного кола.

Це дозволить більш раціонально налаштувати кінематику процесу прокатки і відповідно силову картину навантаження на деталі стану. Також, це дозволить значно зменшити осьові сили, зменшити знос ривчаків валків, поліпшити поверхню труб та збільшити міжремонтний період роботи стану.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У світі проблемам розвитку виробництва труб холоднодеформованих приділяють потрібну вагу [1]. Україна є державою де виробляють значні обсяги холоднокатаних труб. Використовують стани типу ХПТ, КРВ, G [2].

Відомі дослідження з визначення значень осьових сил з прокатки труб на [2] показали, що невелика зміна, наприклад, діаметра валка дає значні зміни осьової сили (таблиця 1).

Таблиця 1 Результати розрахунків осьового зусилля у прямому й зворотному ходах під час прокатки труби зі сплаву Gr-2 за маршрутом 26×1,7→19,05×0,99 на стані КРВ-25 [2].

Діаметр бочки валка, мм	Максимальні осьові зусилля при прямому ході, кН*	Максимальні осьові зусилля при зворотному ході, кН*
209	11,5	10,4
210	6,7	7,8
211	5,97	5,2
212	8,8	4,6
213	12,26	5,46

* модуль

Металургія

На станах КРВ для прокатки труб малих діаметрів застосовують лише кілька розмірів ведучої шестерні, а для кожного розміру шестерні розраховують і змінюють (переточують) діаметр валків і таким чином створюють раціональні кінематичні умови прокатки за рахунок зменшення величин різниці колових швидкостей поверхні рівчака валка та зовнішньої поверхні труби [2].

На станах холодної прокатки труб середніх та великих розмірів переточка діаметра валків не має сенсу по причині необхідності в переточуванні величин мас металу валка при зменшенні діаметра валка, наприклад, діаметром до 456 мм. Тому і міняють ведучі шестерні і піднімають чи опускають нерухому рейку відносно станини стана. Це роблять за допомогою встановлення прокладок між рейками та станиною.

Мета дослідження. Метою статті є представлення з розвитку методу визначення раціонального кінематичного режиму в осередку пластичного деформування металу у холодній прокатці труб валками. Розвиток методу направлено на зниження різниці між примусовим та природним катаючими радіусами. Це покращить кінематичні умови процесу холодної прокатки труб і приведе до зменшення інтенсивності тертя між поверхнями валків та труб в осередку деформування. Як наслідок зменшиться знос калібрів, знизять осьові сили. результати дослідження можуть бути в пригоді для конструкторів та технологів, що працюють в галузі виробництва обладнання та в галузі виробництва холоднодеформованих труб.

Основний матеріал дослідження. Обладнання станів холодної прокатки труб відносять до найбільш складних в обробці металів тиском (рис.2).

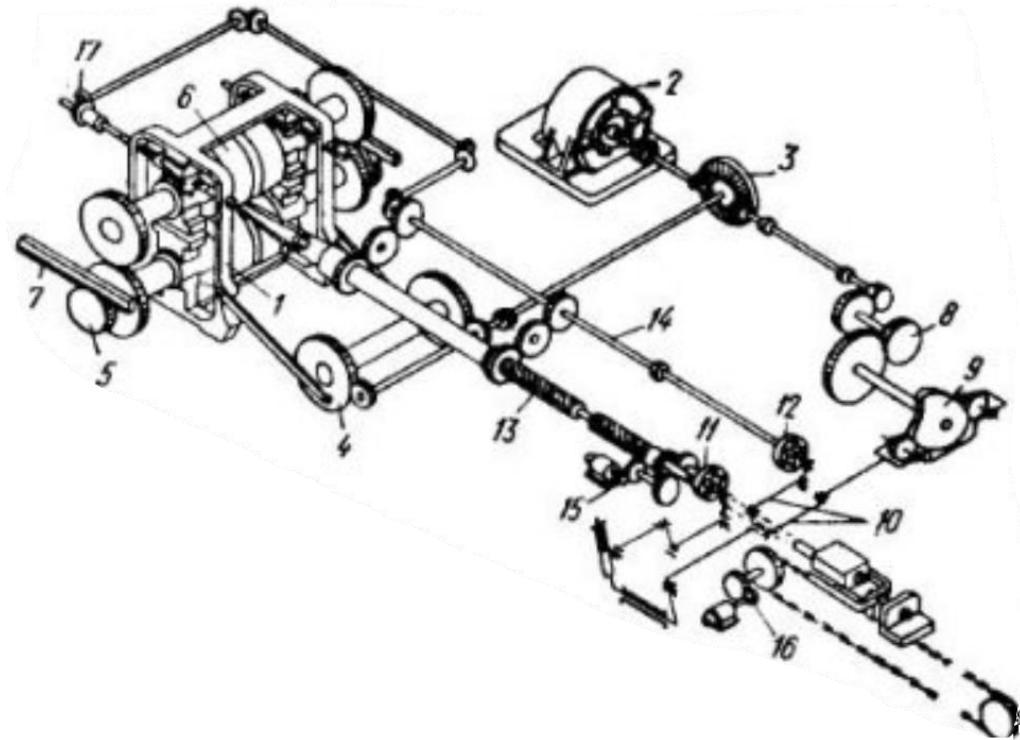


Рисунок 2 – Кінематична схема стану типу ХПТ: 1-робоча кліть; 2- головний двигун; 3 – редуктор; 4 - кривошипно-шатунний механізм; 4 - валки; 5- ведуча шестерня; 6 - торці валків; 7- нерухомі шестеренчаті рейки;

Металургія

Поперечний перетин рівчака валка має форму половини кола. Колова швидкість точок поверхні рівчака по його ширині є змінною. У вершині рівчака валка вона менша ніж біля бочки валка. В процесі холодної прокатки труб застосовують поняття примусовий катаючий радіус, що характеризує кінематику переміщення точок поверхні рівчака валка і природний катаючий радіус, що відповідає в процесі вільної прокатки точці на поверхні рівчака калібру в перетині виходу труби з валка, де горизонтальна швидкість точки поверхні калібру і точки поверхні робочого конусу деформування однакові.

В основному примусовий катаючий радіус приймають рівним середньому арифметичному діаметрів труби - заготовки та прокатоної труби чи діаметру робочого конусу деформування, який знаходиться орієнтовно посередині довжини робочого конусу деформування (рис. 3).

Тоді від початку робочого конусу деформування до точки i положення валка (див. рис.3) вся поверхня валка в осередку деформації буде мати швидкість меншу, а від положення i до кінця робочого конусу деформування більшу ніж потрібна для природного процесу прокатки. Таким чином до i після точки i будемо мати протилежне направлення ковзання поверхні валка і поверхні робочого конусу.

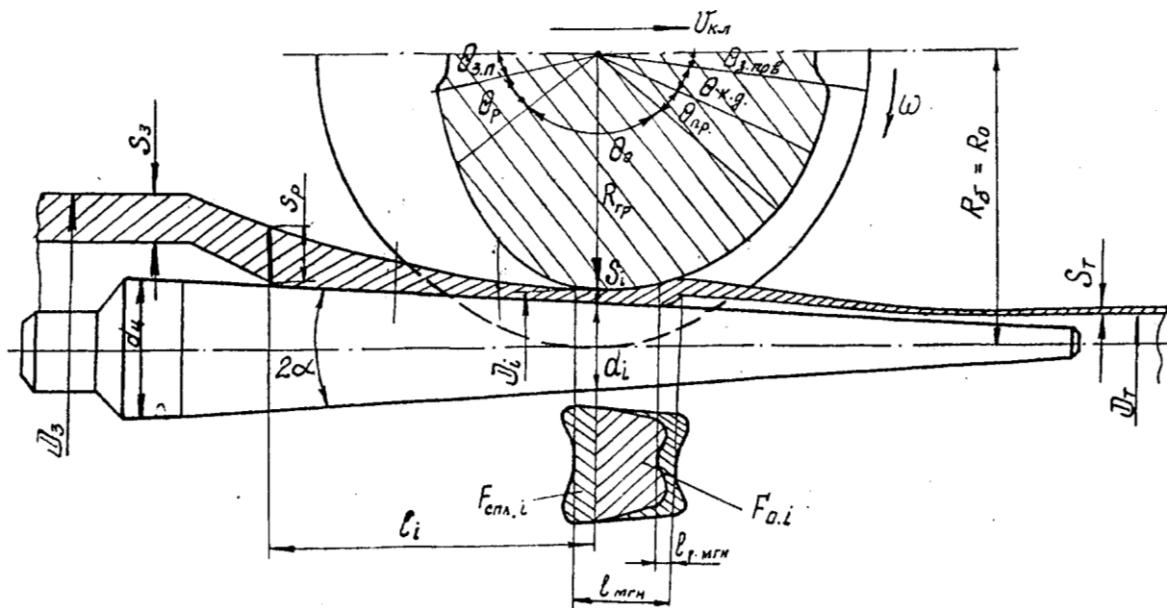


Рисунок 3 – Геометричні параметри (сумарного) робочого конусу деформування та миттєвого осередку деформації [3]: $\theta_{3.n}$ - зев подачі; θ_p - ділянка редукування; θ_o - обтисної ділянка; θ_{np} - передоздоблювальна ділянка; $\theta_{к.д}$ - ділянка калібрування діаметра; $\theta_{3.пов}$ - зев повороту; D_3 - діаметр заготовки; d_u - діаметр циліндричної частини оправки; S_3 - товщина стінки заготовки; S_p - товщина стінки в кінці зони редукування; 2α - два кута конусності оправки; D_i - діаметр робочого конусу у положенні i ; S_i - товщина стінки у положенні i ; R_{gp} - радіус гребня рівчака валка; d_i - діаметр оправки в положенні i ; R_b - радіус ідеального діаметра валка; S_m - товщина стінки прокатоної труби; D_r - діаметр прокатоної труби; $F_{o,i}$ - горизонтальна проекція поверхні осередка деформації; $F_{зпл.i}$ - величина збільшення $F_{o,i}$ з-за площення валка в положенні i ; $L_{мгн}$ - довжина миттєвого осередка деформування; L_i - довжина міся положення миттєвого осередка деформації від початку зони обтиснення; $L_{р.мгн}$ - довжина зони редукування в миттєвому осередку деформування.

Металургія

Інтенсивне ковзання та великі контактні напруження приводять до налипання частин металу на поверхню валків. Далі ці краплини металу руйнують при прокатці поверхню труби. Йде брак. Для запобігання цьому застосовують мідне чи фосфатне покриття труб у разі прокатки труб з вуглецевих марок сталей. Застосовують також змазки з високою вязкістю.

Природний катаючий радіус визначають по наступній залежності (див. рис. 3)

$$R_{npk} = R_o - 0,76D_i/2$$

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

D_i - діаметр круглого перерізу робочого конусу в положенні i кліті, що є змінним по довжині робочого конусу

Примусовий катаючий радіус визначається наступним чином

$$R_{примк} = k[R_o + (D_z + D_t)/2] - \text{діаметр прокатаної труби};$$

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

D_z - діаметр заготовки

D_t - діаметр прокатаної труби;

k - коефіцієнт, що враховує кривизну гребня рівчака валка. $k = 0,7-0,8$.

Максимальний обтиск по діаметру в станах холодної прокатки становить орієнтовно тридцять процентів. Сортамент станів по діаметру, наприклад, стану КРВ-75 75-45 мм. Діаметр валків 400 мм. По радіусу зовнішнього кола поперечного перетину труби це 37,5-22,5мм.

Природний катаючий радіус для всіх труб сортаменту стана буде змінюватись лише на 15 мм. (37,5-22,5=15)мм [4,5,6].

Рейка знаходиться в заціпленні з ведучою шестернею. Рейка має прямий зуб. Таким чином пропонується на зубчастому колесі зробити зуб на 15 мм довшим. Для цього треба підібрати стандартний зуб з більшим модулем, чи спроектувати спеціальний подовжений зуб на шестерні та на рейці.

ВИСНОВКИ

Приведено складові розвиненого методу визначення параметрів шестерні та прямозубої рейки, що забезпечують мінімально можливу різницю між примусовим катаючим радіусом і природним для прокатки кожного типорозміру труб на станах холодної прокатки труб валками

Це дозволяє значно знизити швидкості ковзання між поверхнею валка та трубою в осередку деформування та осьові сили.

В свою чергу це виводить обладнання стану та процес прокатки на більш досконалий технічний рівень.

Отримані результати дослідження можуть бути корисними для проєктантів обладнання станів холодної прокатки труб та для технологів, що заняті виробництвом холоднодеформованих труб.

Металургія

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. 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.
3. 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.
4. Григоренко В.У., Іскрижицький Д.В. (2024). До розвитку методу визначення раціонального кінематичного режиму в осередку пластичного деформування металу у холодній прокатці труб валками. 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.30-31. https://drive.google.com/file/d/1GUhI_j5-ZS--VIMLesla7Ev0c_TQtd97/view
5. V.U. Grihorenko, D.V. Iskryzhitskyi Development of the method of determining the rational kinematic mode in the process of cold rolling of pipes with rolls. 17th SYMPOSIUM „MATERIALS AND METALLURGY“ supplement of “Book of Abstracts”, METALURGIJA 63 (2024) 3-4, 477-492. <https://hrcak.srce.hr/file/456175>
6. Григоренко В.У., Іскрижицький Д.В. (2024). Складові методу визначення раціонального кінематичного режиму в осередку пластичного деформування металу у холодній прокатці валками. Проблеми і перспективи розвитку сучасних технологій в контексті відбудови і сталого розвитку України - 2024 : тези доп. Міжнар. науково-техн. конф. (Дніпро, 28-29 листопада 2024 р) : Навчально-науковий інститут сучасних технологій / ДВНЗ «ПДТУ». – Дніпро: ДВНЗ«ПДТУ», 2024. – 99 с., с.52-54. <https://pstu.edu.uk/fakultety-2/navchalno-naukovyj-institut-suchasnyh-tehnologij/>

Hrygorenko V.U., Iskryzhitskyi D.V.

COMPONENTS OF THE METHOD OF DETERMINING THE RATIONAL KINEMATIC MODE IN THE CENTER OF PLASTIC DEFORMATION OF METAL IN COLD ROLLING OF PIPES WITH ROLLS

Cold rolling of pipes with rolls is used in the production of high-quality pipes according to their accuracy in terms of diameter and wall thickness, as well as compliance of the microstructure and mechanical properties of the metal with the requirements of standards and norms.

The design of the cold rolling mills of medium and large diameter pipes is such that the forced rolling radius is set to the length of the cage stroke, as a rule, for several sizes of pipes. To ensure the rolling of pipes of the entire steel range, several drive gears and a spur gear are used. At the same time, the rails are installed with gears of corresponding diameter. This leads to the fact that the difference between the natural rolling radius, which varies according to the diameter of the rolled pipes, and the forced rolling radius, which is set by the design of the mill and the parameters of the driving gear, is significant and such that it leads to the sliding of the surface of the rolls along the

Металургія

pipe, which is deformed in an instant center of deformation. This leads to wear of the rolls and an increase in axial forces.

It is necessary to solve the problem of ensuring a small difference between the forced rolling radius and the natural one.

The work considers the components of the developed method of calculating the parameters of the gear and spur gear, which ensure the minimum possible difference between the forced rolling radius and the natural one for rolling each standard pipe size.

This makes it possible to significantly reduce the sliding speed between the surface of the roll and the pipe in the center of deformation and axial forces.

In turn, this brings the mill equipment and the rolling process to a more advanced technical level.

Keywords: cold plastic deformation of pipes, state of cold rolling of pipes, forced and natural rolling radii, sliding speed of the roll surface on the metal surface of the pipe, axial forces.

Стаття надійшла 18.09.2024р.

УДК 671.774.35

doi.org/10.31498/2522-9990282024318316

Григоренко В.У., Куцевол С.В.

ДО РОЗВИТКУ МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ЗМІННИХ ПАРАМЕТРІВ ЗУБЧАТОЇ ПАРИ ШЕСТЕРНЯ - РЕЙКА СТАНІВ ХОЛОДНОЇ ПРОКАТКИ ТРУБ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИРОДНОГО ПРОЦЕСУ ПРОКАТКИ

Для виробництва високоякісних труб використовують значну кількість станів холодної прокатки труб. Холодну прокатку труб виконують валками на нерухомій оправці конічної форми чи з криволінійної твірною. Обертання валків забезпечується через розташоване на вісі валків ведуче зубчасте колесо, що контактує з зубчастою рейкою. Передаточне число є незмінним при переміщенні кліті і це приводить до невідповідності примусового катуючого радіуса природному. Це приводить до великих осьових сил та необхідності нанесення вартісних підсмазочних шарів та спеціальної змазки на труби. Потрібно вирішувати проблему забезпечення примусового катуючого діаметра природному.

В роботі розглядається розвинутий метод розрахунку параметрів зубчастого колеса зубчастої рейки, де кожний наступний зуб знаходиться на іншому ділільному колі, а різниця між ними дорівнює зміні природного катуючого радіусу у відповідному положенні пари зуб колеса та зуб колеса.

Вперше отримано розвинутий метод визначення змінних параметрів зубчастого колеса та рейки, що відрізняються тим, що забезпечується рівність примусового катуючого радіусу та природного радіусу по довжині ходу кліті у процесі холодної прокатки труб. Це дозволяє значно знизити осьові сили при холодній прокатці труб, знизити швидкості ковзання між поверхнею валка та трубою в осередку деформування.

Отримані результати потрібні при проектуванні нових станів холодної прокатки труб та для модернізації діючих, а також для підвищення рівня технології холодної прокатки труб з точки зору якості труб та підвищення міжремонтного часу обладнання стану.

Ключові слова: холодна прокатка труб, природний та примусовий катуючий радіуси, швидкості ковзання поверхні валка по поверхні металу труби, осьові сили.

Постановка проблеми. На станах холодної прокатки виробляють труби підвищеної якості для застосування в різноманітних агрегатах відповідального призначення. Такі труби відрізняються від гарячекатаних значно більш якісною поверхнею, точністю геометрії,