

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКА ДЕРЖАВНА ІНЖЕНЕРНА АКАДЕМІЯ**

ВАКАЛ РУСЛАН ПЕТРОВИЧ

**РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ПОПЕРЕЧНОЇ
РІЗНОТОВЩИННОСТІ ШТАБ НА ШСГП 1680 ВАТ “ЗАПОРІЖСТАЛЬ”**

Спеціальність 05040104 – Обробка металів тиском

Автореферат

Магістерського проекту на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня “Магістр”

Запоріжжя - 2016

Робота виконана в Запорізькій державній інженерній академії Міністерства освіти і науки України, м. Запоріжжя.

Науковий консультант: Доктор технічних наук, професор
НІКОЛАЄВ ВІКТОР ОЛЕКСАНДРОВИЧ,
Запорізька державна інженерна академія,
завідувач кафедри обробки металів тиском
факультету Металургії

Захист магістерської роботи відбувся «13» січня 2016 р. о «13⁰⁰» годині на захисті дипломних проектів в ВНЗ «Запорізька державна інженерна академія» МОН України за адресою: 69006, м. Запоріжжя, пр. Леніна, 226, ауд. л222.

В.о. вченого секретаря

Державної атестаційної комісії

Мамонтов Г.Т.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Якість профілю штаби під дією зазначених факторів формується головним чином при гарячій прокатці. Холодна прокатка мало змінює відносну величину поперечної різнотовщинності, але надає істотний вплив на площину штаби і в цьому питанні важлива роль належить раціональній профілізації валкового вузла і забезпечення мінімальної нерівномірності зносу поверхонь валків.

Цілі і задачі роботи роботи:

- Розробити заходи щодо зменшення поперечної різнотовщинності штаб;
- Проаналізувати фактори, які впливають на поперечну різнотовщинність.
- Проаналізувати технологію прокатки на ШСГП 1680;
- Дослідити зношування і поперечну різнотовщинність при існуючому процесі прокатки;
- Надати аналіз прогину валків.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблені заходи та рекомендації щодо зменшення поперечної різнотовщинності штаб на ШСГП 1680 ВАТ “Запоріжсталь” можна використовувати у виробництві та при проектуванні нових станів гарячої прокатки.

Структура і загальний обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, загальний обсяг магістерської роботи – 81 сторінку основного тексту, магістерська робота містить 4 таблиці, 21 рисунка. Список використаних джерел налічує 46 найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі магістерської роботи надано аналіз існуючої технології прокатки на ШСГП 1680. Неперервний стан 1680 гарячої прокатки штаб побудований в тридцяті роки 20го століття. На цьому стані прокатують штаби товщиною 1,5 - 8 мм, шириною 1000 - 1500мм з маловуглецевих марок сталі. З нержавіючих і легованих марок сталей прокатують також штаби товщиною $h > 3,5$ мм і шириною $B < 1300$ мм. Заготівлею для стана служать сляби товщиною 120 - 165 мм, масою $G = 5,5$

т і довжиною $L_{сл} = 4,5 - 4,7$ м, з яких прокатують штаби товщиною $h < 2,5$ мм (В 1000 мм), а з слябів масою $G < 15$ т і довжиною $L_{сл} = 9 - 9,3$ м прокатують штаби товщиною $h > 2,5$ мм.

На стані встановлено п'ять методичних чотирьохзонних печей з глісажними трубами, з торцевою посадкою і видачею слябів. Печі опалюються сумішшю доменного, коксового та природного газів, калорійністю 1070 - 1350 ккал/м³. Проте в зв'язку з переходом на транзитну (пряму) прокатку слябів використовуються періодично 1 - 2 печі для прокатки зворотніх або легованих (нержавіючих) слябів. Довжина печей 31,5 м, ширина 5,22 м. Холодні сляби надходять зі складу на стіл і по рольгангу до печей. Посадка слябів в печі виконується штовхачами. Одночасно з печей видають нагріті сляби на нижній пічний рольганг. На поверхні сляба завжди є товстий (4 - 6 мм) шар пічної окалини, злом якої виробляється в двухвалковому окалиноломачі при стисненні сляба на 20 - 25 мм.

В чорновій групі встановлено чотири кліті: кліть 1 - з робочими валками діаметром 940 мм і опорними 1320 мм; кліть 2 - з робочими валками діаметром 850 мм і опорними - 1240 мм; кліті 3, 4 - з валками діаметром відповідно 580 - 590 і 1240 мм. Всі опорні валки і робочі валки клітей 1 і 2 виготовлені зі сталі марки 9ХФ. У клітях 3 і 4 використовують робочі валки, виготовлені з чавуну з вибіленою поверхнею.

Потужність двигуна клітей з горизонтальними валками дорівнює (кВт): кліть 1 - 6300; 2 - 4 - по 4000 кВт, а окружна швидкість робочих валків клітей: 1 - 0,9 - 1,09; 2 - 1,04 - 1,14; 3 - 0 - 1,84; 4 - $v_4 = 2,53$ м/с. В чорновій групі застосовується неперервна прокатка слябів довжиною 9 - 9,5 м по такому режиму: окалиноломач - кліть 1, кліті 2 - 3 і кліті 3 - 4. Розкат виходить повністю з кліті 1 і тільки потім прокочується в групі клітей 2 - 3. В клітях 3- 4 розкат прокочують після виходу з кліті 2. При вході в кліть 1 температура розкату більше 1150 – 1180⁰С, а в міру прокатки температура переднього кінця розкату зменшується і за кліттю 4 становить 1080 – 1130⁰С (розкат подвійної маси). Перепад температури по довжині розкату 10-15⁰С.

Максимальні величини обтиснень в кожній кліті встановлюють з урахуванням допускаємих кутів захоплення розкату валками, міцності валків і допускаємого

крутного моменту. Відповідно до зазначених умов в клітках чорнової групи допускаються відносні обтиски для вуглецевих і низьколегованих марок сталей рівні (%):

Кліть	[ε]	Кліть	[ε]
1	35-37	3	37-40
2	37-40	4	37-40

Менші величини ε відносяться для штаб з шириною $B > 1250$ мм. У клітках з вертикальними валками усувають лише уширення металу в попередній клітці. Розкат, який вийшов з клітці 4, по проміжному рольгангу довжиною 65м проходить летючі ножиці, які відрізають дефектний передній кінець, чистовий окалиноломач 13 для виламування вторинної (повітряної) окалини і захоплюється робочими валками клітці 5 чистової групи 14. В чистову групу надходять розкати товщиною 28мм (розкати довжиною 9 - 9,5м) і товщиною 20-23 мм (розкати довжиною 4-4,7 м). При роботі проміжного перемотувального пристрою (ППУ) 11 розкат змотують в рулон, а потім передній кінець рулону задають в першу клітці чистової групи. У цьому випадку перед чистовим окалиноломачем температура розкату складає 1020-1050 °С, а заднього 920-970 °С. Після окалиноломача температура розкату знижується на 15-20°С.

В чистовій групі встановлено шість однотипних чотирьохвалковиз клітей (клітці 5 - 10) з вихідними діаметрами робочих валків 620 мм (двошарові чавунні валки з вибіленим шаром марок ЛПХНд - (70 - 73) (литі прокатні хромонікелеєві з твердістю 70 - 73 HSD - по Шору). Опорні валки з кованої сталі марки 9 ХФ з твердістю поверхні 35-40 HSD. Між клітками встановлені ролики петлетримачів, працюючі в період прокатки в клітках переднього кінця штаби. Робочі валки клітей приводяться від двигунів потужністю 7000 кВт з тиристорним керуванням. Максимальна практична швидкість прокатки в клітці 10 складає $v_{10} < 9,2$ м / с, а в попередніх клітках окружні швидкості відповідно до закону сталості секундних об'ємів металу визначають за виразами:

$$v_9 = v_{10} h_{10} / h_9; v_8 = v_{10} h_{10} / h_8; v_7 = v_{10} h_{10} / h_7 \text{ і т. д.}$$

Після захвату валками кліті 5 передній кінець прокатують в подальших клітках, а після виходу заднього кінця з кліті 5 штаба послідовно виходить з клітей чистової групи. Таким чином, кінцеві ділянки штаби прокатують на стані без натягування, тоді як в сталому процесі (штаба знаходиться у всіх клітках стану) штаба прокатується з невеликим натягуванням ($\sigma_n = 10-30 \text{ Н / мм}^2$), що менше напруги течії металу при відповідних температурах. У разі якщо напруга натягу досягне напруги течії, відбувається втягування штаби по ширині.

У процесі проходження штаби від кліті до кліті, температура металу знижується за рахунок відбору тепла навколишнім середовищем, водою і валками. Інтенсивність зниження температури по кліткам чистової групи тим більше, чим менше товщина штаби. Мінімальна температура штаби товщиною $h = 2 \text{ мм}$ за кліттю 10 дорівнює 850°C , а штаби товщиною $h = 1.5 \text{ мм}$ - $800-825^\circ\text{C}$. При вході підкату в кліть 5 температура його переднього кінця максимальна, а температура заднього кінця, який входить до кліть 5 пізніше (через 50-60с), виявляється нижче на $60 - 90^\circ\text{C}$ (без Койл-бокс). Отже, відсутність натягу кінців при прокатці і наявності температурного клину по довжині обумовлює зміну товщини штаби по довжині. При цьому товщина кінцевих ділянок буде більше, ніж товщина в середній частині довжини, а товщина заднього кінця - більше переднього кінця, внаслідок меншої температури металу. Для зменшення товщини заднього кінця в клітках 5-9 необхідно виконувати додаткове обтиснення кінцевої ділянки в межах $0,05-0,5 \text{ мм}$ (більше обтиснення в кліті 5).

При прокатуванні штаб застосовують інтенсивні режими деформації. Як впливає, відносні і абсолютні обтиски максимальні у чорновій групі клітей і в деяких клітках близькі до максимальних (див. вище). Середнє нормальне напруження p_{cp} зростає від $86,7 \text{ Н / мм}^2$ (кліть 1) до 409 Н / мм^2 в кліті 8, що обумовлено зменшенням товщини і температури штаби (Ст. 08кп). Максимальна сила прокатки має місце в кліті 5 і становить $P = 16,7 \text{ МН}$, але не перевищує допустимого значення $[P] = 23 \text{ МН}$ по шийці опорного валка.

Частину рулонів по підземному конвеєру направляють в цех гарячої прокатки, а інша частина - для дресирування та оброблення на листи у відділенні цеху холодної прокатки.

Необхідна вихідна профілірування робочих валків обумовлена, як відмічено вище, прогинами робочого W_1 і опорного W_2 валків, вихідним профіліруванням f_{on} опорних валків, теплової опуклістю ΔD_t робочих валків, зносом опорних валків δ_b і необхідної поперечної різнотовщинності δ_n прокатуємої штаби. Для розрахунку W_1 і W_2 використовуємо модель, враховує, в тому числі, і нерівномірність розподілу міжвалкових навантажень, а на відміну від відомих, більш зручну при використанні в практичних умовах. Однією зі складних завдань є визначення теплової опуклості робочих валків, яка може бути подолана шляхом отримання експериментальної залежності $\Delta D_t = \Phi(\Delta t)$ стосовно конкретного стану (Δt - в даному випадку різниця температур поверхні між серединою і краєм бочки робочого валка). Експериментальні дослідження виконані в чистової групі широкосмугового стану 1680 гарячої прокатки на нових опорних валках (працювали протягом однієї доби). Після витягання робочих валків з клітей протягом 25 - 30 хв. вимірювали розподіл температур і профілі утворюючих робочих валків по довжині їх бочок. Температуру валків вимірювали термометром ЕТМ -М з точністю $\pm 1^\circ$, а профілі валків пасометром з індикатором годинникового типу з точністю показань 0,01 мм.

Заздалегідь встановили інтенсивність зміни температури і профілі валків при їх охолодженні на стенді в продовж $\eta = 10-270$ хв. після відключення охолоджуючої води. Вимірювання температури поверхні і профілю валків в клітях 5-10 виконували по всій його довжині через кожні 100 мм, починаючи від точки, розташованої на відстані 40 мм від краю бочки зі сторони завалювання. На валках прокатили 2150 т смуг товщиною 2,3 – 3 мм, шириною $B = 1250$ мм (2000 т) і $B = 1000$ мм (150 т в кінці кампанії) зі сталі марки 08пс.

Температура повітря становила 32°C , а охолоджуючої води $29 - 30^\circ\text{C}$. Вимірювання показали, що температура поверхні як в початку, так і в кінці природного охолодження розподілена по довжині валка симетрично щодо його осі. На початку вимірювання (через 10 хв після відключення води) температура в середині довжини валка дорівнює $72-74^\circ\text{C}$ (на ділянці довжиною 200 мм), а на краях - 40 і 41°C (на відстані 40 мм від торців бочки). У кінці вимірювань (через 270 хв) температури були рівні: в середині - $41-42^\circ\text{C}$, а на краях - 33 і 32°C .

У процесі охолодження діаметр валків по його осі зменшився на 0,13 - 0,16 мм, а на краю з боку приводу - всього на 0,02 мм. Незважаючи на симетричне розподіл температури по довжині валка в кожен період охолодження, зменшення діаметра валка зі сторін завалювання і приводу несиметрично. Так, в точках, розташованих на відстані 440 мм від торців валка, через 270 хв від початку охолодження зменшення діаметра з боку завалювання становить 0,04 мм, а з боку приводу - 0,11 мм. По мірі наближення до осі валка не симетрія зменшення діаметра валка в перетинах зі сторін завалювання і приводу практично зникає, що дозволяє встановити зв'язок між зміною градієнта температур Δt_i поверхні валка на ділянці середини валка довжиною в 200 мм і зміною середнього діаметра ΔD_t , валка в процесі його охолодження.

Градієнт температур визначали з рівняння

$$\Delta t_i = t_0 - t_i \quad (1)$$

де t_0 - середня температура поверхні валка на ділянці довжиною 200 мм на початку вимірювання ($t_0 \approx 73$ °С); t_i – температура поверхні валка на тій же ділянці в різні періоди охолодження, °С. м

Між зміною градієнта температур поверхні валка і зменшенням середнього діаметра валка існує параболічна залежність і при градієнті температури 31-32 °С діаметр валка зменшується в середньому на $\Delta D_t = 0,13 - 0,16$ мм, що істотно менше значення, обумовленого за відомим висловом

$$\Delta D_t = D \Delta t_i \alpha \cdot 10^{-6} = 598 \cdot 31,5 \cdot 12 \cdot 10^{-6} \approx 0,225 \text{ мм} \quad (2)$$

де D - діаметр валка; α - коефіцієнт температурного розширення. Оскільки по перетину валка в процесі роботи існує деякий градієнт температур, то в формулу (2) вводять коефіцієнт стиснені k .

Для робочих валків діаметром 400 - 500 мм станів холодної прокатки дослідні значення коефіцієнта k дорівнюють 0,6- 0,8, а для робочих валків діаметром 620 мм стана 1680 гарячої прокатки, в відповідності з нашими даними, коефіцієнт стиснені при $\Delta t = 31,5$ °С складає $0,145 / 0,225 \approx 0,64$.

У другому розділі проаналізовані фактори впливу на поперечну різнотовщинність штаб. На широкоштабових станах гарячої прокатки в кліті «кварто» застосовують один-три валка з профільованими утворюючими бочок, наявність котрих дозволяє компенсувати пружні деформації робочих і опорних валків. Як правило, в робочому стані (після розігріву) валки отримують опуклий профіль з одночасним нерівномірним їх зношуванням. Наявність вихідних опуклостей (ввігнутих), нерівномірний розігрів і знос по довжині бочок валків обумовлює нерівномірний розподіл міжвалкового тиску. З урахуванням впливу різних факторів та з метою підвищення ефективності експлуатації валків розроблені і рекомендуються наступні принципи профілювання бочок валків ширококутних станів:

- зменшення (усунення) опуклості робочих валків за рахунок перенесення її на опорні валки;

- застосування в клітках штабових станів робочих валків з увігнутим профілем утворює бочки;

- зменшення сумарної опуклості в системі «робочий валок-опорний валок» шляхом розміщення опуклості на двох опорних валках;

- зменшення кривизни утворюючих бочок валків і середньої величини випуклості валків за рахунок застосування профілювання валків у вигляді параболи вищого порядку (наприклад, трапецієподібної форми);

- застосування змінного профілювання робочих валків в клітках стану шляхом періодичної зміни в кожній перевалці положення опуклого валка з верхнього в нижнє і навпаки;

- збільшення довжини робочої частини бочки опорного валка від перших кліті непереривного стана до останньої.

Практичне використання перших чотирьох рекомендацій забезпечує зменшення зношення в середній частині довжини бочок валків і підвищення їх працездатності. Використання п'ятої рекомендації дозволяє зменшити ступінь нерівномірного зносу опорних валків, а шостий - забезпечити вирівнювання обтиснень і погонних тисків по ширині штаби. Аналіз експлуатації валкових

комплектів з різним профілюванням широко представлений в зазначених вище роботах. На рис. 2.1 показані різні профілювання опорних (а) і робочих (б) валків. Варіанти 1-7 відносяться до типів вихідного профілювання опорних і робочих валків, а варіанти 8, 9 характеризують умови контактування у разі використання зношених на увігнутість опорних валків і нових робочих валків. У ряді випадків опорні

валки отримують вироблення у формі опуклості і цим умовам відповідають форми утворюючих за варіантами 2,6,7. Циліндричні робочі валки під дією штаби отримують завжди максимальну вироблення в середині довжини бочки, а на опуклих валках зменшується величина опуклості [24].

Для чотирьохвалкових клітей застосовують валки з вихідними шліфованим профілюванням, як правило, за варіантами 1-3.

Для шліфування валків використовують плоскі кола із зовнішнім діаметром 500 мм і вище з монокорунда, електрокорунда, карбїду кремнію, синтетичних алмазів і т.п. з наповнювачами у вигляді бакелїту або гліфталю. Для чорнового шліфування (обдирання) застосовують кола із зернистістю 25-63 (шліфзерно розмірами $25-63 \times 10^{-2}$ мм), для чистового шліфування - зернистістю 3-10 (шліфпорошок $3-10 \times 10^{-2}$ мм). По твердості шліфувальні кола розділяються на м'які (М), середньо-м'які (СМ), середні (С), середньотверді (СТ), тверді (Т), досить тверді (ВТ) і надзвичайно тверді (ЧТ). Валки станів гарячої прокатки із твердістю 90-100 HSD шліфують колами типу СМ (попередня) і типу М (остаточне шліфування). При попередньому (чорновому) шліфуванні швидкість обертання кола $v=30-35$ м/с, $v=30-35$ м/хв, а поперечна подача кола $S_{\text{п}}=0,02-0,03$ мм, а поздовжня подача на оберт валка $S_{\text{пр}}=0,8 N_{\text{к}}$ ($N_{\text{к}}$ - товщина кола). При чистовому шліфуванні: $v=40-50$ м/с; $v=20-30$ м/хв; $S_{\text{п}}=0,005-0,015$ мм/обор, $S_{\text{пр}}=(0,1-0,2) N_{\text{к}}$. При такому режимі шліфування одержують поверхню із чистотою клас 8. Клас чистоти можна підвищити шляхом застосування кола з меншою зернистістю, більшою твердістю й меншою поперечною подачею кола ($S_{\text{п}}=0,002-0,004$ мм).

На безперервних станах гарячої прокатки в першій і чистовій, а іноді й у передчистовій, клітях використовують робітники валки з насіченою поверхнею з $R_a=3-6$ мкм, а в проміжних клітях - валки зі шліфованою поверхнею ($R_a=0,8-1,6$ мкм)

Застосування насічених робочих валків у кліті 1 обумовлено необхідністю поліпшення умов захвату штаби й запобігання пробуксовки валків по смузі в процесі прокатки. У чистовій і передчистовій клітях - необхідність нанесення на поверхню штаби шорсткості перешкоджає зварюванню витків рулону в процесі рекристалізаційного відпалу в одностопних ковпакових печах.

Насічка поверхні робочих валків здійснюється різними способами. При насічці валків перекочуванням часток абразива в зазор між ситаловим накатником і валком подають суспензію, що складається з мінерального масла й абразивних часток. Валку повідомляється обертовий рух, а накатнику зворотно-поступальне переміщення .

Величина профілювання (опуклість або ввігнутість) робочих валків обумовлена їхнім прогином з урахуванням нерівномірності розподілу $q(y)$ і тиску під штабою $p(y)$ допуску поперечної різнотовщинистістю штаби, шліфувальній і теплового профілювання опорного валка. Вираження використовується також для розрахунку вихідного профілювання робочих валків станів гарячої прокатки. Однак в умовах дії значних контактних напруг при проектуванні профілювань валків станів гарячої прокатки важливо забезпечити міжвалковий тиск не тільки при вихідних профілювання валків, але й у процесі їхньої експлуатації. Останнє досягається при мінімальному рівномірному по довжині бочок зношуванні валків і при $q(y) = \text{const}$. У роботі запропоновані основні принципи проектування профілювань валкових вузлів, що передбачають досягнення в процесі експлуатації мінімальних нерівномірності міжвалкових тисків $q(y)$ і зношування по довжині бочок валків при відсутності спеціальних пристроїв для впливу на пружні деформації валків.

Попереднє профілювання бочки валків. Найпростішим і найбільше рано виниклим методом компенсації деформацій робочого валка є метод попереднього профілювання його бочки. Власне кажучи, сама по собі деформація (вигину або контактного сплющування) робочого валка не викликала б занепокоєння, якби при

цьому не змінювалась форма його робочої утворюючої. Описуваний метод заснований саме на тому, що він не прагне запобігти або зменшити деформацію валка. Цим методом домагаються лише того, що в результаті цієї деформації форма робочої утворюючої повинна бути по можливості наближена до прямолінійного. Для цього бочку валка в процесі його виготовлення надають, наприклад, шліфуванням, опуклу форму (тобто дійсно форму «бочки» у споконвічному значенні цього слова), причому величина опуклості профілю валка вибирається з урахуванням величини його можливої деформації.

Аналіз умов контактування опорного і робочого валків, виконаний на підставі теоретичних і експериментальних досліджень, у разі відсутності в кліті «кварто» пристроїв для осьового зсуву робочих валків, дозволяє рекомендувати найбільш раціональну спільну профілірування опорних і робочих валків. При цьому опуклість опорного валка може бути виконана за формою параболи другого або більш високого порядку. Для виробництва смугової сталі становить інтерес, так звана змінна профілірувань робочих валків (ППРВ) кліті «кварто». Опорні й робочі валки можуть мати опуклий або циліндричний профілі. Суть профілірування полягає в періодичній зміні (при черговій перевалці робочих валків) положення опуклого робочого валка в кліті з верхнього на нижнє і навпаки, тобто в непарних перевалках опуклий робочий валок постійно зношує середню частину довжини бочки верхнього опорного валка, а циліндричний (увігнутий) - крайові ділянки бочки нижнього опорного валка. У парних перевалках опуклий валок встановлюють до нижнього опорного валку, а циліндричний

До верхнього опорного валку. У цьому варіанті нижній опорний валок зношується переважно в середній частині, а нижній опорний валок - переважно на крайових ділянках бочки. За рахунок періодичної зміни максимального і мінімального положення міжвалкового тиску відбувається зменшення нерівномірності вироблення опорних валків в процесі їх експлуатації. У цьому випадку, якщо використовувати профілірування ППРВ, починаючи з першої установки опорних валків, можна значною мірою забезпечити стабілізацію міжвалкового зазору в період повної кампанії опорних валків навіть при відсутності

спеціальних пристроїв для регулювання положення опорних валків. Тривалі промислові випробування комплектів валків з використанням ППРВ показали можливість зменшення нерівномірності зносу і збільшення тривалості роботи опорних валків без заміन.

Прогин валків утворюється в результаті дії на них сили прокатування. Величина прогину тим більше, чим більше тиск металу на валки. Зазвичай визначають не прогин валків посередині його бочки.

Загалом кажучи, ця обставина досить легко з'ясовна. Справді, якщо розглянути такий простий метод, як попереднє профілювання валка, то легко бачити, що на станах із широким сортаментом прокатуваних штаб потрібен великий парк валків всіякого профілювання, причому з переходом на кожний новий вид штаби потрібно перевалювати валки, задовго до їхнього зношування, що досить не вигідно. У той же час противигин є досить гнучким методом регулювання поперечної різнотовщинності у всіяких умовах прокатки, причому це регулювання може бути досить легко автоматизовано.

Загалом кажучи, це достоїнство властиве динамічним методам впливу на профіль штаби, однак, противигин об'єднав у собі та інші достоїнства, властиві порізно різним із цих методів, тому якщо підсумувати їх, можна вказати на наступні переваги систем противигину:

1. Швидкодія, що дозволяє регулювати профіль штаби безпосередньо в процесі прокатки.
2. Можливість на тих самих валках вести прокатку штаб різної ширини, матеріалу, і з різними обтисненнями.
3. Можливість компенсації зміни профілю валків під впливом температури, тобто виключення необхідності попереднього підігріву валків після тривалої зупинки стана.
4. Можливість поступової компенсації зношування валків.
5. Зниження згинаючих напруг у бочку валків.
6. Можливість зменшення розмірів опорних валків.

7. Можливість використання системи одночасно і для автоматичного регулювання поздовжньої різнотовщинності (тобто в якості САРТ штаби).

8. Можливість застосування системи на діючих станах.

9. Можливість впливу як на опорні, так і на робочі валки.

10. Можливість двосторонньої компенсації профілю робочого валка.

11. Можливість автономного впливу, тобто без передачі додаткових зусиль на станину кліті.

12. Гарна відповідність пружної лінії валка, підданого противигину, і пружної лінії його вигину під дією зусилля прокатки (у вигляді симетричної рівномірно розподіленого навантаження).

Отже, переваги систем противигину численні й очевидні. Однак, як і всякий технічний напрямок, противигин має і свої недоліки. Ці недоліки наступні:

1. Ускладнення конструкції кліті, особливо при реалізації автономних систем противигину.

2. Ускладнення в багатьох випадках перевалки кліті.

3. Виникнення (у неавтономних системах) додаткових зусиль на кліть.

4. Необхідність посилення шийок валків, при противигині опорних валків.

5. Необхідність посилення підшипникових опор частково і в автономних системах противигину.

6. Необхідність подовження опорних валків (створення плеча) при їх противигині.

У процесі експлуатації опорного валка виробляється і зменшується не тільки діаметр його бочки, але зношуються і опорні шийки. Вимірювання показують, що шийки верхніх опорних валків між перевалками отримують невеликий знос (до 0,1 мм), чому сприяє наявність сферичної прокладки між нажимними гвинтами і підшипниками і, отже, має місце самовстановлення опорних підшипників кочення щодо шийок опорного валка в період його навантаження. Нижні подушки не мають пристроїв самовстановлення, а попадання в зазор між шийками і внутрішнім кільцем абразивних часток і прослизання внутрішнього кільця щодо

шийки викликають знос шийок за одну установку на 0,1-0,4 мм. Після зносу шийку піддають шліфуванню зі зменшенням її діаметра.

Шийки опорних валків працюють при зазорі $\delta = 0,25-0,3$ мм (монтажний зазор). У шийках нижніх опорних валків з метою вироблення шийок. При відсутності зазору ($\delta = 0$) шийка затиснена в підшипнику кочення, і внаслідок цього, в опорі валка виникає опорний момент M_0 , що зменшує загальний прогин валкового вузла. У цьому випадку епюра тисків шийки на підшипник рівномірна по довжині контакту і рівнодіюча $P/2$ цих тисків розташована по осі натискних гвинтів, відстань між якими дорівнює a .

У третьому розділі пропонуються заходи щодо зменшення поперечної різнотовщинності. Підвищити якість робочих та опорних валків. Для виготовлення робочих валків гарячої прокатки застосовують високоякісні сталі, що містять мінімальну кількість домішок (9X, 9X2, 9XФ, 9X2МФ, 9X2В, 9X2СВФ, 60X2СМФ). З наведених марок сталь 60X2СМФ є доевтектоїдною, а інші - заевтектоїдними. Загартування й відпустка валків забезпечують одержання високої твердості поверхні на глибину 15-20 мм на радіус (90-102 HSD). Сталі марок 9X, 9X2 і 9XФ, внаслідок малої прогартовуємість, рекомендують застосовувати для виготовлення робочих валків діаметром менш 400 мм. Однак ці сталі застосовують і для виготовлення валків з $D > 400$ мм.

Багатосторонні дослідження працездатності валків станів холодної прокатки представлені в роботі [38]. В цій роботі, зокрема, вказується про отримання значного підвищення довговічності валків багатовалкові стана після застосування силової обкатки їх при ВТМО (високотемпературна термотехніческая поверхнева обробка). Сутність ВТМО полягає в нагріванні поверхневого шару потрібної глибини до аустенітного стану, пластичного деформування поверхневого шару валків обкатний роликками при температурі аустенізації і наступного охолодження закалочної рідиною. При ВТМО з температурою аустенізації 900°C і тиску роликів 650Н довговічність валків діаметром до 160 мм зростає в $\sim 2,5$ рази. Збільшення довговічності валків автори пояснюють появою в зміцнених шарах металу

додаткових стискають напруг, які відсутні в серійних валках з поверхневою загартуванням.

Показано, що попереднє зміцнення робочих валків зі сталі 9Х2МФ у прокатній кліті ШСХП 2000 з зусиллям $P = 20$ МН в перебігу 18 хв, при подачі технологічної мастила і при швидкості обертання валків 300-350 об / хв дозволяє збільшити твердість валків з 92-93HSD до 105-110HSD. Автори відзначають, що збільшення твердості поверхні валків при одночасному зменшенні шорсткості поверхню підвищує експлуатаційні властивості валків.

На підставі розробленої математичної моделі напруженого стану опорних валків після поверхневого деформування, встановили, що найбільший ефект попередньої обкатки опорних валків ШСХП досягається при боязких $P_{обк} / P = 1,3-1,5$ (де P - зусилля прокатки; боязко - зусилля обкатки валка в силовому контакті з робочим валком). У зазначеному діапазоні відносних зусиль обкатки в поверхневому шарі валка забезпечується пластична деформація з його зміцненням і підвищенням твердості. В обсязі валка формується залишкові напруги з підвищенням частки стискають напруг і зменшенням частки розтягуючих напруг.

Незважаючи на гідність попередньої силової обкатки (тренування) застосування зазначених способів в практиці обмежене внаслідок того, що по-перше кількість валків на використовуваних в дресирувальному стані даного цеху значно менше кількості валків чотирьох- або п'ятиклітевому стане; під друге необхідність тривалої (12-18 хв) обкатки валків в кліті прокатного стану істотно знизить продуктивність стана, збільшує витрату електроенергії на одну тонну готового прокату.

Більш продуктивним є номінування планових величин знімання поверхневого шару опорних валків широкосмугових станів, розглянутий у роботі. Відомо, що поява втомних тріщин найімовірніше в зоні дії максимальних дотичних тангенціальних напруг які розташовуються на глибині (по радіусу) $Z = 0,78b$ (b - полуширина контакту робочого і опорного валків, залежна від величини зусилля прокатки і матеріалу валків). Для усунення пошкодженого поверхневого шару і збільшення ефективності використання активного шару опорних валків ШСГП 2000

передбачають планові перешліфовки зі зніманням від 1,5 до 3 мм по діаметру після кожної їх завалювання в кліть і токарну обробку зі зніманням від 6 до 12 мм після 4-5 завалок в залежно від ступеня пошкодженості валка і номера кліті (то є в залежності від зусилля прокатки і числа тонна - циклів їх роботи в кліті).

В умовах експлуатації опорних валків ШСХП 1680 використовують інший режим переточувань. Фактичні поточні переточування опорних валків знаходяться в основному в межах 1-3 мм на діаметр, а після утворення викрошки величина переточування на діаметр дорівнює $\Delta D = 4-14$ мм. Із загальної кількості 350 установок валків величина одиничних переточувань становила (у всіх випадках після переточування шліфували валки на 0,5 мм).

Встановити валки S-образної форми. Це профілірування забезпечує управління профілем штаби в процесі прокатки (рис 3.5) .. Два валка, відшліфовані у формі «пляшки» в кліті кварто примусово переміщують в осьовому напрямку протилежно один одному. При цьому по необхідності досягається отримання прямокутної, опуклою або увігнутою форми міжвалкового зазору в процесі експлуатації валків (поперечного перерізу штаби). Різниця діаметра валка SVC по довжині його залежно від сортаменту штаб знаходиться в межах 0,3 - 0,8 мм. За даними випробувань S - подібне профілірування валків забезпечує зниження різнотовщинності штаб і підвищення експлуатаційної стійкості валків. Однак S - подібне профілірування робочих валків викликає нерівномірне зношування опорних валків, що погіршує умови регулювання товщини штаби по її ширині, а перенесення приводу на опорні валки підвищує бюджетні витрати на виготовлення і будівництво стану SVC.[41]

Підвищення точності штаб забезпечується також використанням несиметричних профілірувань валків зі зміщенням вершин опуклостей двох суміжних валків (ПСВВ) на відстань $C = (0,2 - 0,3)L$ відносно один одного. Міжвалковий зазор, форма якого змінюється при осьовому переміщенні валків, дає можливість регулювати поперечний профіль штаби та її площинність. У порівнянні з валками типу SVC, дане профілірування дозволяє регулювати розміри міжвалкового зазору при меншому осьовому зміщенні валків і простіше у виготовленні.

Валки типу SVC встановлюються в клітках чистової групи.

У четвертому розділі надано економічне обґрунтування. В даний час на станові практично відсутні спеціальні пристрої та методи впливаючі на поперечну різнотовщинність штаб.

Недоліками технологічного процесу на ШСГП 1680 ПАТ «Запоріжсталь» є:

- Необхідність прискорення обертання валків всіх 5-7 клітей після захоплення штаби моталкою, на що витрачається значна кількість електроенергії;

- Складності в оперативному регулюванні деформаційно-температурного режиму прокатки штаб в 5-7 клітях для отримання необхідних механічних властивостей;

- При прокатці штаб при знижених кінцевих температурах до 750-800°C задіяні всі 5-7 клітей, що призводить до суттєвих втрат електроенергії при деформації металу.

Заходи щодо зменшення поперечної різнотовщинності:

1. Встановити на проміжному рольгангові до і після койл-боксу, до – теплоізолюючі екрани, після – нагрівні печі. Це дасть змогу вирівняти температуру по всій довжині та ширині штаби, що наблизить до раціональної різнотовщинності.

2. Підвищити якість робочих та опорних валків. Дозволить практикувати штаби з мінімальною різнотовщинністю та мінімальним зношуванням робочих та опорних валків.

3. Встановити профілювання робочих валків S-подібної форми (валки SVC). S - подібне профілювання валків забезпечує зниження різнотовщинності штаб і підвищення експлуатаційної стійкості валків.

У п'ятому розділі “Охорона праці” надано аналіз шкідливих та поетнційно небезпечних чинників виробничого середовища. Розроблені заходи захисту від впливу небезпечних і шкідливих чинників виробничого середовища цеху гарячої прокатки.

ВИСНОВКИ

Поперечна різнотовщинність і площинність штабового металу обумовлені вхідними факторами. До основних з них слід віднести поперечну різнотовщинність підкату, нерівномірність механічних властивостей по ширині штаби, відповідність

профілірування валків умовам їх навантаження, нерівномірність зносу профілю активної утворює валків. Якість профілю штаби під дією зазначених факторів формується головним чином при гарячій прокатці. Холодна прокатка мало змінює відносну величину поперечної різнотовщинності, але надає істотний вплив на площину штаби і в цьому питанні важлива роль належить раціональній профілізації валкового вузла і забезпечення мінімальної нерівномірності зносу поверхонь валків.

Найбільш помітним рішенням у розробці профілірування стало застосування опорних валків з крайовими скосами. Така форма опорного валка усунула зацімлення кромek прокатуваної штаби. Розширення цього ефекту передбачало пропозицію про виготовлення опорних валків з двома кінцевими скосами, причому внутрішній скіс переходить в циліндричну частину валка на ділянці довжини бочки менше ширини штаби. Випробовували робочі валки з неглибокими виїмками в місцях передбачуваного максимального зносу, які забезпечували підвищення площинності холоднокатаних штаб. Потім були висунуті ідеї профілірування валків листових станів із застосуванням їх утворюють у вигляді параболи вищого порядку і більш складних форм, профілірування опорних валків у процесі їх експлуатації, різного профілірування валкових вузлів по клітям безперервного стану. У зв'язку з цим є актуальним узагальнення аналітичних форм вихідної профілірування валків на інтенсивність і нерівномірність розподілу міжвалкового і погонних тисків, на нерівномірність зношування валків і якість профілю штаб.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Николаев В. А. Горячая прокатка листов и полос. Ч.1. Издание четвертое, переработанное, дополненное: учебное пособие / Запорож. гос. инж. акад. – Запорожье:ЗГИА, 2014. – 176с.
2. Путноки А.Ю., Симененко О.В., Мацко С.В. и др. «Освоение технологии горячей прокатки полос на стане 1680 с промежуточным перемоточным устройством «Койлбокс»» // Сталь, 2008. №10. С. 39-44.
3. Полухин П.И., Железнов Ю.Д., Полухин В.П. Тонколистовая прокатка и служба валков. – М.: Металлургия, 1967. – 388с.

4. Боровик Л.И. Эксплуатация валков станов холодной прокатки. – М.: Металлургия, 1968. – 233с.
5. Ткалич К.Н., Коновалов Ю.В. Точная прокатка тонких полос. – М.: Металлургия, 1972. – 176с.
6. Полухин В.П. Математическое моделирование и расчет на ЭВМ листовых прокатных валков. – М.: Металлургия, 1972. – 512с.
7. Профилирование валков листовых станов / А.А.Будакова, Ю.В.Коновалов, К.Н.Ткалич и др. – К.: Техніка, 1986. – 190с.
8. Николаев В.А. Профилирование и износостойкость листовых валков.-К.: Техніка, 1992.-158с.
9. Прикладная механика и расчет прокатных валков / П.И.Полухин, В.П.Полухин, Н.Ф.Андрианов, В.Г.Усачев. – Алма-Ата: Наука, 1977. – 202с.
10. Николаев В.А., Васильев А.Г., Тилик В.Т. Определение рациональных профилировок рабочих валков чистой группы ШСГП // Изв. вузов. Черная металлургия, 1997, №3. – С.25-28.
11. Николаев В.А. Расчет усилия при горячей прокатке // Изв. вузов. Черная металлургия, 2005, №11. – С.24-29.
12. Настройка, стабилизация и контроль процесса тонколистовой прокатки / Г.Г.Григорян, Ю.Д.Железнов, В.А.Черный и др. – М.: Металлургия, 1975. – 359с.
13. Повышение точности листовой прокатки / Ю.В.Коновалов, Д.П.Галкин, В.Г.Додока и др. – М.: Металлургия, 1978. – 296с.
14. Николаев В.А. Способ прокатки с регулируемым поперечным смещением полосы // Изв. вузов. Черная металлургия, 1992, №11. – С.25-27.
15. Ганжин В.Г., Киселев Ю.Н. Технология XXI века. Перспективы России // Национальная металлургия. – 2003, №12. – С.50-66.
16. Мартини Ф. Свойства рабочих валков из быстрорежущей стали для станов горячей прокатки // Сталь, 1999, №10. – С.50-54.
17. Современные высокопроизводительные прокатные валки, особенности и перспективы их эксплуатации / М.Синнаве, К.Гостев, В.В.Глухов, В.С.Смирнов // Сталь, 2001, №8. – С.2-7.

18. Некоторые аспекты эксплуатации валков на стане горячей прокатки // В.Н.Скороходов, П.П.Чернов, В.А.Третьяков и др. // Сталь, 2001, №8.– С.8-13.
19. Разработка и внедрение режимов поверхностного пластического деформационного упрочнения прокатных валков // В.А.Николаев, А.Ф.Пименов, В.Н.Скороходов и др. // Производство проката, 1999, №10. – С.16-19.
20. Опыт применения опорных валков со спиральными канавками на стане 1400 холодной прокатки / В.Н.Скороходов, В.П.Настич, П.П.Чернов и др. // Производство проката, 1999, №10. – С.50-54.
21. Оптимизация плановых величин съема поверхностного слоя опорных валков тонколистовых станов / В.П.Настич, Э.В.Шляпин, Л.И.Боровик, В.В.Ветер // Производство проката, 1999, №5. – С.39-42.
22. Моделирование напряженного состояния опорных валков станов холодной прокатки, подвергнутых поверхностному деформационному упрочнению / Э.А.Гарбер, В.В.Румянцев, А.В.Спиричев и др. // Производство проката, 2000, №5. – С.6-10.
23. Кудрявцев И.В., Петушков Г.Е. Влияние кривизны поверхности на глубину пластической деформации при упрочнении деталей поверхностным наклепом // Вестник машиностроения, 1966, №7. – С.41-47.
24. Николаев В.А., Трофимов В.А., Васильев А.Г. Усовершенствование валковых узлов клетей стана 1680 горячей прокатки // Сталь, 1993, №11. – С. 47 – 50. Николаев В. А. Прокатка широкополосной стали / В. А. Николаев, А. Ю. Путноки. – Киев: Освита Украины, 2009. – 268 с.
25. Николаев В. А. Прокатка широкополосной стали / В. А. Николаев, А. Ю. Путноки. – Киев: Освита Украины, 2009. – 268 с.
26. Николаев В. А. Повышение эффективности работы полосовых станов с профилированием валков / В. А. Николаев // Metallurgical and Mining Industry. – 2007. – № 2. – С. 34-37.
27. Повышение точности листов и полос / Ю. В. Коновалов, Е. А. Руденко, П. С. Гринчук [и др.] – Киев: Техніка, 1987. – 144 с.

28. Повышение стойкости шеек опорных валков стана 1680 /В.А. Николаев, А.Ю. Путноки, В.Т. Тилик и др. // Сталь, 2002, №5. – С. 37 – 39.
29. Профилирование валков листовых станов / А. А. Будаква, Ю. В. Коновалов, К. Н. Ткалич [и др.] – Киев: Техніка, 1986. – 190 с.
- 30.Чекмарев А. П. О некоторых вопросах теории прокатки / А. П. Чекмарев // Теория про- катки. (Материалы конференции по теоретическим вопросам прокатки). – М.: Metallур- гия, 1962. – С. 31-56.
- 31.Контактное взаимодействие металла и инструмента при прокатке / П. И. Полухин, В. А. Николаев, В. П. Полухин и др. – М.: Metallургия, 1974. – 200с.
32. Целиков А. Н. Теория продольной прокатки. / А. Н. Целиков, Г. С. Никитин, С. Е. Роко- тян. – М.: Metallургия, 1980. – 320 с.
33. Профилирование валков листовых прокатных станов / А. А. Будаква, Ю. В. Коновалов, К. Н. Ткалич и др. – Киев: Техніка, 1986. – 190 с.
34. Николаев В. А. Контактные давления в очаге деформации при прокатке в валках с рельефной поверхностью // Изв. вузов. Чер. металлургия. – 1991. – № 1. – С. 29-32.
35. Железнов Ю. Д. Прокатка ровных листов и полос. – М.: Metallургия, 1971. – 200 с.
36. Бельский С. М. Деформация полосы при симметричной и асимметричной прокатке. – Липецк: ЛГТУ, 2008. – 235 с.
37. Третьяков А.В., Гарбер Э.А., Давлетбаев Г.Г. Расчет и исследование прокатных валков. – М.: Metallургия, 1975, - 256 с.
38. Надежность и долговечность валков холодной прокатки / В.П. Полухин, В.А. Николаев, П.Г. Шульгин и др. – М.: Metallургия, 1971. – 503 с.
39. Прочность прокатных валков / П.И. Полухин, В.А. Николаев, В.П. Полухин, В.П. Толпеева. – Алма-Ата: Наука, 1984. – 295 с Боровик Л.И.
- 40.Повышение точности листового проката / И.М. Меерович, А.И. Герцев, В.С. Горелик, Э.Я. Классен. – М.: Metallургия,1969. – 264 с.
41. Кламма К. Технология SVC на полосовых станах холодной прокатки // Черные металлы. - 1984. - № 22. – С. 44-47.
42. Лапін В.М. Основи охорони праці//Лапін В.М. – Львів: ЛБІ НБУ, 2002. – 142с.

43. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці / Жидецький В.Ц. – Львів: Афіша, 2002. – 320 с.
44. Трахтенберг А.М. Гигиена труда и производственная санитария // Трахтенберг А.М., Коршун М.М., Чебанова О.В. – К.: Киев, 1997. – 462 с.
45. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках: [учеб. пособие для вузов] / Долин П.А. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 448 с.
46. Рожков А.П. Пожарная безопасность на производстве / Рожков А.П. – К.: Охрана труда, 1997. – 448с.