

Поворотний В. В., Толстіков Г. І., Рохманов С. Р., Толстіков І. Г.

Перспективні конструкції вузлів чотиривалкових робочих клітей «тандем» станів холодної прокатки труб

Povorotny V.V., Tolstikov G.I., Rakhmanov S.R., Tolstikov I. G.

Prospective structures of four-rolls tandem work cages of cold rolling mill pipe

Анотація. Подальший розвиток виробництва холоднокатаних труб пов'язаний із розширенням сортаменту труб, підвищенням якості готової продукції та забезпеченням довговічності робочих елементів станів холодної прокатки труб (ХПТ), що в цілому сприяє підвищенню ефективності роботи обладнання. Одним з основних показників якості труб є нормована поздовжня різностінність, допуск якої може сягати 0,8% товщини стінки. Конкурентоспроможність вітчизняних холоднокатаних труб нерозривно пов'язана із удосконаленням існуючих конструкцій робочих клітей, а також зі створенням принципово нових деталей і вузлів станів ХПТ. У статті представлені перспективні конструкції деталей та вузлів чотиривалкових робочих клітей станів ХПТ, описані їх переваги та вплив на ефективність роботи стану і якість готової продукції.

СТАН ХПТ, РОБОЧА КЛІТЬ, РОБОЧИЙ ВАЛОК, СТАНИНА, ТРУБА, КАЛІБР.

Abstract. Further development of the production of cold-rolled pipes is associated with expanding the range of pipes, improving the quality of finished products and ensuring the durability of the working elements of cold rolling mills (CRM), which generally improves the efficiency of equipment. One of the main indicators of pipe quality is the normalized longitudinal variety, the tolerance of which can reach 0.8% of the wall thickness. The competitiveness of domestic cold-rolled pipes is inextricably linked with the improvement of existing structures of working stands, as well as with the creation of fundamentally new parts and assemblies of CRM.

The article presents promising designs of four-roll working stands of CRM mills, in particular parts and assemblies, describes their advantages and impact on the efficiency of the state and the quality of finished products.

CRM CONDITION, WORK STAND, WORK ROLL, FRAME, PIPE, CALIBER

Вступ. Способом холодної прокатки виготовляють високоякісні труби широкого діапазону розмірів практично з усіх марок сталей і сплавів, що містять титан, нікель, молібден, хром, вольфрам і цирконій [1,2].

Залежно від призначення готових труб в тій або іншій галузі промисловості технологія виробництва диктує велику їх різноманітність за зовнішнім діаметром, матеріалом, товщиною стінки. В свою чергу це створює передумови для модернізації та розробки нового обладнання і конструкцій станів ХПТ, які мають відповідати вимогам сьогодення [3,4].

До основних вузлів станів ХПТ, що визначають їх технічні характеристики і конструктивні особливості, належать робочі кліті, які забезпечують формування геометричних параметрів труби, лінія приводу робочої кліті та валків, поворотно-подавальний механізм [1,3].

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Одним з найбільш важливих технологічних параметрів при холодній періодичній прокатці труб є довжина робочої частини калібрів. Теоретичні і експериментальні дослідження показують, що збільшення довжини робочої частини калібрів при інших рівних умовах дозволяє приблизно в такій же мірі збільшити лінійне зміщення ме-

талу за подвійний хід кліті, а отже і продуктивність, а також підвищити разові деформації за період, що дозволить скоротити циклічність дорогого холодного переділу [5].

Ці переваги пов'язані з тим, що при збільшенні довжини робочої частини калібрів зменшуються конусність і необхідна розвалка струмка, знижуються деформації поперечних перерізів за подвійний хід кліті, нерівномірність деформації по периметру, збільшується дрібність деформації. Це покращує схему напружено-деформованого стану металу, що прокатується, підвищує його проковчуємість.

Збільшення довжини робочої частини калібрів можливо за рахунок збільшення діаметру валків при одночасному збільшенні радіуса кривошипа приводного механізму. Однак при цьому значно зростають вага кліті, динамічні навантаження в приводному механізмі і головному приводі стану і зусилля прокатки, так як вага кліті пропорційна кубу, зусилля в шатунах - четвертому ступеню, момент на кривошипному валу - п'ятому ступеню діаметра валків, а тиск металу на валки - пропорційно діаметру валків. Крім того, цей шлях вимагає реконструкції приводної частини стану (збільшення радіусу кривошипа) [6].

У зв'язку з цим більш прийнятним є збільшення

В. В. Поворотний,	
Г. І. Толстіков,	
С. Р. Рохманов,	
І. Г. Толстіков	

довжини робочої частини калібрів шляхом послідовної установки в кліті двох пар валків [7].

Якщо вважати, що при встановленні другої пари валків вага кліті збільшується в два рази, то зусилля в шатунах і момент на кривошипному валу збільшуються у два рази проти збільшення цих параметрів відповідно в 16 і 32 рази у разі збільшення діаметра валків в два рази.

Досвід створення та експлуатації робочої кліті з двома парами валків на станах ХПТ-32 підтвердив можливість і доцільність такої модернізації станів ХПТ інших типорозмірів.

3. Мета і завдання досліджень. Метою даної роботи є розробка перспективних конструкцій робочих клітей стану ХПТ-55 типу тандем.

4. Матеріали та методи досліджень. Конструкція запропонованої робочої кліті в стані ХПТ – 55, спроектованої при проведенні даної роботи, не-

зважаючи на подвоєння числа валків, дозволила зберегти вагу кліті на колишньому рівні за рахунок зменшення діаметра валків при використанні калібрів кільцевої форми замість полудискової і застосування одностороннього приводу обертання валків із зменшенням довжини валків і кількості приводних шестерен. Така робоча кліть має відстань між парами валків (по осях) 400 мм (Рис. 1). Сумарна довжина робочої частини калібрів l_{Σ} збільшується на цю величину в порівнянні з довжиною при одній парі валків.

При повній довжині ходу кліті 625 мм і довжині ходу її в періоди подачі і повороту 88 мм довжина робочої частини калібрів при одній парі валків становить: $625 - 88 = 537$ мм; при двох парах валків $537 + 400 = 937$ мм, тобто збільшується в 1,75 рази.

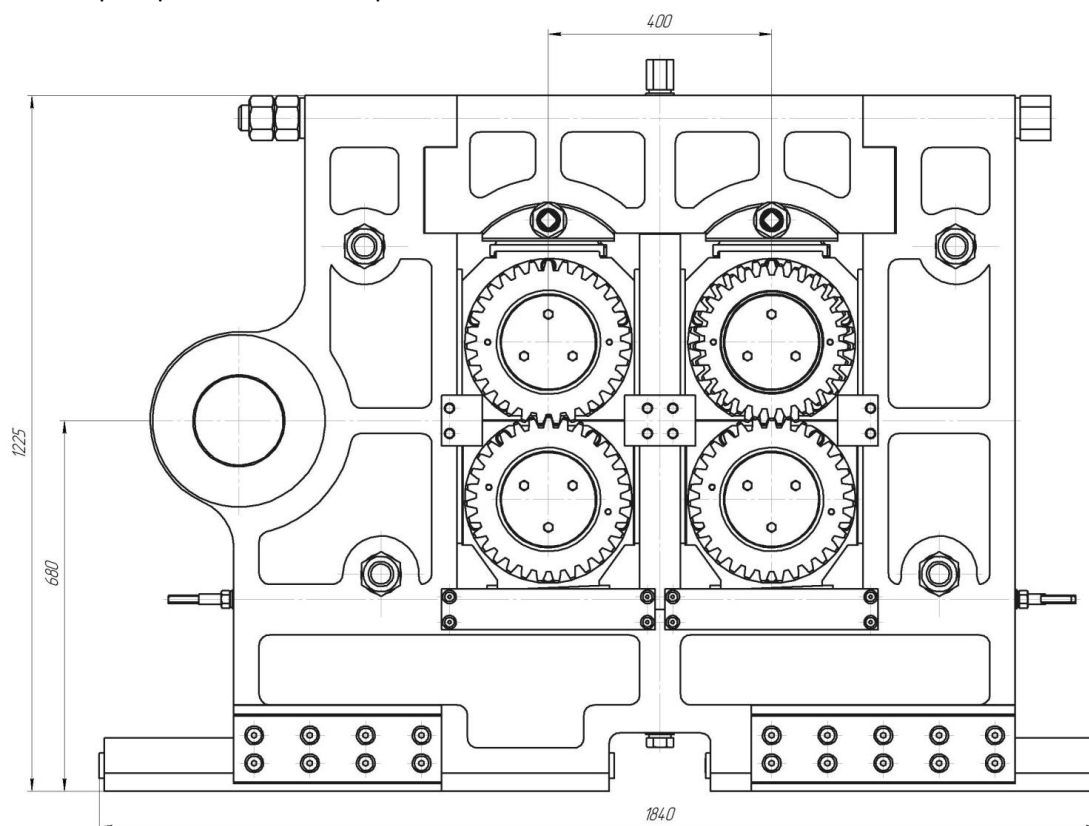


Рисунок. 1. Схема робочої кліті типу тандем стану ХПТ-55

Таке збільшення довжини робочої частини калібрів може бути використано для збільшення продуктивності на 40 – 75 % і підвищення точності розмірів труб при одночасному збільшенні деформації заготовки за прохід по діаметру і товщині стінки.

У процесі прокатки перша (вхідна) пара валків зменшує діаметр і товщину стінки заготовки до деяких проміжних значень, а друга (вихідна) доводить їх до розмірів готової труби. Тому середні глибини струмків, а значить і середні радіуси, що катають, першої та другої пар валків неоднакові. Так як дворядна схема прокатки дозволяє здійснювати значну деформацію по діаметру, то різни-

ця катаючих діаметрів, що визначають радіуси провідних шестерень першої та другої пар валків, може досягати значних величин. Тому, щоб уникнути значних осьових зусиль у заготівці і між парами валків, а також надмірного ковзання металу по валкам доцільно на першій і другій парах валків встановлювати приводні шестерні різного діаметра.

Крім того, при досить великих деформаціях і технологічних навантаженнях доцільно здійснювати настройку кутового положення валків кожної пари незалежно один від одного.

Для задоволення цих вимог конструкція запропонованої кліті передбачає індивідуальні приводи

обертання валків кожної пари з незалежним регулюванням кожної приводної рейки вздовж осі прокатки та по висоті.

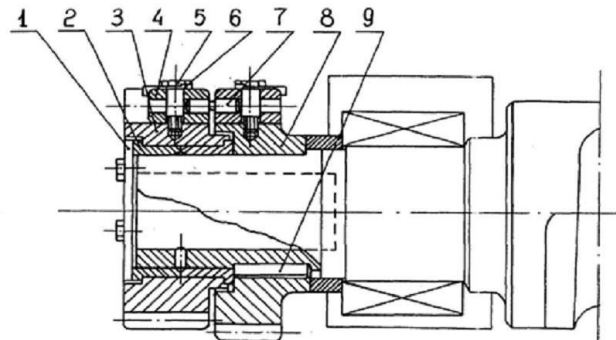
Задля запобігання руйнування деталей робочих клітей, що сприймають енергосилові навантаження в результаті взаємодії розкату та калібрів, робочі кліті станів ХПТ оснащуються запобіжними пристроями, використання яких значною мірою сприяє збереженню деталей робочої кліті і головного приводу стану від поломок [8].

Проте ці пристрої мають істотні недоліки, внаслідок яких, виникає необхідність розробки нових конструктивних вирішень запобіжних пристроїв і вибору місця їх установки з метою підвищення жорсткості робочої кліті, скорочення часу заміни елементів, що зрізаються. Вказаний підхід є одним з шляхів підвищення надійності і довговічності станів ХПТ. [9].

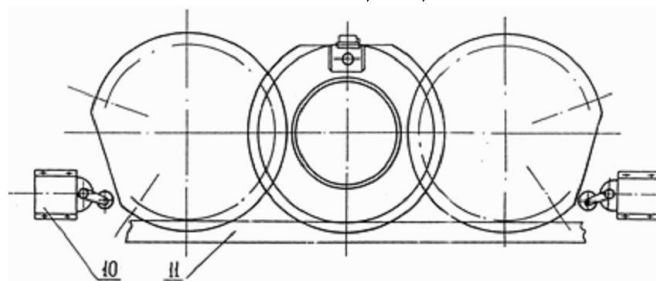
Запропонована конструкція запобіжного пристрою стану ХПТ, встановленого в лінії приво-

ду валків, який захищає деталі кліті від можливих перевантажень і поломок (Рис. 2).

На кінці робочого валка (так, як валок – деталь симетрична, на рисунку 2 зображена одна його половина) насаджені зубчасті шестерні, одна з яких ведуча 3, напресована на втулці 2, яка вільно ковзає по валку, а інша, ведена 8 закріплена на шпонці 9. Для запобігання осьовому переміщенню втулок 2 з напресованою шестернею 3 і веденою шестернею 8 використовується фланець 1. У обох шестернях є гнізда, в яких поміщені касети 4, закріплені в корпусах шестерень за допомогою спеціальних бовтів 5 і стопорних шайб 6. Для передачі зворотньо-поступального руху від приводної шестерні 3, що знаходиться в зачепленні з нерухомою рейкою 11, до робочого валка через ведену шестерню 8, касети 4 зв'язані між собою за допомогою запобіжного пальця 7.



*Хвостовик робочого валка стану ХПТ-55
із запобіжним пристроєм*



*Розташування шестерень робочого валка стану ХПТ-55
у крайніх положеннях*

Рисунок 2 Валкова установка стану ХПТ – 55 з елементами запобіжного пристрою.

1 – шайба упорна (фланець); 2 – втулка; 3 – ведуча шестерня; 4 – касета; 5 – бовт; 6 – шайба стопорна; 7 – палець; 8 – ведена шестерня; 9 – шпонка; 10 – кінцевий вимикач; 11 – зубчаста рейка

При поломці пальця розривається зв'язок між шестернями 3 і 8, прокатка здійснюється не по примусовому радіусу (як це має місце), а по природному катаючому радіусу. При цьому настає розузгодження між положенням приводної і веденої шестерні, яке приводить до того, що ведена шестерня наїжджає на один із встановлених на початку і в кінці ходу кліті кінцевих вимикачів 10, які при звичайній роботі стану не функціонують (за рахунок наявності експериментально встановлених зазорів між кінцевим вимикачем і поверхнею привідного зубчастого колеса), і відключає стан.

Якщо руйнування запобіжного елемента сталося при робочому ході (хід вперед), шестерні 3 і 8, а з ними деформуючий профіль валка відстає від положення, визначуваного примусовим катаючим радіусом, що деформує радіус профілю, а, отже, і зусилля на робочі валки зменшується.

Необхідно відзначити, що зріз запобіжника (пальця) може статися і при холостому (зворотньому) ході кліті. В цьому випадку деформуючий радіус профілю валка збільшується порівняно з примусовим катаючим радіусом, при цьому можливе збільшення зусилля на валки. Для виключення зрізу

запобіжного елементу при холостому (зворотньому) ході необхідно встановити обмежувач щодо проворота шестерен 3 і 8.

Так, наприклад, конфігурація виступу привідної шестерні 3 і западини синхронізуючої шестерні 8 може бути виконана у вигляді елементів храпової пари, що вирішує поворот тільки в одному напрямі. Установка такого обмежувача може бути здійснена після проведення дослідних прокаток і визначення навантажень в робочій кліті стану ХПТ із запобіжним пристроєм.

Розміри запобіжного елементу вибирають з умови по руйнуванню при зрізі [10] по максимальному руйнівному навантаженню, відомому для кожного типорозміра стану [8].

Задля забезпечення зменшення часу на налаштування нижніх валкових систем станів ХПТ типу тандем, розроблена конструкція натискного пристрою що розташована між нижніми подушками та станиною (Рис. 3).

Під час роботи стану, текстолітові плазуни, на яких розташовується робоча кліть, зношуються, що приводить до зміни положення осі прокатки. Задля повернення осі прокатки на початкове місце необхідно робити ряд заходів, які тягнуть за собою фінансові витрати та витрати часу. Також при налаштуванні нижньої валкової системи необхідно вдаватися до використання додаткових планок та вкладишів, щоб забезпечити необхідне місце валка як по вертикальній складовій так і по осі валка.

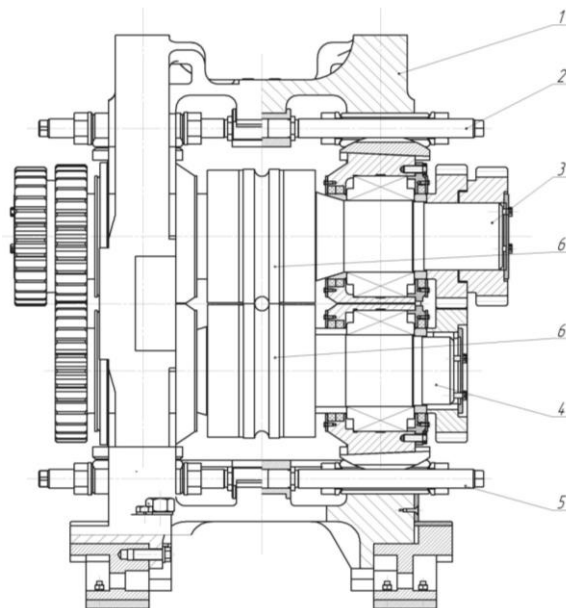


Рисунок 3 Робоча кліть стану ХПТ: 1 – станина, 2 – верхній натискний пристрій, 3 – верхній робочий валок, 4 – нижній робочий валок, 5 – нижній натискний пристрій, 6 – калібр робочого валка.

Запропонований натискний пристрій виконаний у вигляді клинового механізму, що взаємодіє із відповідною нахиленою площиною подушки і нижньою частиною станини, та має хід перпендикулярний осі прокатки [11].

Верхній натискний пристрій 2 послабляють, в результаті чого виникають зазори між верхньою валковою системою 3 та станиною 1. За допомогою нижнього натискного пристрою 5 нижня валкова система 4 встановлюється на необхідний рівень, після чого за допомогою верхнього натискного пристрою 2, вибираються зазори між станиною 1 і верхньою валковою системою 3 таким чином, що робочі калібри 6 стають рівновіддаленими від осі прокатки.

Реалізація на практиці запропонованого рішення призведе до зниження витрат на технічне обслуговування робочої кліті та зниження часу простою обладнання на технічне обслуговування та ремонт.

Під час роботи стану в робочій кліті в системі розкат-валкова система-станина виникають динамічні явища, що призводять до коливальних про-

цесів між робочими калібрами і осередком деформації. Амплітуди коливань з певною частотою накладаються на поверхню труби, що спричиняє поздовжню різностінність на готовому виробі. Особливості відомої конструкції подушок не дозволяють встановити мінімальне зближення калібрів валків, тому що при їх роботі в обкат калібри руйнуються [12].

В роботі [13] представлено перспективну конструкцію робочої кліті стану ХПТ з механізмом регулювання міжвалкового зазору, що складається з ексцентриквих втулок, розташованих в подушках кліті і виконаних з нарізкою черв'ячних зубів для можливості установки зазору за допомогою черв'яка. Після поглибленого дослідження конструкцій робочих клітей наведена конструкція була взята за прототип, на базі якої запропоновано перспективну конструкцію робочої кліті стану ХПТ з лівими та правими подушками, виконаними суцільно [14] (рис.4).

Особливістю даної конструкції валкової системи є те, що кожна верхня подушка виконана разом із відповідною нижньою подушкою у вигляді касе-

ти, що забезпечує підвищення жорсткості всієї валкової системи, причому верхня частина подушки контактує з натискним пристроєм, а в середню її частину вмонтований ексцентричний механізм з черв'ячною передачею для регулювання міжвалкового зазору [14].

Регулювання міжвалкового зазору здійснюють за допомогою черв'ячної передачі, що обертає ексцентрикові втулки, в яких встановлені підшипники. Налаштування зміщення калібрів здійснюють

за допомогою кришок подушки, впливаючи на підшипник і тим самим переміщуючи валок в осьовому напрямку [14]. На основі даної конструкції робочої кліти стану ХПТ розроблена конструкція валкової системи з цільною намотаною подушкою (Рис.4) [15]. Кожна подушка зовні по периметру через грані, що контактують зі станиною, обмотана стрічкою із високоміцного матеріалу із зусиллям натягу, не менше ніж величина зусилля прокатки.

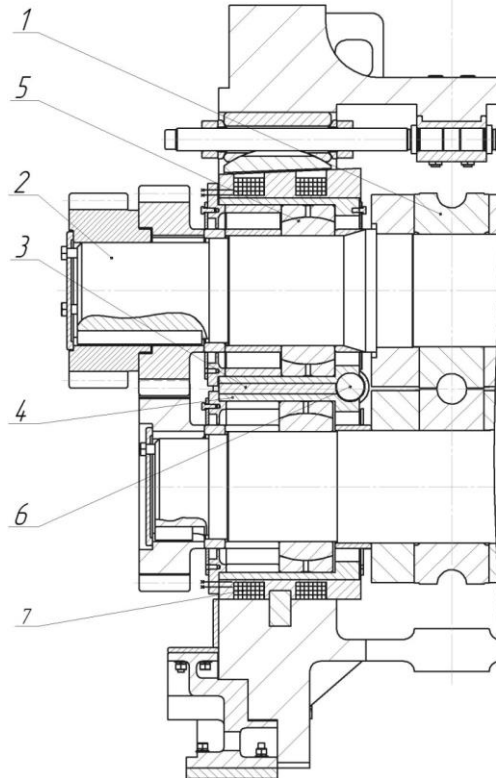


Рисунок 4 Конструкція робочої кліти стану ХПТ з суцільними намотаними подушками: 1 – калібр, 2 – робочий валок, 3 – корпус подушки, 4 – ексцентрикові втулки, 5 – підшипники, 6 – черв'як, 7 – намотка із надміцного матеріалу

За рахунок виконання подушки у вигляді цільної конструкції з попередньою намоткою забезпечується її попередньо напружено-деформований стан, який призводить до виникнення в конструкції подушки напружень, близьких до нуля при максимальній величині зусилля прокатки. Таким чином, при значному перебільшенні величини зусилля прокатки буде виходити з ладу стрічка з надміцного матеріалу при збереженні цілісності подушки та станини. Варто відзначити, що при намотуванні подушки стрічкою з надміцного матеріалу відбувається збільшення жорсткості подушки та валкової системи вцілому, що призводить до зменшення величин амплітудних коливань робочих валків. Дане явище позитивно впливає на поздовжню різностійкість, а в комплексі з можливістю збільшити величину зусилля прокатки сприяє розширенню сортаменту і якості труб за рахунок великого значення величини обтиску. З іншого боку використання розробленої конструкції дозволяє знизити функціональне навантаження станини, що дає

можливість використання в робочій кліті станин полегшених конструкцій без ризику руйнування.

5. Результати досліджень. При регулюванні міжвалкового зазору ключем обертають черв'як 6, який приводить у рух ексцентричні втулки 4, які обертаються в корпусі 3, приводячи в рух підшипники 5. Заодно з підшипником переміщуються валки 2 і напесовані на них калібри 1. При відсутності навантаження на робочі валки 2 стрічка 7 створює попередньо напружено-деформований стан корпусу 3, в результаті чого корпус 3 працює на стиснення. В процесі прокатки на корпус 3 діють розтягуючі зусилля, які прикладаються до калібрів і передаються через робочі валки 2, підшипники 5, ексцентрикові втулки 4. За рахунок намотки 7 напруження, що виникають в корпусі 3, наближуються по своєму значенню до нуля, а основне навантаження несе намотана стрічка 7.

Запропонована перспективна конструкція робочої кліти типу тандем стану ХПТ – 55 дозволить збільшити лінійне зміщення при прокатці труб з ву-

глицевої і низьколегованої сталі та сплавів – до 60-70 мм. При кількості подвійних ходів кліті в хвилину $n = 80-85$ і коефіцієнті використання часу роботи стану 0,85-0,9 цьому відповідає годинна продуктивність 350-365 і 280-300 м. При цьому коефіцієнти витяжки за прохід можуть досягати відповідно 7-8 і 6-7.

Запропонована конструкція запобіжного пристрою дозволяє підвищити жорсткість робочої кліті в 2,5 раза, зменшити час на заміну запобіжних елементів в 8 раз (час на заміну диску існуючого запобіжного пристрою, що зрізається, складає близько 40 хвилин, а час на заміну пальця даного запобіжного пристрою, що зрізається, складає близько 5 хвилин) без додаткового налаштування стану, все це сприяє підвищенню його продуктивності.

Висновки

При розробці перспективних конструкцій робочих клітей стану ХПТ-55 типу тандем розроблено

низку пропозицій щодо модернізації існуючих вузлів:

Пропонується конструкція запобіжного пристрою робочої кліті, що виконана у вигляді касет зі зрізними пальцями, розташованими між приводною та синхронізуючою шестернями.

Пропонується конструкція робочої кліті з установкою валків, що має суцільні пари подушок з намоткою із надміцного матеріалу, які дозволяють суттєво збільшувати зусилля прокатки, максимально зближувати калібри робочих валків, не збільшуючи при цьому амплітуди вертикальних коливань робочих валків та не псувати калібри і деталі робочої кліті.

Пропонується конструкція робочої кліті з натискним пристроєм для нижніх пар подушок, що дозволить знизити витрати та заощадити час на проведення технічного обслуговування стану.

Бібліографічний опис

1. Кондратов Л.А. Конструкции ремонт и обслуживание станов холодной прокатки труб / Л.А. Кондратов, Ю.Б. Чечулин, Н.Т. Богданов, Н.С. Макаркин // М.: Металлургия 1994 – 352с.
2. Musazadeh, M.H., Mohammad Sharifi, E., Vafaei, R. et al. Experimental and Numerical Investigation of VMR and HPTR Pilgering of Zr–1.5%Nb Tubes. *Met. Mater. Int.* (2019). <https://doi.org/10.1007/s12540-019-00438-5>
3. Фролов В.Ф. Холодная пильгерная прокатка труб / В.Ф. Фролов, В.Н. Данченко, Я.В. Фролов // Монография, - Днепропетровск: Пороги, 2005. – 255с.
4. Dai, J., Li, W., Chu, Z. [Microstructure Evolution of Cold Pilgering Stainless Steel Tubes](https://doi.org/10.1155/2020/3678980). *Advances in Materials Science and Engineering Volume 2020*, Article ID 3678980, 8 pages <https://doi.org/10.1155/2020/3678980>
5. Соколовский В. И. Величина относительного смещения сечений рабочего конуса при холодной прокатке труб. – Цветные металлы, 1963, № 4. - с. 77 – 82.
6. Гриншпун М. И. Станы холодной прокатки труб /М. И. Гриншпун, В. И. Соколовский/. //М.: Машиностроение, 1967. – 239 с.
7. Ткаченко А. С. Станина клетки стана холодной прокатки труб /А. С. Ткаченко, А. С. Малкин // Технология и организация производства, 1976, № 1. – с.34 – 47.
8. Станкевич В. А. Холодная прокатка труб /В. А. Станкевич, И. И. Усенко //М.: Металлургия. – 1982, 273 с.
9. Tolstikov G.I. To the question of creation of the working stand cold rolling mill pipe with safety device / G.I. Tolstikov, V.V. Povоротny, S.R. Rakhmanov, S.M. Krishin // Metallurgical and Mining Industry №2. – Dnipro, 2017. P. 20-24. (Index Copernicus)
10. Биргер И. А. Расчеты на прочность деталей машин. Справочник / И. А. Биргер, Б. Ф. Шорп// М.: Машиностроение, 1979. – 702 с.
11. Патент на корисну модель № 145683 Україна, МПК B21B21/00. Робоча кліть стану холодної прокатки труб/ С.Р. Рахманов,; В.Ф. Орещенко; С.М. Кришин; В.Т. Вишинський; В.В. Поворотній заявник і власник Національна металургійна академія України. – № u 202005035; заявл. 04.08.2020 опубл. 28.12.2020, Бюл.№24.
12. Оценка возможности прокатки горячекатаных тонких полос на НТЛС 1680 с применением роликовых конических подшипников или подшипников жидкостного трения: Отчет о НИР (заключительный)/НМетАУ. - Договор № 26/2007/1335 от 02.04.2007 г. № RK0107U009714 – Д., 2007. – 67с.
13. Патент на винахід № 117943 Україна, МПК B21B17/00. Спосіб регулювання міжвалкового зазору робочих клітей станів холодної прокатки труб і пристрій для його здійснення/ С.Р. Рахманов, В.Т. Вишинський, О.В. Лисенко, В.М. Кагаловський, В.В. Поворотній; заявник і власник Національна металургійна академія України. – № а 201608215; заявл. 25.07.2016; опубл. 25.10.2018, Бюл.№20.
14. Патент на винахід № 119192 Україна, МПК B21B21/00. Робоча кліть стану холодної прокатки труб/ В.В. Поворотній; С.Р. Рахманов, заявник і власник Національна металургійна академія України. – № а 201708024; заявл. 01.08.2017 опубл. 11.02.2019, Бюл.№3.
15. Патент на корисну модель № 143127 Україна, МПК B21B21/00. Робоча кліть стану холодної прокатки труб/ В.В. Поворотній; С.Р. Рахманов,; В.Т. Вишинський заявник і власник Національна металургійна академія України. – № u 202000939; заявл. 14.02.2020 опубл. 10.07.2020, Бюл.№13.