

УДК 621.774.35.016.3

І.В. Маркевич, В.У. Григоренко, П.В. Дрожжа

ВИЗНАЧЕННЯ ВЕЛИЧИНИ КАТАЮЧОГО РАДІУСА ПРИ НЕРІВНОМІРНОМУ РОЗПОДІЛІ НОРМАЛЬНИХ КОНТАКТНИХ НАПРУЖЕНЬ УЗДОВЖ ПЕРИМЕТРА КАЛІБРУ

У статті розглянуті питання з урахування нерівномірності розподілу нормальних контактних напружень уздовж периметра калібру при визначенні природного катаючого радіуса у процесі періодичної роликової прокатки труб.

Ключові слова: катаючий радіус, нормальні контактні напруження, робочий конус.

В статье рассмотрены вопросы по учету неравномерности распределения нормальных контактных напряжений по периметру калибра для определения естественного катающего радиуса по сечениям рабочего конуса.

Problem of taking into account the nonuniformity of distribution of the normal contact stresses along the periphery of the pass had been dealt in the present paper in purpose of determining the natural rolling radius in the cross sections of the working cone.

Вступ. Холодна періодична роликова прокатка труб (ХПТР) застосовується, в основному, для виробництва високоякісних особливотонкостінних труб.

Труби, які виробляють за допомогою процесу ХПТР, широко використовують у таких галузях, як машинобудування, суднобудування, авіабудування, атомна енергетика тощо. Холоднодеформовані особливотонкостінні труби відрізняються високим рівнем пропонованих до них вимог по точності геометричних розмірів, механічним властивостям, структурі, якості поверхні [1].

Прокатка труб на стані ХПТР здійснюється роликами на нерухомій циліндричній оправці, які спираються на опорну планку, яка має змінний профіль.

На опорну планку робочі ролики спираються цапфами, опорні планки забезпечують зміну кільцевого зазору між калібром та оправкою по довжині ходу робочої кліті по закону закладеному у профілі опорної планки. З початку робочого ходу кільцевий зазор більший ніж у кінці.

На початку робочого ходу здійснюють подачу та поворот заготовки. Завдяки кантуванню здійснюється розкатка випусків, що утворилися при прямому ході. Один цикл прокатки здійснюється за подвійний хід кліті, що включає прямий і зворотний ходи.

Проблема. При прокатці особливотонкостінних труб виникає вріз торців труби, що прокатується та труби - заготовки. Цей вріз виникає

внаслідок дії осьових сил викликаних тим, що природний та примусовий катаючий радіус відрізняються по перерізах робочого конуса. Природним називають такий радіус, який ділить площу контактної поверхні на зони випередження та відставання, при яких осьові сили дорівнюють нулю. Примусовим є радіус, обумовлений існуючою конструкцією стана, тобто конструкцією його важільної системи. Відомо, що у станах ХПТР примусовий катаючий радіус розраховується таким чином, що тільки в одному з кінцевих перерізів робочого конуса він дорівнює природному.

Григоренком В.У. та Маркевичем І.В. запропонований стан ХПТР [2] з регулюванням довжини куліси, що дозволяє у процесі прокатки змінювати положення примусового катаючого радіуса і робити його рівним природному.

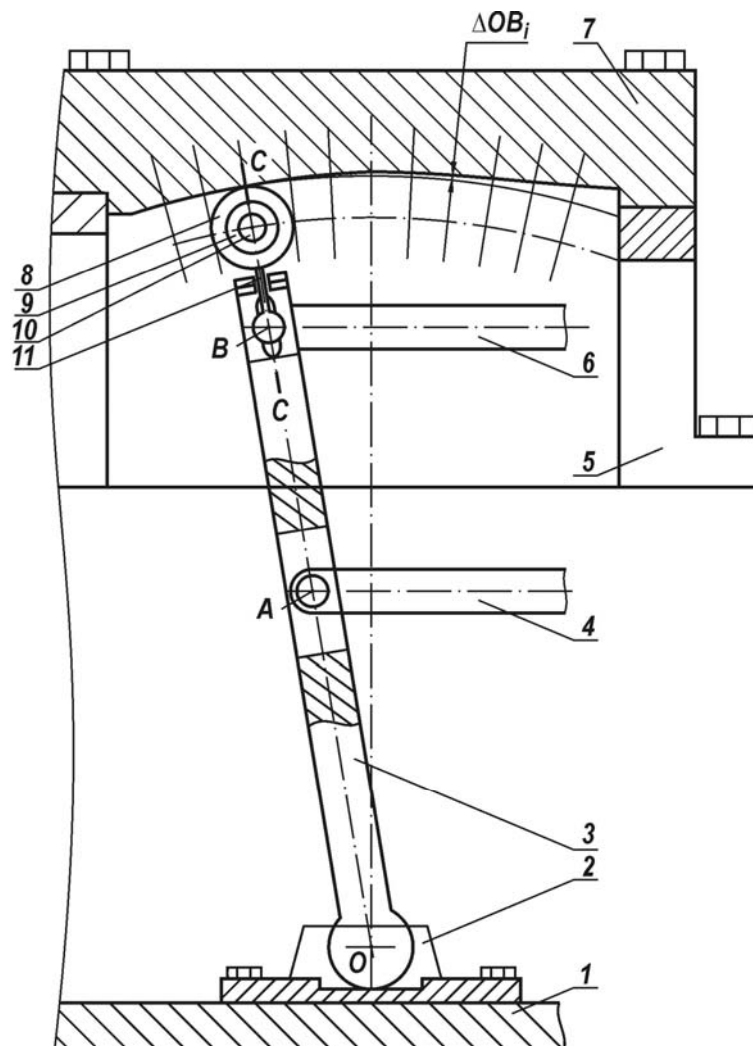


Рисунок 1 – Пристрій для мінімізації осьових сил, де 1 – станіна стана; 2 – основа куліси; 3 – куліса; 4 – тяга сепаратора кліті; 5 – стійка балки; 6 – тяга каретки кліті; 7 – калібрована балка; 8 – ролик; 9 – штир; 10 – вісь штиря й ролика; 11 – вісь тяги каретки кліті; 12 – пружина

Відомий стан ХПТР включає в себе станину й змонтовані в ній робочу кліть і важільний привод переміщення каретки кліті й сепаратора, а також розподільно подаючий механізм повороту, що забезпечує подачу й поворот, труби. Недоліком відомої конструкції стану є достатньо високий рівень осьових зусиль при настройці стану при його використанні. Це призводить до врізання торців переднього кінця труби -заготівки й заднього труби, що прокатується.

В основу створення нового стану покладена мета вдосконалити стан ХПТР так, щоб зменшити осьові зусилля й дозволити прокатувати труби з більшими відносинами діаметра до товщини стінки. Поставлена мета вирішується за допомогою того, що в стані додатково розміщують над торцем куліси опорну планку, що з'єднана зі станиною стану. На торці станини розміщений додатково ролик на штирі. Штир опирається на пружину встановлену в тілі куліси. Штир у свою чергу з'єднаний з важелем, а важіль із кареткою. Планка у своєму поздовжньому перетині має профіль що забезпечує переміщення штиря уздовж куліси по направляючим важеля.

Це дає можливість мати змінну довжину більшого плеча куліси стану ХПТР по всьому робочому конусу, що у свою чергу призводить до можливості мати штучний катаючий радіус рівний природному. І як наслідок є можливість прокатки труб з дуже малими розмірами товщини стінки.

В такому стані можливо проводити процес прокатки практично без осьових сил. Для розрахунків параметрів такого стану, потрібно виконувати точні розрахунки природного катаючого радіуса.

Аналіз досліджень. При розрахунку катаючого радіуса необхідно розрахувати кут $\theta_{кп}$, що визначає його положення. Для визначення катаючого радіуса сьогодні використовують формулу (1)

$$R_k = r - R_t \cdot \cos \theta_{кп} \quad (1)$$

де, r – розрахунковий радіус робочого ролика, R_t – радіус труби, $\theta_{кп}$ - кут, який визначає положення катаючого радіуса.

Для визначення кута $\theta_{кп}$ складають рівняння повздовжньої рівноваги сил. Якщо сума повздовжніх сил дорівнює нулю, тоді відсутня осьова сила. При цьому прийняли, [3] що нормальні контактні напруження приймають постійними по довжині осередку деформації та нормальні контактні напруження у поперечному перерізі приймають також постійними [3].

У реальному процесі, розподілення нормальних контактних напружень у стані ХПТР має інший характер. Як видно з рис.2, [2] обтиски уздовж периметра калібру розподіляються нерівномірно.

Відповідно, нормальні контактні напруження збільшуються від вершини до випусків калібру.

Результати розробки. Для більш точного визначення величини природного катаючого радіуса слід прийняти зміну нормальних контактних напружень уздовж периметра калібру такою, де вони збільшуються до випуску (рис.2).

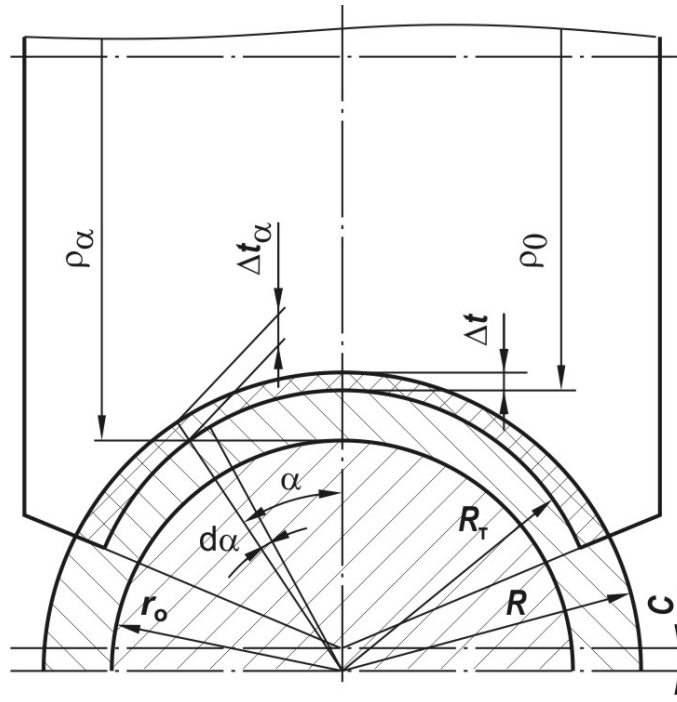


Рисунок 2 – Розподіл обтисків у поперечному осередку деформації [1], де ρ_0 – радіус по дну калібру, Δt – обтиск по вершині калібру, Δt_α – обтиск у радіальних поперечних перерізах, ρ_α – радіус калібру у радіальному перерізі, r_o – радіус оправки, R – радіус робочого конусу в будь-якому його перерізі, R_r – радіус струмка ролика, α – кут що визначає зміну обтисків у радіальному напрямку, c – зміщення ролика відносно осі труби

Розподіл нормальних контактних напружень уздовж периметра калібру можна представити у вигляді:

$$\sigma_{n\theta} = \sigma_{n_{вер}} \cdot \left(1 + \frac{k-1}{\pi/3} \cdot \theta\right) \quad (2)$$

$$k = \frac{\sigma_{n_{вип}}}{\sigma_{n_{вер}}} \quad (3)$$

де, $\sigma_{n_{вип}}$ – нормальні контактні напруження біля випуску калібру; $\sigma_{n_{вер}}$ – нормальні контактні напруження біля вершини калібру.

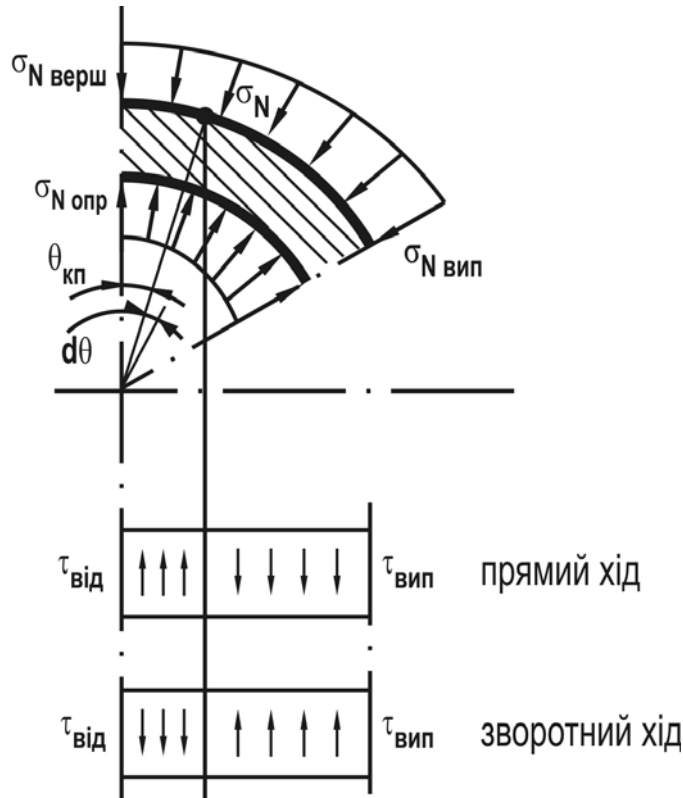


Рисунок 3 – Схема дії сил для визначення катаючого радіуса де, σ_N – нормальні контактні напруження, $\sigma_{N\text{верш}}$ – нормальні контактні напруження по вершині, $\sigma_{N\text{вип}}$ – нормальні контактні напруження біля випуску, $\sigma_{N\text{опр}}$ – нормальні контактні напруження на оправці, $\tau_{\text{від}}$ – сили тертя у зоні відставання, $\tau_{\text{вип}}$ – сили тертя у зоні випередження, $\theta_{\text{кп}}$ – кут, що визначає положення катаючого радіуса, $d\theta$ – зміна кута, що визначає положення катаючого радіуса.

Природний катаючий радіус знайдено з рівняння повздовжніх сил нулю, яке наведено нижче.

Для прямого ходу

$$\begin{aligned}
 & l_{\Sigma} \cdot R_{\text{тр}} \cdot \sigma_{n_{\text{вер}}} \cdot f \cdot \int_0^{\theta_{\text{кп}}} \left[1 - \frac{3 \cdot (k - 1)}{\pi} \cdot \theta \right] d\theta - \\
 & - l_{\Sigma} \cdot \sigma_{n_{\text{вер}}} \cdot f \cdot \int_0^{\theta_{\text{кп}}} \left[1 - \frac{3 \cdot (k - 1)}{\pi} \cdot \theta \right] d\theta - \\
 & - l_{\Sigma} \cdot R_{\text{опр}} \cdot \sigma_{n_{\text{вер}}} \cdot f_{\text{опр}} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{3}} \left[1 - \frac{3 \cdot (k - 1)}{\pi} \cdot \theta \right] d\theta = 0
 \end{aligned} \tag{4}$$

для зворотного ходу

$$\begin{aligned}
 & -l_{\Sigma} \cdot R_{mp} \cdot \sigma_{n_{вер}} \cdot f \cdot \int_0^{\theta_{кн}} \left[1 - \frac{3 \cdot (k-1)}{\pi} \cdot \theta \right] d\theta + \\
 & + l_{\Sigma} \cdot R_{mp} \cdot \sigma_{n_{вер}} \cdot f \cdot \int_0^{\theta_{кн}} \left[1 - \frac{3 \cdot (k-1)}{\pi} \cdot \theta \right] d\theta - \\
 & - l_{\Sigma} \cdot R_{опр} \cdot \sigma_{n_{вер}} \cdot f_{опр} \cdot \int_0^{\frac{\pi}{3}} \left[1 - \frac{3 \cdot (k-1)}{\pi} \cdot \theta \right] d\theta = 0
 \end{aligned} \tag{5}$$

де, R_{mp} – радіус труби; $\theta_{кн}$ – кут, що визначає положення катаючого радіуса; l_{Σ} – повна дуга захвату; f – коефіцієнт тертя між трубою та роликом; $f_{опр}$ – коефіцієнт тертя між оправкою та трубою.

Інтегрування виразів приводить до квадратного рівняння. Після його розв’язання відносно кута θ одержуємо формулу для визначення положення катаючого радіуса.

Для прямого ходу

$$\begin{aligned}
 \theta_{кн} = & \frac{6 \cdot \pi \cdot R_{гп} \cdot f}{18 \cdot R_{гп} \cdot f - 18 \cdot R_{гп} \cdot f \cdot k} - \\
 & \frac{\left[6 \cdot \pi \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{R_{гп} \cdot f \cdot (5 \cdot R_{гп} \cdot f + 3 \cdot R_{опр} \cdot f_{опр} - 4 \cdot R_{гп} \cdot f \cdot k - 4 \cdot R_{опр} \cdot f_{опр} \cdot k + R_{гп} \cdot f \cdot k^2 + R_{опр} \cdot f_{опр} \cdot k^2)} \right]}{2 \cdot (18 \cdot R_{гп} \cdot f - 18 \cdot R_{гп} \cdot f \cdot k)}
 \end{aligned} \tag{6}$$

для зворотного ходу

$$\theta_{кн} = \frac{6 \cdot \pi \cdot \left[R_{mp} \cdot f - \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{R_{mp} \cdot f \cdot (R_{mp} \cdot f + R_{опр} \cdot f_{опр} + R_{mp} \cdot f \cdot k^2 - R_{опр} \cdot f_{опр} \cdot k^2)}}{2} \right]}{18 \cdot R_{mp} \cdot f - 18 \cdot R \cdot f \cdot k} \tag{7}$$

Тоді, для вільного процесу ХПТР потрібний примусовий катаючий радіус по перерізах калібра

$$R_{кні} = R_{ід.рол} - R_{хтпі} \cdot \cos \theta_{кн} \tag{8}$$

де, $R_{ід.рол}$ - ідеальний радіус ролика, $R_{хтпі}$ – радіус труби у кожному контрольному перерізі робочого конуса, $\cos \theta_{кні}$ – розраховують для кожного контрольного перерізу робочого конуса.

Для приклада було розраховано природний катаючий радіус за розробленою формулою та за тою, яку використовують для настроювання стана.

$$R_k = r_o - 0,855 \cdot R_t \tag{9}$$

Для прямого ходу:

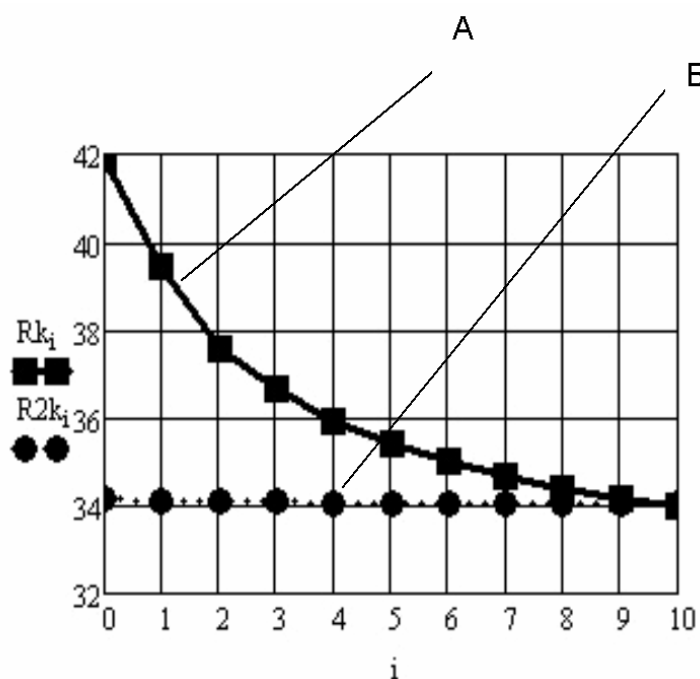


Рисунок 4 – Розрахунок значень катаючого радіуса для прямого ходу за різними формулами, де А – визначення катаючого радіуса за формулою (8),
 Б – визначення катаючого радіуса за загальноприйнятою формулою (9),
 по маршруту 30Ч1,4→28Ч0,7.

Для зворотного ходу:

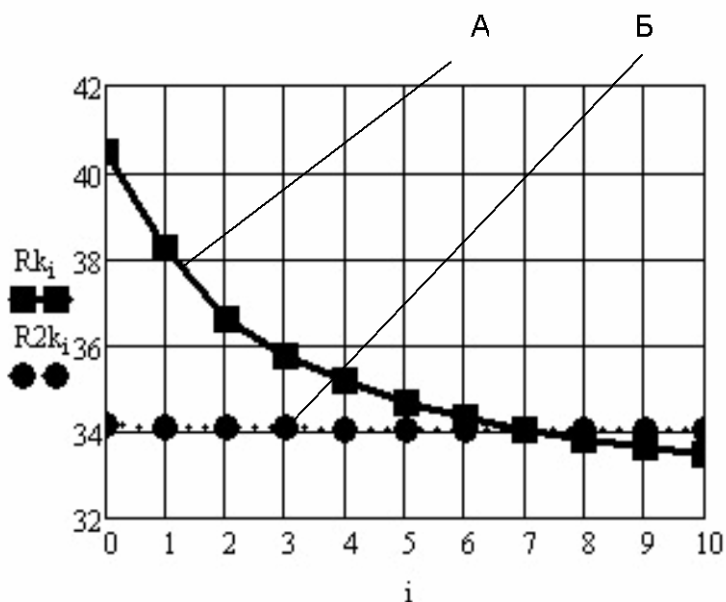


Рисунок 5 – Розрахунок значень катаючого радіуса для зворотного ходу за різними формулами, де А – визначення катаючого радіуса за формулою (8),
 Б – визначення катаючого радіуса за загальноприйнятою формулою (9),
 по маршруту 30Ч1,4→28Ч0,7.

З рис. 4 та рис. 5 видно значну різницю між природним та примусовим катаючим радіусами по довжині робочого конуса.

Визначення зміни довжини куліси ведемо по перерізах робочого конуса (рис. 6) за нижченаведеним алгоритмом.

1. Розраховуємо кут $\theta_{кни}$, що визначає положення катаючого радіуса для прямого та зворотного ходу за умов відсутності осьових сил по формулі (6) і (7).

2. Визначаємо значення катаючого радіуса $R_{кни}$ для прямого та зворотного ходу за умов відсутності осьових сил по формулі 8.

3. Визначаємо довжину куліси OB_i у перерізах робочого конуса

$$OB_i = OA \cdot \left(1 + \frac{R_u}{R_{кни}}\right), \quad (10)$$

де R_u - радіус цапфи ролика;

4. Визначаємо зміну довжини куліси ΔOB_i , що потрібно для калібрування опорної планки, на яку спирається ролик куліси.

$$\Delta OB_i = OB_i - OB_o, \quad (11)$$

де, OB_o - довжина куліси OB у початковому перерізі робочого конуса деформації.

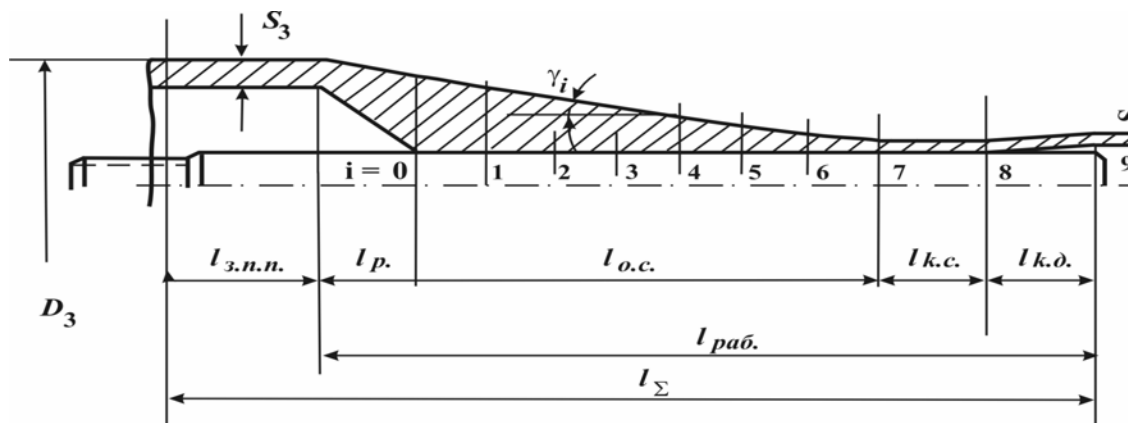


Рисунок 6 – Схема робочого конуса процесу ХПТР та ролика, де

$l_{з.п.п.}$ – довжина ділянки зева подачі та повороту; l_p – довжина ділянки редукування; $l_{о.с.}$ – довжина ділянки обтиснення стінки; $l_{к.с.}$ – довжина ділянки калібрування стінки; $l_{к.д.}$ – довжина ділянки калібрування діаметра; $l_{раб.}$ – довжина робочої частини конуса розкатки; l_{Σ} – довжина ходу кліті; D_3 – діаметр труби заготовки; S_3 – товщина стінки труби заготовки; γ_i – кут конусности робочого конуса

Для підтвердження результатів досліджень був проведений експеримент, який полягав у замірі осьових сил при різних значеннях довжини куліси.

Осьову месдозу виготовили у вигляді особливотонкостінної трубки з утовщеними кінцями, що мають різьбу. Перед заміром месдоза була протарирована за допомогою динамометричної скоби та гвинтового преса.

Тарировка месдозы має прямолінійний характер залежності висоти графіка на осцилограмі від навантаження. Для фіксації результатів месдоза встановлюється між прокатуваною трубою та трубою - заготівкою.

Результати досліджень одержуємо у вигляді осцилограм. Різниця між фактичними та розрахунковими даними становить 3-6 %, що підтверджує адекватність розробленого методу.

Висновки. Одержані вирази для визначення природного катаючого радіуса по перерізах робочого конуса з урахуванням нерівномірності розподілу нормальних контактних напружень уздовж периметра калібру.

Перспективи. За допомогою розроблених виразів для визначення природного катаючого радіуса у процесі ХПТР можливо розрахувати довжину важеля для кожного конкретного перерізу робочого конуса, для нового типу стана ХПТР, де є можливість вести вільний (без осьових сил) процес.

ЛІТЕРАТУРА

1. Начные основы эффективных технологий производства тонкостенной длиномерной металлопродукции / Я.Д. Василев, В.У. Григоренко, В.Н. Данченко, А.В. Дементиенко, М.Л. Жалкевич, В.Е. Зеленский, В.И. Кравченко, А.С. Письменный, Ю.М. Правдин, А.Ю. Путоки. – Днепропетровск: РВА «Дніпро - ВАЛ», 2002. - 353 с.
2. Вердеревский В.А. Роликовые станы холодной прокатки труб – М.: Металлургия, 1992. - 240 с.
3. Патент України на корисну модель № 40801, Стан холодної періодичної роликів прокатки труб / В.У. Григоренко, І.В. Маркевич; заявники та власники Григоренко В.У., Маркевич І.В. № 40801; заявл. 26.11.2008; набув чинності 27.04.2009, Бюл. № 8, 2009.