



UDC 621.771.237.004.68

**WAYS OF COMPACTING CUSHIONS ROLLES IN STAND OF A
PILGRIMS PIPE ROLLING MILL**
**ШЛЯХИ УЩІЛЬНЕННЯ ПОДУШОК ВАЛКІВ У КЛІТІ ПІЛГРИМОВОГО
ТРУБОПРОКАТНОГО СТАНА**

Dobryak V. D. / Добряк В.Д.*c.t.s. / к.т.н.**leading specialist / провідний спеціаліст**State enterprise ukrainian institute for designing iron and steel works,**Dnipro, Sicheslavskia Naberezhna, 17, 49000**ДП "Український інститут по проектуванню металургійних заводів",**Дніпро, Січеславська Набережна, 17, 49000***Nykolaïenko Yu.M. / Николаєнко Ю.М.***senior lecturer/ старший викладач**ORCID: 0000-0002-1559-9584**Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, Lazaryan, 2, 49000**Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Лазаряна, 2, 49000***Ugryumov D.Yu. / Угрюмов Д.Ю.***technical director / технічний директор**Franke International Engineering Bureau LLC**ТОВ "Інженерне Бюро Франке Інтернешенал"***Soloviova I.A. / Соловійова І.А.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.**ORCID: 0000-0003-1569-567X**Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro, Lazaryan, 2, 49000**Український державний університет науки і технологій, Дніпро, Лазаряна, 2, 49000***Stepanenko O.M. / Степаненко О.М.***c.t.s. / к.т.н.**State enterprise ukrainian institute for designing iron and steel works,**Dnipro, Sicheslavskia Naberezhna, 17, 49000**ДП "Український інститут по проектуванню металургійних заводів",**Дніпро, Січеславська Набережна, 17, 49000*

Анотація. Метою статті є розробка раціонального рішення щодо ущільнення подушок валків у кліті пілігримового трубопрокатного стану.

На підставі виконаного аналізу відомих рішень з управління бічними зазорами між подушками та станами прокатних клітей запропоновано клиновий пристрій, який може мати гідравлічний або ручний привід для його фіксації. Оптимальним клином для цієї мети є клин з одним скосом і кутом клиноподібності 10° , що забезпечує самогальмування клина. Клиновий пристрій доцільно встановлювати на обох боках подушки.

Запропонований клиновий пристрій може бути використаний на діючих пілігримових станах 5-12" Нижньодніпровського трубопрокатного заводу (НТЗ), що дозволяє знизити зношування контактуючих поверхонь подушок і станини пільгерстану та збільшити термін їх експлуатації.

Ключові слова: прокатний стан, станина, кліть, валок, подушка, бічний зазор, гідроциліндр, плунжер, пілігримовий стан, клиновий пристрій, енергія удару.

Вступ.

Прокатні стани чорної металургії мають одну або кілька прокатних клітей, кожна з яких включає основні складальні вузли: станини, валки з подушками,



привід валків. Подушки валків розташовуються у прорізах станин з певним бічним зазором з кожного боку. Зазори необхідні для того, щоб безперешкодно замінювати валки з подушками касетним (вузловим) способом при так званій перевалці валків. У деяких випадках зазори подушок верхнього валка потрібні ще й для переміщення валка в циклі прокатки. Оскільки подушки служать підшипниковими опорами валків, всі вони сприймають як динамічні сили під час захоплення металу валками, і технологічні вертикальні і горизонтальні сили деформації, і передають ці сили на стойки станини.

Для захисту контактних поверхонь подушок та стоек станини від напруження зім'яття, на них кріпляться змінні сталеві накладки. Накладки продовжують термін служби всієї станини, але не впливають на динаміку процесу захвату металу валками. Застосування накладок із поліуретану [1] знижує силу удару, але збільшує податливість системи валків та подушок, що не завжди прийнятно.

Основним фактором, що сприяє “розбиванню” контактних поверхонь станини та подушок, дослідники називають бічний зазор між подушкою та станиною [2-6]. Відома велика кількість технічних рішень, присвячених усуненню або регулюванню бічного зазору між подушками валків і стойками станини, що можна охарактеризувати як ущільнення подушок валків в кліті стана.

Постановка задачі.

У зв'язку з наявністю бокового зазору між подушками валків і станиною прокатного стана, який збільшується в процесі компанії його роботи, і призводить до зношування обладнання необхідно вибрати раціональне технічне рішення для ущільнення подушок у кліті пілігримового стана.

Аналіз відомих технічних рішень щодо ущільнення подушок валків у кліті прокатного стана.

У роботі [7] вибірка зазорів між подушками валків і направляючими планками станини здійснюється за допомогою гідроциліндрів плунжерних, вбудованих в подушки. Досвід експлуатації такого рішення на пільгерстанах НТЗ показав, що відбувається швидке зношування плунжерів гідроциліндрів, що контактують зі станиною стана. Для зниження зносу контактуючих поверхонь при виборі зазорів між підшипниками валків і станиною запропоновано рішення [8], згідно з яким цей контакт здійснюється через блок упорних роликів, що замінює тертя ковзання на тертя кочення і знижує знос контактних поверхонь.

У роботі [5] фіксація подушок робочих валків дровового стана 250 здійснюється за допомогою клинів з ухилом 1:50. Клин з таким ухилом із запасом відповідають умові самогальмування, але для того, щоб витягти такий клин, потрібна більша сила, ніж сила для приведення його в робоче положення. У винаході [9] вибірку зазорів одночасно в лінії привід і між валками та стойками станини пропонується здійснювати шляхом загальмовування бочки валка гальмівними колодками щоразу перед захопленням металу валками. У винаході [10] змінні планки станини та бічні поверхні подушок виконані клиноподібними, а переміщення планок для компенсації зношування



проводиться гвинтами. Викликає питання можливість збирання такого з'єднання.

У винаході [11] компенсація перекосу робочих валків штрипсових та смугопрокатних станів здійснюється за рахунок переміщення пари клинів, розташованих по різні боки подушки. Зсув подушки в напрямку, перпендикулярному осі валка, відбувається за рахунок переміщення клинів у різних напрямках. Приводом клинів є гідроциліндри.

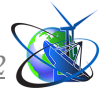
У японській заявці [12] пропонується вибирати зазор між корпусом підшипника робочого валка і станиною за рахунок теплового розширення корпусу шляхом подачі пару або гарячої води в канали, які зроблені в корпусі підшипника. У роботі [3] представлено пристрій горизонтального розпору (ГКРК) реверсивної прокатної кліті кварто листопрокатного стану 3000. Пристрій відрізняється складністю, наявністю гідроприводу.

Відомо технічне рішення фіксації касети з валками в отворі станини сортопрокатного стану [13]. Механізм фіксації виконаний у вигляді клинових домкратів із гідроприводом. Сила фіксації вибирається із умови не розкриття стиків “касета-станина” під впливом сили прокатки. Оригінальний вибір зазорів між подушками робочих валків і станинами клітей кварто стану 2000 запропоновано в роботі [4]. Рішення полягає в тому, що один з плунжерних гідроциліндрів, призначений для врівноваження верхнього валка, виконує функцію тиску на клин між верхньою подушкою і станиною. Причому сам гідроциліндр вбудований в клин між нижньою подушкою і станиною. Відомий пристрій для бічної фіксації подушок прокатних валків [14], який складається з двох планок, встановлених між подушкою і стойками станини, причому одна з планок відрізняється тим, що вона складається з рамки, всередині якої розташований пружно-еластичний балон для стисненого повітря. Коли в балон подане стисле повітря, відбувається притискання подушки до протилежної стойки станини. Коли повітря з балона випущено, зникає сила тяжіння подушки до станини, перевалка валків відбувається безперешкодно.

У винаході [14] верхня та нижня подушки з двох сторін, звернених до стоек станини, контактують з клинами. Клини вдавлюються між подушкою та стойками гідроциліндра. Розклинювання, тобто витягування клинів не обумовлено. У винаході [15] фіксація подушок опорних та робочих валків кліті кварто здійснюється розпірними двома плунжерними гідроциліндрами, змонтованими у приливах подушок опорних валків.

Аналіз динамічних навантажень, що виникають під час прокатки слябів на широкосмугових станах гарячої прокатки, представлений у роботі співробітників Інституту чорної металургії та Новокраматорського машинобудівного заводу [16]. Розглянуто основні фактори, що впливають на ударні навантаження в зчленування кліті, такі як технологічні параметри прокатки, зазори в зчленування елементів лінії приводу і кліті. Серед заходів, що знижують ударні навантаження у зчленуваннях кліті, відзначено беззазорну фіксацію подушок валків.

Розглянуті вище технічні рішення спрямовані на вирішення актуальної технічної суперечності між зазорами та зносом контактних поверхонь валків та



станини прокатної кліті. Ця суперечність особливо актуальна для станів гарячої пілігримової прокатки труб. Процес пілігримової прокатки труб з гільзи поєднує в собі елементи кування і зворотної прокатки за аналогією зі зворотним пресуванням, коли інструмент, в даному випадку профільовані валки, і вироби рухаються один на одного. Якщо при звичайній прокатці ударна взаємодія штуки, що прокатується, відбувається один раз при захопленні валками або кілька разів на блюмінгу або слябінгу, то при пілігримової прокатці однієї гільзи ударна взаємодія з валками стана відбувається кілька десятків разів.

Основна частина.

Розглянемо більш детально роль зазору між подушками валків та станиною пілігримного стана.

В роботі [17, табл. 3] аналітичним шляхом визначено переміщення центру мас системи валків і подушок в результаті ударної взаємодії гільзи з валками пілігримового стана 5-12” для п'яти типорозмірів труб, що прокатуються. Швидкість гільзи у момент зустрічі з валками перебували в межах 1,57...1,22 м/с із зменшенням від малої труби ($\varnothing 168$ мм) до максимальної ($\varnothing 377$ мм) труби. Переміщення центру мас визначено в межах 9,49...11,22 мм у припущенні, що відсутні зовнішні зв'язки, які перешкоджають переміщенню.

За проектом зазор між бічною поверхнею подушки і стойкою станини з кожного боку повинен знаходитися в межах 1...3 мм. Якщо подушка зсунута впритул в одну сторону, то з протилежного боку зазор може набувати значення 2...6 мм. У процесі експлуатації стана в результаті зношування та змінання контактних поверхонь цей зазор може доходити до 10...15 мм. Видно, що переміщення центру маси внаслідок удару потрапляє до цього діапазону зазору. Це означає, що при зазорі 10...15 мм буде мати місце найбільша швидкість системи валків і подушок по станині і відповідно найбільша енергія удару подушок по станині. Оцінимо цю енергію.

У цій же таблиці 3 [17] представлені розрахункові значення першої фази удару.

Через короткочасність удару припустимо, що швидкість центрів мас валків і подушок у першій фазі удару змінюється від нуля до максимальної величини за вказаний час за лінійним законом. Тоді залежність поточного значення швидкості U_t центру маси від шляху переміщення набуває вигляду параболічної залежності.

$$U_t = \frac{2}{t_1} \sqrt{S_{\max} S_t} \cdot \quad (1)$$

Тут t_1 - тривалість першої фази удару;

S_t - поточне значення шляху перед переміщенням центру мас;

$$S_{\max} = \frac{1}{2} U_{\max} t_1, \quad (2)$$

S_{\max} - максимальний шлях переміщення центру мас за час t_1 ;

U_{\max} - максимальна швидкість центру мас у момент часу t_1 .



З урахуванням (1) і (2) вираз для кінетичної енергії K системи валків та подушок набуває вигляду

$$K = \frac{MU_{\max} S_t}{t_1} \quad (3)$$

де M - сумарна маса двох валків та чотирьох подушок.

У таблиці 1 представлені вихідні дані та результати розрахунків за формами (3) та (2) максимальної кінетичної енергії та максимального шляху переміщення системи валків та подушок при двох значеннях зазору: проектному $S_t=6$ мм і S_{\max} . Як видно з таблиці 1 та формули (3), кінетична енергія прямо пропорційна величині зазору між подушкою та станиною з боку виходу труби з кліти.

Таблиця 1 – Кінетична енергія системи валків і подушок, та однієї подушки при зазорі $S_t=6$ мм і $S_t=S_{\max}$

Труба $D \times S$, мм	M , Нс ² /м	U_{\max} , м/с	S_{\max} , мм	Енергія системи кНм/кДж		Енергія подушки кНм/кДж	
				$S_t=6$ мм	S_{\max}	$S_t=6$ мм	S_{\max}
219x25	17732	3,328	10,8	53,7	98,2	13,4	24,6
273x30	18232	3,273	10,8	54,2	97,6	13,5	24,4
324x33	18932	2,920	9,5	51,0	80,8	12,7	20,2

Авторська розробка

Після закінчення часу t_1 розгін системи валків і подушок припиняється, система починає рухатися за інерцією із уповільненням швидкості під впливом сили тертя і зовнішніх зв'язків, відповідно зменшується її кінетична енергія.

В роботі [2] встановлено, що величина бічного зазору між подушками робочих валків та станинами ширококутового стана 1700 гарячої прокатки листа не повинна перевищувати 2 мм. Встановлено також, що зі зростанням бічного зазору не більше 0,5...6 мм зростають динамічні навантаження на підшипникові вузли валків.

Відсутність зазору між подушками валків і станиною з боку виходу труби з кліти означає, що до маси валків і подушок додана маса станини і тоді сумарну масу можна вважати нескінченно великою, а переміщення центру мас нульовим.

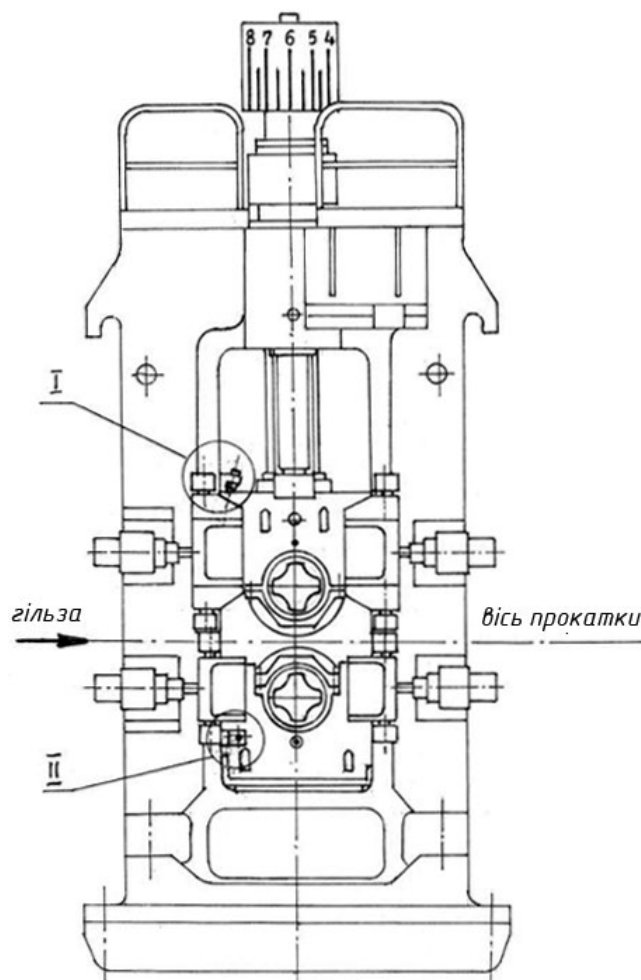
Клиновий пристрій для фіксації подушок валків у кліті пілігримового стана.

Зупинимося на порівняно простому та маловитратному способі зазору за допомогою клинового пристрою. Перш за все визначаємо, де по висоті подушки найдоцільніше розмістити клиновий пристрій. Для цього визначимо сектор, в якому розташовується рівнодіюча сила двох складових: вертикальної та горизонтальної сил удару. В роботі [17, табл. 3] ці складові представлені для п'яти типорозмірів труб, що прокатуються. Кут нахилу рівнодіючої сили до горизонтальної площини знаходимо за виразом



$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{P_y}{P_x}$$

Обчислення показують, що кут нахилу рівнодіючої сили горизонтальної площині знаходиться в межах 83...85°. Тому на верхній подушці клиновий пристрій треба розташовувати якомога вище від осі валка, а на нижній подушці - якомога нижче від осі валка.



**Рисунок 1 – Прокатна кліть пілігримового стана
(вид збоку з неprivідного боку)**

Авторська розробка

На рисунку 1 показана прокатна кліть пілігримового стана (вид збоку з неprivідної сторони), на якій в місці I розміщено клиновий пристрій верхньої подушки, а в місці II – клиновий пристрій нижньої подушки. Причому за конструктивними умовами клиновий пристрій на верхній подушці розташований вертикально, а на нижній подушці – горизонтально. Клинний пристрій складається з клину 1 (див. рис. 2, 3), болта 2 і контргайки 3. Клин має Г-подібну полицю з отвором, через який проходить болт, вкручений у тіло подушки. Полиця клину розміщена між головкою болта та контргайкою. Клин має кут 10° з боку подушки. Це дозволяє не обробляти станину, а обробляти під клин лише подушку. У подушці робиться канавка з кутом 10° шириною 140...150 мм, в якій розміщується клин по широкоходовій посадці. У подушці



для болта виконано різбовий отвір М36 з довгим різбленням не менше 180 мм. Причому вісь різбового отвору паралельна площині ухилу. Це дозволяє швидко змінювати зазор між клином та станиною при вкручуванні або викручуванні болта і зберігати при цьому контакт між ухилом клину та подушкою.

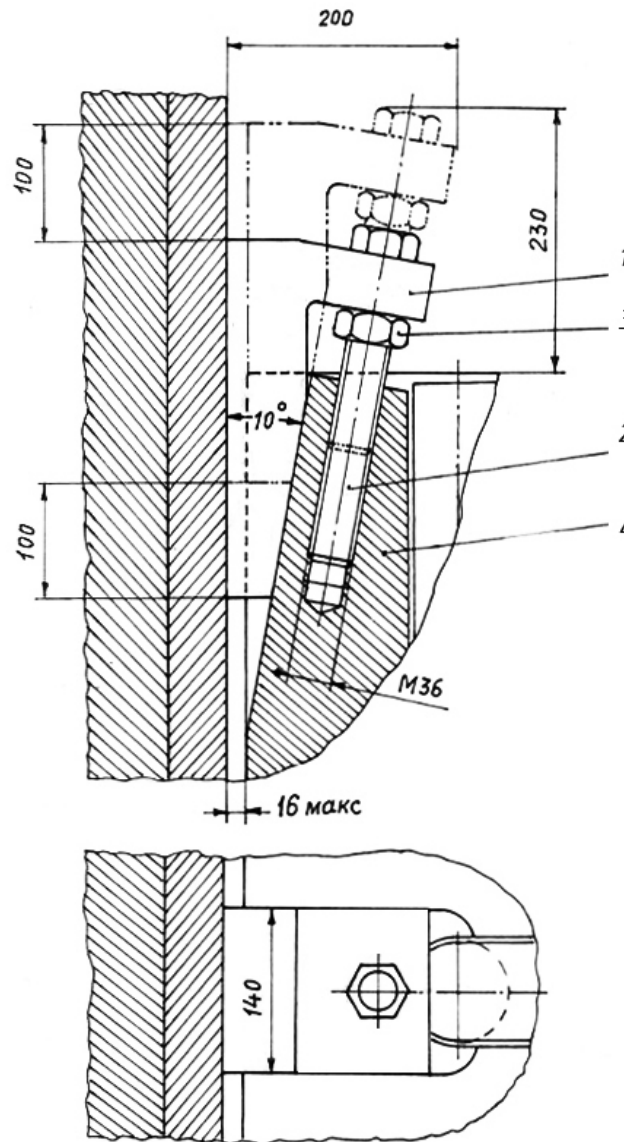


Рисунок 2 – Клиновий пристрій подушки верхнього валка

(місце I на рис. 1): 1 – клин; 2 – болт М36; 3 – контргайка М36; 4 – подушка
Авторська розробка

Умова самогальмування клина при терті по двох поверхнях має вигляд $\alpha < 2\varphi_{тр}$, де α - кут скосу клина; $\varphi_{тр}$ - кут тертя, однаковий на двох поверхнях тертя. У нашому випадку $\alpha = 10^\circ$, тому $\varphi_{тр} > \frac{\alpha}{2} = 5^\circ$. Тоді коефіцієнт тертя $f > \operatorname{tg} 5$ або $f > 0,0875$. Це нижня межа коефіцієнта тертя на робочих поверхнях клина, що забезпечує самогальмування. Під впливом моментів пружності у шпинделях виникають коливання подушок між передньою та задньою станинами кліти, що супроводжуються ударами [4]. До цього потрібно



додати, що пружний відскок подушок від станини навіть за мінімального зазору сприяє такому коливанню. Тому бажано, щоб клинові пристрої були встановлені на двох боках подушок. Щоб вертикальна площина симетрії подушки збігалася з віссю натискного гвинта, два клини повинні бути в однаковому положенні.

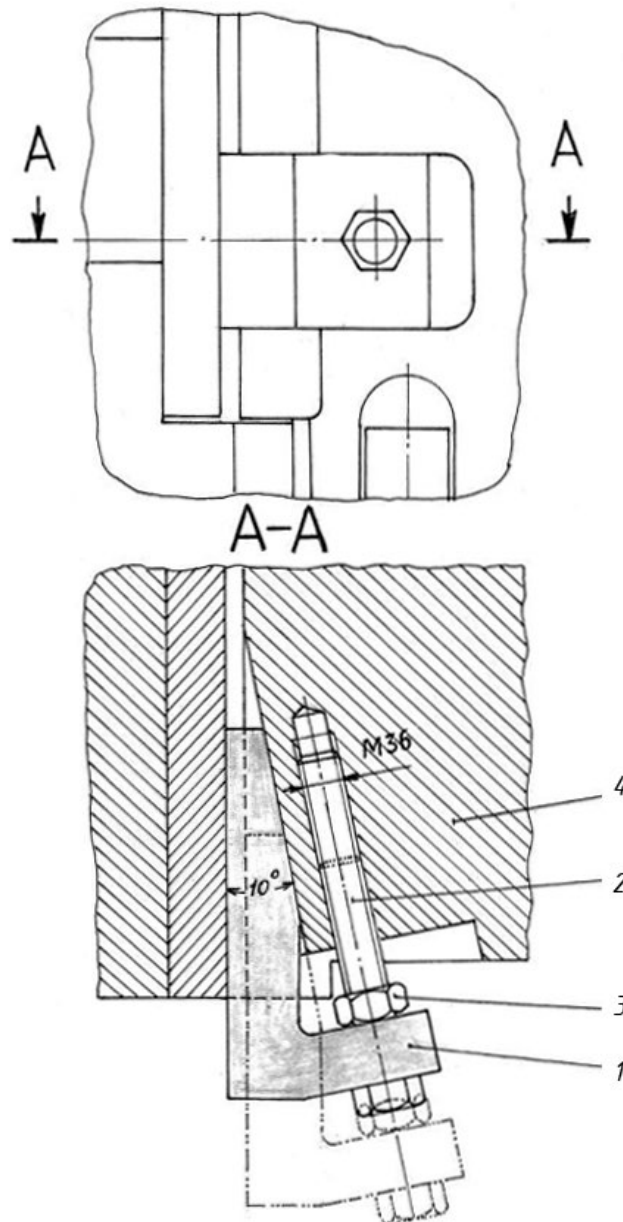


Рисунок 3 – Клиновий пристрій подушки нижнього валка

(місце II на рис. 1): 1 – клин; 2 – болт М36; 3 – контргайка М36; 4 – подушка
Авторська розробка

Порядок роботи клинового пристрою полягає у наступному. Перед завалкою в кліть комплекту валків і подушок клини встановлюють так, щоб поверхня клину без ухилу була заподлицо з усією бічною поверхнею подушки або заглиблена на 1...2 мм. Подача клина вперед здійснюється вкручуванням болта в подушку, а висування клина назад здійснюється обертанням контргайки при утриманні від обертання болта. Після введення комплекту валків та подушок у кліть клини подаються вперед до зіткнення з поверхнею станини



шляхом вкручування болтів. Болт фіксується контргайкою. Якщо є два клинових пристроїв на одній подушці, то переміщення клинів повинно бути однаковим, щоб площа симетрії подушки збіглася з віссю кліті.

З таблиці 1 видно, що розрахункове значення енергії удару подушки по станині при проектному зазорі $S_t=6$ мм перебуває у діапазоні 12,7...13,5 кДж, а за максимальному зазорі $S_{\text{макс}}$ - у діапазоні 20,2...24,6 кДж. Зауважимо, що в гідравлічних екскаваторах в якості навісного обладнання для руйнування бетону та футеровок при ремонтах металургійних агрегатів застосовуються гідроударники з енергією одиничного удару 0,9...1,5 кДж. Порівняння з енергією удару подушки об станину пілігримового стана свідчить про значущість проблеми взаємодії подушок та станини.

Висновки

1. Управління зазором між подушками прокатних валків і стойками станини прокатної кліті, особливо для гарячої пілігримової прокатки труб, залишається актуальною задачею надійності і довговічності прокатного обладнання.

2. Простим та зручним пристроєм керування зазором служить клиновий пристрій, який може мати гідравлічний або ручний привід.

3. Оптимальним клином для цієї мети можна вважати клин з одним скосом і кутом клиноподібності $\alpha=10^\circ$, що забезпечує самогальмування при малому коефіцієнті тертя $f \geq 0,0875$.

4. Клинові пристрої переважно встановлювати на обох бокових сторонах подушки, по-перше, щоб не порушувати симетрії подушки щодо осі натискного гвинта прокатної кліті, по-друге, щоб виключити коливання подушки від стойки до стойки в результаті відскоку або під впливом шпинделя.

Енергія удару подушки об станину залежить прямо пропорційно від величини зазору до певного його значення, обумовленого ударною взаємодією рухомих частин подаючого апарату включаючи гільзу, і комплект валків і подушок.

Література:

1. Amortyzator dlia rabochei klety pylherstana / Artiukh H.V., Mazai V.Z., Artiukh V.H. // Zashchyta metallurhycheskykh mashyn ot polomok. – 1999. – Vyp. 4. – S. 217-222.

2. Optimalnaya velichina bokovykh zazorov v soedineniyah “rabochij valok – stanina” v rabochih kletyah nepreryvnogo shirokopolosnogo stana 1700 goryachej prokatki / Moskvitin S.A., Plahtin V.D., Kolcov V.P. i dr. // Byuletен nauchno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informaci. Chernaya metallurgiya. – 1985. – Vyp. 7. – S. 52.

3. Ustrojstvo gorizontalnogo klinovogo raspора klety / Artyuh V.G., Artyuh P.V., Salkin N.N. i dr. // Zashita metallurgicheskikh mashin ot polomok. – 2009. – Vyp. 11. – S. 155-160.

4. Opyt i perspektivy modernizacii stana 2000 / Plahtin V.D., Dzarahozov K.Z., Kolcov V.P. i dr. // Proizvodstvo prokata. – 1999. – №8. – S. 15-19.



5. Устранение инерционных усилий в быстроходных прокатных клятах / Комаров А.Н., Динник А.А., Хрустенко Ю.М. и др. // *Металлургия и коксохимия*. – 1976. – Вып. 50. – С. 89-91.

6. Выбор зазоров в линии привода прокатного стана / Черепанов В.Н., Перчиков З.Н., Еромеев В.К. // *Совершенствование конструкций агрегатов и узлов прокатного оборудования*. С. ЦНИИТЭПТязhmash. 1-80-18. – С. 16-20.

7. А.с. 414010 СССР. Рабочая клет пилигримового трубoproкатного стана. М.кл. V21V13/08. 1974. Бул. №5.

8. Patent 84685 Украйна. Робоча кліт пилигримового трубoproкатного стана. МПК V21V13/18. Оpubl. 25.10.2013, Бул. №20.

9. А.с. 1423206 СССР. Клет прокатного стана. М.кл. V21V35/00. 1988. Бул. №34.

10. А.с. 1045965 СССР. Устройство для боковой фиксации подушки прокатного валька. М.кл. V21V31/02. 1974. Бул. №37.

11. А.с. 1315055 СССР. Прокатная клет кварто. М.кл. V21V31/00. 1987. Бул. №21.

12. Конструкция подшипников прокатных вальков. Японская заявка. кл. V21V31/02, №56-56710, заявл. 12.10.79, № 54-130781, опubl. 18.05.19811.

13. А.с. 224456 СССР. Прокатная клет. М.кл. V21V1/08. 1972. Бул. №12.

14. А.с. 632418 СССР. Прокатная клет. М.кл. V21V13/00. 1978. Бул. №42.

15. А.с. 624671 СССР. Устройство для фиксации подушек прокатных вальков в станіне клеті. М.кл. V21V31/20. 1978. Бул. №35.

16. Снижение ударных нагрузок на широкополосных станах горячей прокатки / В.В. Веренев, О.Н. Кукушкин, В.Н. Пономарев и др. // *Черная металлургия: бюл. Ин-т “Черметинформация”*. - М., 1989. – Вып. 11. – С. 25-36.

17. Определение параметров ударного взаимодействия гильзы и вальков пилигримового стана / В.Ф. Балакин, В.Д. Добряк, Д.Ю. Угрюмов и др. // *Теория и практика металлургии*. – 2012. - №1-2. – С. 25-31.

Abstract. *The aim of the article is to develop a rational solution for compacting the roll cushions in a pilgrim tube rolling mill stand.*

Based on the analysis of known solutions for controlling lateral gaps between cushions and rolling stands, a wedge device has been proposed, which can have a hydraulic or manual drive for its fixation. The optimal wedge for this purpose is a wedge with one bevel and a wedge angle of 10°, which ensures self-braking of the wedge. It is advisable to install the wedge device on both sides of the cushion.

The proposed wedge device can be used on operating 5-12” pilgrim mills of the Nizhny Dnieper Pipe Rolling Plant, which allows reducing wear of the contacting surfaces of the pillows and the frame of the pilgrim mill and increasing their service life.

Key words: *rolling mill, frame, stand, roll, cushion, side clearance, hydraulic cylinder, plunger, pilgrim mill, wedge device, impact energy.*

Стаття відправлена: 07.01.2025 р.

© Николаенко Ю.М.