# ЛЕКЦІЯ 5

## 2. ПОДОВЖНЯ РІЗНОТОВЩИННІСТЬ ШТАБИ

ПЛАН ЛЕКЦІЇ

1. Способи впливу на подовжню різнотовщинність штаби.
2. Нова технологія виробництва точної гарячекатаної штаби.

## 2.4 Способи впливу на подовжню різнотовщинність штаби

Особливістю прокатки штаб на традиційних ШСГП, як відмічали вище, являється потовщення на $\delta h_{П}$=0,10…0,20мм задньої кінцевої ділянки готової штаби на довжині 30...40м. Поява цього потовщення обумовлена, головним чином, відсутністю дії на нього заднього натягнення на усіх міжклітьових ділянках чистової групи ШСГП і природне зниження температури по довжині штаби. Очевидно, що створити яким-небудь чином дискретний процес прокатки з наявністю заднього натягнення кінця штаби не представляється можливим. У зв'язку з цим усунення потовщення на локальній задній ділянці штаби можливо тільки шляхом застосування локальної зовнішньої дії на цю ділянку. Крім того товщина штаби збільшується від переднього кінця до заднього внаслідок зниження температури штаби в процесі прокатування ( температурний клин).

Відомі декілька способів впливу на штабу, які компенсують відсутність заднього натягнення і зниження температури металу [35,40-46], реалізація яких можлива на промислових ШСГП:

1- застосування безперервного (напівбезперервного) процесу гарячої прокатки штаб на ШСГП;

2-застосування додаткового обтиснення задньої кінцевої ділянки розкату (штаби) в процесі його прокатування (нині використовується на багатьох станах);

3-зменшення коефіцієнта тертя при прокатуванні заднього кінця штаби в останніх клітях чистової групи шляхом подання на валки технологічного мастила, наприклад, в клітях №№8-10(12);

4-збільшення температури задньої ділянки проміжного розкату шляхом підігрівання декількох внутрішніх витків рулону в період його розмотування з ППУ, подальше подання переднього кінця рулону до першої кліті і прокатки розкату в клітях ШСГП. При цьому нагрів внутрішніх витків може бути здійснений (рухливим) стержневим індуктором;

5-застосування прискорення обертання валків усіх клітей чистової групи ШСГП починаючи з моменту, коли перед першою кліттю чистової групи залишається 3…5м довжини проміжного розкату.

Нижче наводиться аналіз деяких способів впливу на штабу з метою зменшення приросту товщини кінцевої ділянки.

1. **У Японії на трьох ШСГП з традиційною технологією прокатки** нині використовують безперервний процес прокатки штаб, в якому прокатують 15-16 сполучених «встык» на стикозварювальної машині проміжних розкатів, а потім декілька штаб прокатують в періодичному (індивідуальному) режимі з метою створення пауз між штабами для забезпечення інтенсивного охолодження робочих валків

*Напівбезперервний процес* прокатки застосовують також і на ШСГП, працюючих у складі ливарно-прокатних агрегатів (ЛПА) [33,36,37], на яких прокатують проміжні розкати завдовжки 250....270м. У цьому процесі при постійній температурі на вході розкату в кліті ШСГП температура штаби і її товщина на виході з чистової кліті при швидкості $v_ч$=20м/с також будуть однаковими на довжині штаби 3000…4000м за винятком кінцевої ділянки завдовжки 30...40м, яка прокатана без заднього натягнення. Можливі відносні втрати металу в обрізь при цьому будуть незначними. .

**2.Застосування додаткового обтиснення задньої кінцевої ділянки** розкату (штаби) в процесі його прокатування використовують на різних станах [5,27,31,34,41,42]. Для умов прокатки на ШСГП 1680 Ю.В. Коновалов [41] рекомендував наступний режим додаткового обтиснення ΔS заднього кінця (ΔS - обтиснення по продуктиметру, мм) в клітях стана : №6 - 0,6; №7 - 0,45; №8 - 0,3; №9 - 0,2. Сумарне додаткове обтиснення по продуктиметру складає $\sum\Delta S$ = 1,55 мм. При цьому, розрахунковий модуль жорсткості штаби по клітях №5 - 9 змінюється в межах $M_П \approx 2{,}0…10{,}0$ МН/мм, а коефіцієнт передачі обтиснення до товщини штаби в цих клітях рівний $K_S \approx 1{,}9…4{,}0$

( $K_S = \Delta S_i / \Delta h_i$). Для таких умов деформації ділянка 4 штаби отримує фактичне сумарне додаткове обтиснення безпосередньо в межах $\sum\Delta h_{d\ (5\text{-}9)} = 0{,}3…0{,}5$ мм, а кінцеве потовщення на ділянці 4 після кліті №10, у відповідністі з розрахунками, виявилося рівним $\delta h_П = 0{,}162$ мм (рис.2.6,а, кліть №10) проти $\delta h_П = 0{,}2$ мм при прокатуванні ділянки 4 з $\sum\Delta h_{d(5\text{-}9)} = 0$. Тобто прийняте на стані сумарне додаткове обтиснення ділянки 4 дозволяє зменшити вели-чину кінцевого потовщення готової штаби всього на 0,038 мм або на 19%. Як

бачимо, міра зменшення величини кінцевого потовщення істотна, але очевидно, недостатня. З рис.2.6,а також слідує, що у міру збільшення товщини штаби потовщення задньої ділянки штаби (кліті №№ 7-9) зростає до $\delta h_П$=0,33…0,4мм.

З розрахунків виходить (при $\Delta t_5$ = 60 °С), що параметр $\delta h_П$ для усіх клітей змінюється лінійно залежно від сумарного фактичного додаткового обтиснення ділянки 4 штаби. При додатковому сумарному обтисненні ділянки 4 в клітях №5 - 9 рівному $\sum\Delta h_d$(5-9) = 1,0 мм кінцеве потовщення на ділянці 4 зменшується в кліті №5 з $\delta h_П \approx$ 0,48 мм ($\sum\Delta_{d(5-9)}$) = 0) до $\delta h_П$ = 0,3 мм,

а в кліті №10 це зменшення, відповідно, складає з $\delta h_П \approx$ 0,2 мм до $\delta h_П \approx$ 0,11 мм (рис. 2.6).

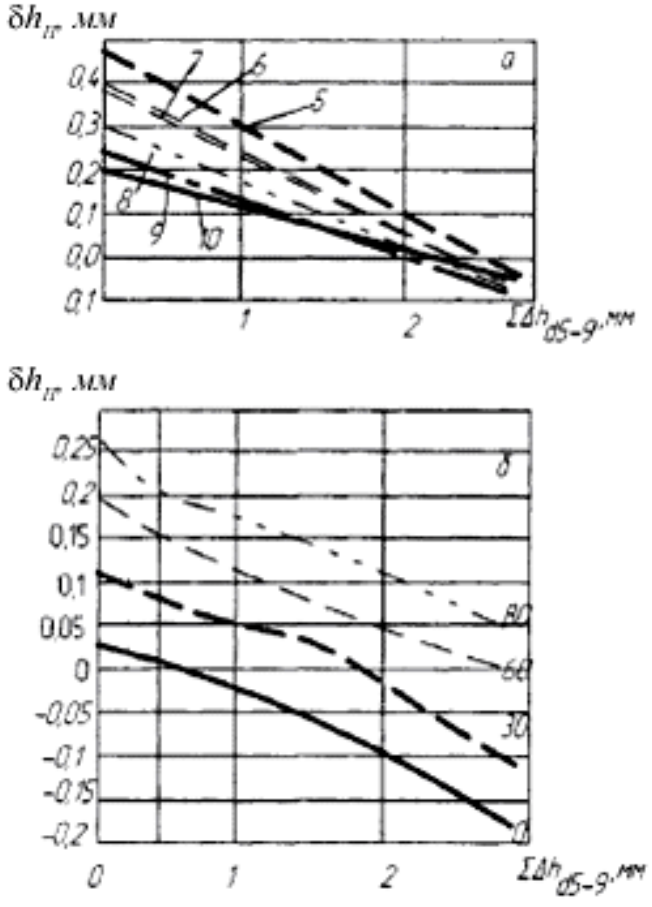


Рисунок 2.6- Зміна кінцевого потовщення на ділянці 4 заднього кінця залежно від сумарного додаткового фактичного обтиснення по клітях стана (а) і параметра $\Delta t_5$ (б) (числа у кривих) для кліті №10. Проміжний розкат $H_р$ = 20 мм, штаба 2,0 × 1250 мм, пряма (транзитна) прокатка слябів завдовжки $L_{сл}$ = 4,5 м.

Таке зменшення $\delta h_п$ суттєво і товщина штаби по усій довжині відповідає нормативним допускам, але сама величина $\delta h_п \approx$ 0,11 мм значно перевищує величини $\delta h_п$ на основній довжині штаби, де $\delta h_п$ = 0,03…0,05 мм.

Для повного усунення на готовій штабі кінцевого потовщення на ділянці 4 (тобто для $\delta h_П$ = 0) необхідно додатково деформувати цю ділянку на $\sum\Delta h_{d(5-9)} \approx$ 2,3 мм, що в ~5 разів більше, ніж при серійній технології. Однак натискні електромеханічні пристрої, внаслідок невеликої швидкості переміщення (під навантаженням- 0,07мм/с), не встигнуть деформувати потовщену ділянку. Таке обтиснення забезпечується гідравлічними натискними пристроями, які мають швидкість переміщення валків у вертикальній площині в межах 2,0мм/с.

На кінцеве потовщення ділянки 4 істотний вплив робить градієнт температур $\Delta t_5$ по довжині проміжного розкату (рис.2.6,б). При зменшенні градієнта температур по довжині розкату з $\Delta t_5$ з 60°С до 0°С товщина ділянки 4

($\sum\Delta h_{d(5\text{-}9)} = 0$) зменшується з $\delta h_П = 0{,}2$ мм до $\delta h_П = 0{,}03$ мм. Тобто в даному випадку немає необхідності застосовувати додаткове обтиснення штаби. При $\Delta t_5 = 30°C$ і $\sum\Delta h_{d(5\text{-}9)} = 0$ товщина ділянки 4 штаби на $\delta h_П = 0{,}11$ мм перевищує товщину штаби на ділянці 2 (рис.2,6,б). Застосування додаткового обтиснення в межах $\sum\Delta h_{d(5\text{-}9)} = 0{,}45$ мм (існуючий режим) сприяє зменшенню кінцевого потовщення до 0,08 мм. При $\Delta t_5 = 0$ задній кінець штаби (ділянка 4) можна прокатувати без додаткового обтиснення.

**3.Підвищення температури заднього кінця розкату**. При використанні між чорновою і чистовою групами клітей ШСГП з традиційною технологією проміжного пристрою для перемотування штаб (ППУ) задній кінець розкату в рулоні займає місце переднього кінця проміжного розкату. Як показують експерименти і при використанні ППУ на задній кінцевій ділянці відбувається істотний приріст товщини штаби на $\delta h_П = 0{,}08…0{,}15$мм (рис.2.5) внаслідок відсутності заднього натягнення штаби в клітях стана. В умовах такого технологічного процесу на ШСГП усунення потовщення заднього кінця штаби можливо шляхом локального додаткового нагріву двох-трьох внутрішніх витків проміжного розкату в рулоні, внаслідок чого зменшуються сила прокатки штаби, пружні деформації кліті і товщина штаби.

При внутрішньому діаметрі рулону 600…650мм довжина додатково нагрітої ділянки розкату складе ~4.5м. Міра усунення потовщення кінцевої ділянки визначатиметься температурою додаткового нагріву даної локальної ділянки. .

Нижче представлені результати розрахунку параметрів прокатки заднього кінця проміжного розкату завтовшки $H_{ПР}$=24х1250мм на штабу завтовшки 2,5мм (сталь марки 08пс) в шести клітях (кліті №№6-10) ШСГП 1700 з діаметром робочих валків $D_Р$=600мм в усіх клітях і швидкістю прокатки в кліті №10 - $v_{10}$=9,0м/с. Ділянка розкату завдовжки ~4м прокатується без заднього натягнення. Приймаємо температуру на кінці проміжного розкату рівної ti=980$^0$C (базова), а температуру після додаткового нагріву на кінці проміжного розкату рівної, $^0$C: 1000, 1020 і 1050 [34]. Визначаємо по відомих залежностях [3,28,34,40]. енергосилові параметри прокатування і зміна товщини готової штаби, що відповідає точці 4 на кінці розкату при вказаних температурах прокатки. У сталому процесі прокатки переднє і заднє натягнення рівні $\sigma_П = \sigma_З = 15$Н/мм$^2$, а при прокатуванні заднього кінця без натягнення -$\sigma_З$=0.

Розрахункові параметри прокатування для базового сталого процесу з фіксованою товщиною штаби при $\delta h_П$=0, а також параметри прокатки заднього кінця штаби в кліті №10 при початковій температурі 1000, 1020 і 1050$^0$C заднього кінця проміжного розкату представлені в таблиці.2.1 -(початкові температури проміжного розкату має індекс «п»). У першій частині таблиці.2.1 представлені параметри прокатки заднього кінця проміжного розкату в серійному режимі, тобто при температурі кінцевої ділянки проміжного розкату, рівної $t_П$=980$^0$C. Товщина готової штаби на задньому кінці прийнята рівною $h_{10}$=2,5мм і $\delta h_П$=0. Як слідує з таблиці.2.1, коефіцієнт тертя у міру

зменшення товщини штаби істотно зменшується внаслідок переважаючого впливу швидкості прокатки (що збільшується) [28,40] .При прийнятому режимі деформації сила прокатки Р зменшується від кліті до кліті, а модуль жорсткості штаби $М_П$ зростає з 1,43 до 7,88 МН/мм.

При додатковому нагріві заднього кінця проміжного розкату до температур $t_П$=1000, 1020 і 1050$^0$С (дослідний режим) сила прокатки і модуль жорсткості штаби зменшуються, що обумовлює зменшення приросту товщини кінцевої ділянки готової штаби на $\delta h_П$= 0,02...0,12 мм (останні три рядки в таблиці.2.1).

Таким чином, для усунення (зменшення ) приросту товщини задньої кінцевої ділянки готової штаби необхідно заздалегідь підігрівати задній кінець розкату, що входить в валки першої кліті чистової групи ШСГП, додатково на 50…70$^0$С.

За наявності на стані ППУ необхідно додатково підігрівати внутрішні витки рулону проміжного розкату при його розмотуванні з ППУ. В цьому випадку у внутрішню його порожнину вводять стержень з індукційним нагрівачем, захищеним від ударів витками розкату, потужність якого достатня для нагріву металу до необхідної температури. Проте найбільш раціональним рішенням для зменшення подовжньої різнотовщинності штаб є установка перед і за ППУ індукційних печей, що підігрівають штабу, як це показано на рис.2.4, що забезпечує постійність температури по довжині проміжного розкату і незмінність силових параметрів прокатки.

**4. Влияние градиента температур по длине промежуточного раската**

На рис.2.7 представлені розрахункові величини кінцевого потовщення $\delta h_П$ на ділянці 4 при прокатуванні штаби 2×1250 мм. залежно від градієнта температур по довжині проміжного розкату $\Delta t_5$ по клітях стана 1700. Розрахунки виконані, як і в приведених раніше даних, по формулах (2.7) - (2.10).

Таблиця 2.1. Параметри прокатки штаби 2.,5х1250мм з проміжного підкату $Н_{ПР}$=24мм при різних температурах заднього кінця в точці 65 (для клітей 5-10серійний режим) )

| № кліті | h,мм | f | $p_{ср}$, Н/мм$^2$ | Р, МН | $М_П$, МН/мм | $t_Н$, $^0$С | $\delta h_П$, мм |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5 | 14,0 | 0,355 | 226 | 15,8 | | $980_п$ | - |
| 6 | 8,5 | 0,315 | 269 | 14,1 | 2,31 | 958 | - |
| 7 | 5,5 | 0,278 | 300 | 11,8 | 3,49 | 941 | - |
| 8 | 3,7 | 0,233 | 338 | 10,6 | 5,33 | 919 | - |
| 9 | 2,9 | 0,214 | 288 | 6,2 | 6,50 | 898 | - |
| 10 | 2,5 | 0,189 | 250 | 3,9 | 7,88 | 867 | 0 |
| | | | Дослідний режим | | | | |
| 10 | 2,48 | 0,188 | 249 | 3,8 | 7,9 | $1000_п$ | -0,02 |
| 10 | 2,43 | 0,187 | 244 | 3,7 | 7,8 | $1020_п$ | -0,07 |
| 10 | 2,38 | 0,185 | 237 | 3,5 | 7,4 | $1050_п$ | -0,12 |

З рис. 2.7 слідує, що при збільшенні $\Delta t_5$, відбувається лінійне збільшення кінцевого потовщення штаби $\delta h_П$ в усіх клітях чистової групи стана з максимальними значеннями при $\Delta t_5$=65$^0$С. Суть цього зростання обумовлена збільше-нням різниці сил прокатки заднього і переднього ділянок штаби (см формулу (2.7)), а отже, збільшення пружних деформацій кліті і міжвалкового зазору. Найбільший приріст товщини штаби для усіх значень $\Delta t_5$ має місце в кліті при прокатуванні в кліті №6. У наступних клітях приріст $\delta h_П$ зменшується внаслідок зменшення градієнта температур між заднім і переднім кінцевими ділянками штаби.

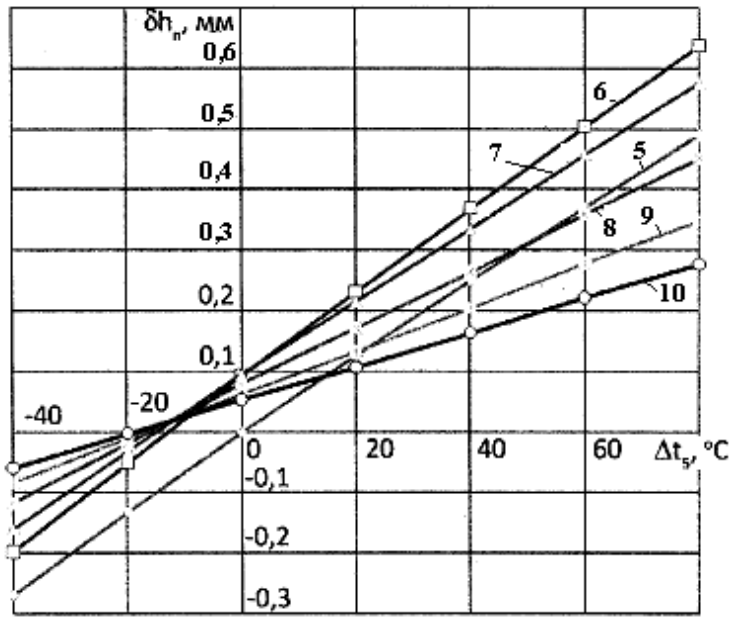


Рисунок 2.7-Вплив перепаду температур між ділянками 2 і 4 проміжного розкату на кінцеве потовщення ($H_{ПР}$ = 20 мм, $L_{сл}$ = 4,5 м)

**5. Прискорення валків клітей чистової групи** є загально-визнаним способом вирівнювання товщини по довжині штаби на ділянці температурного клину (ділянка 2-3 на рис.2.3)[35,46]. При прискоренні валків до кінця прокатки штаба нагрівається на 40…50$^0$С, зменшуються напруження течії металу і коефіцієнт тертя, що викликає зменшення СНКН і сили прокатки. Для вирівнювання температури по довжині штаби в чистовій групі клітей залежно від товщини штаби потрібні величини прискорень в межах від $a$ = 0,03…0,12 м/с$^2$ (h < 2,0 мм) до $a$ = 0,01… 0,03 м/с$^2$ (h = 5… 16 мм).

Проте при довжині потовщеної кінцевої ділянки штаби на ШСГП 30…40м, і при вказаних реальній величині прискорення і довжині ділянки, зменшення його товщини може бути усього лише в межах ~0,02мм, що явно недостатньо. При прокатуванні хвостової ділянки штаби завдовжки $L_у$ = 100…250 м з прискоренням одночасно відбуваються наступні процеси:

-втрати тепла штабою внаслідок тепловипромінювання, теплообміну і конвекції зменшуються зі збільшенням швидкості прокатки;

-збільшення швидкості деформації металу, підвищення напруження течії металу і нормального контактного напруження;

-збільшення роботи пластичної деформації за рахунок збільшення швидкості прокатки і, разом з цим, виділення додаткового тепла, розігрівання штаби і зменшення напруження течії металу і середнього нормального контактного напруження;

–зменшення коефіцієнта тертя внаслідок збільшення швидкості прокатки і температури штаби.

Сукупність впливу вказаних чинників при достатньому прискоренні «*а*» забезпечує вирівнювання температури і товщини по довжині штаби. Так, за даними [35] при прокатуванні штаб 1,5х1050мм на стані 2000 з прискоренням 0,05м/с$^2$ на довжині ~550м товщина штаби зменшується на ~0,15мм.

При прокатуванні штаб 2,7×1000 мм без прискорення (1) і з прискоренням (2) $a$ = 0,066 м/с$^2$ отримали наступні дані при початковій швидкості $\upsilon_{про}$ = 7,52 м/с ( Карагандинський меткомбінат) [46]:

| Режим прокатки | $t_П$, °С | $t_З$, °С | Δt, °С | L, м | $L_у$, м |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 858 | 828 | 30 | 440 | - |
| 2 | 852 | 857 | -5 | 430 | 230 |

Тут $t_П$ і $t_З$ - температура відповідно переднього і заднього кінців штаби після прокатки; Δt - перепад температур по довжині готової штаби; L і $L_у$ - відповідно загальна довжина штаби і довжина штаби, прокатаної з прискоренням..

На рис.2.8 представлені дані досліджень прокатки штаби 1,5×1050 мм на ШСГП 2000 з прискоренням $a \approx$ 0,15 м/с$^2$ [35]. З рис. 2.8 слідує, що при прискоренні штаби на профілограмі з'являються шість характерних ділянок. На ділянках I і VI завдовжки 30…40м товщина штаби значно вища за номінальну (1,5мм), що обумовлено відсутністю відповідно переднього і заднього натягнень штаби

На ділянці II провал товщини, пов'язаний з підвищеною температурою торця сляба. На ділянці III товщина штаби близька до номінальної. На ділянках I - III штаба прокатується без прискорення. Після захвату штаби моталкою починається прискорення стана (ділянка IV), при якому відбувається розігрівання металу, збільшення температури і зменшення товщини штаби внаслідок зменшення сили прокатки. На ділянці V діє автоматична система додаткового обтиснення заднього кінця штаби в клітях №6 - 9, але дія його недостатньо ефективно, оскільки потовщення штаби на довжині ~30м перевищує 0,2мм. При такій технологи прокатки штаба отримує значну подовжню різно-товщинність

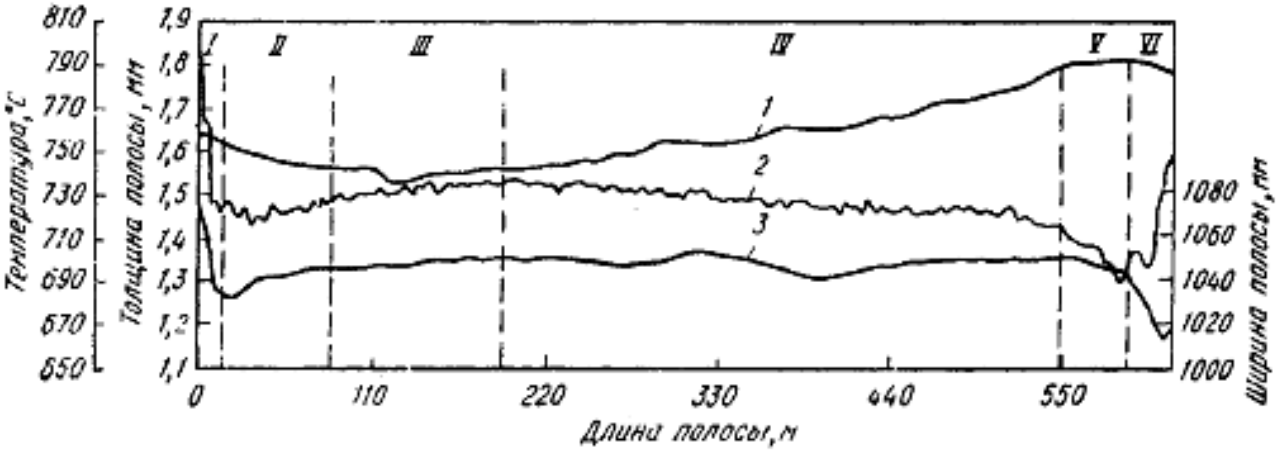


Рисунок 2.8- Изменение температуры (1), толщины (2) и ширины (3) полосы по длине рулона (сталь Ст. 3кп, полоса 1,5×1050 мм)

## 2.5 Нова технологія виробництва точної гарячекатаної штаби

На працюючих нині ШСГП з традиційною технологією і не високими швидкостями прокатки, при застосуванні електромеханічних натискних пристроїв і навіть при установці ППУ, не вдається істотно зменшити потовщення задньої кінцевої ділянки штаби, отримати подовжню різнотовщинность по довжині штаби в межах 0,02…0,03мм. Головними причинами цього є, як відмічали вище: менша температура на задньому кінці штаби, відсутність заднього натягнення штаби, нерівномірність розподілу температури по довжині штаби, неточність виготовлення валків.

При прокатуванні в 4-7-и клітях чистовій групи на ЛПА з неперервним процесом також відсутнє заднє натягнення штаби. Але внаслідок меншого градієнта температур по довжині штаби і значно більшої її довжини, чим на ШСГП, приріст товщини штаби на задньому кінці і відносна довжина потовщеної ділянки незначні.

Один з варіантів вдосконалення технології виробництва штаб на ШСГП запропонований в роботах [3,22,39,40,47-50], в яких головною відмінністю від існуючих ШСГП є зменшення власне чистових клітей з установкою перед ними ППУ, зменшення подовжньої різнотовщинності штаби, зниження питомої витрати електроенергії на прокатку штаб і можливість широкого варіювання деформаційно-швидкісним режимом прокатки штаб в чистовій групі клітей. Останній варіант розробок ШСГП –НТ (нова технологія) представлено на рис.2.9.

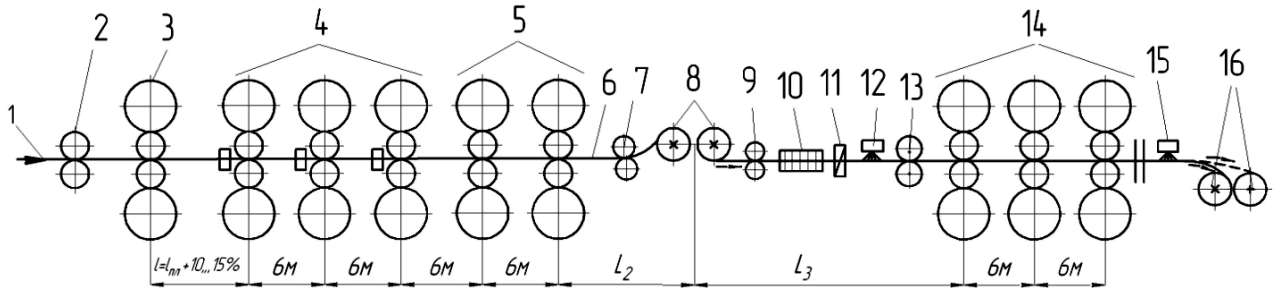


Рисунок 2.9 - Схема ШСГП-НТ : 1 - сляб; 2 – окалиноламач; 3 - чорнова кліть кварто; 4 - універсальні чорнові кліті кварто з вертикальними валками; 5 - чорнові кліті кварто; 6 - проміжний розкат; 7 - направляючі ролики; 8 - ППУ з теплозберігальним екраном; 9 - ролики, що тягнуть; 10 - прохідна індукційна піч; 11 - ножиці; 12,15 - пристрій для душирування ; 13 - чистовий окалиноламач; 14 - неперервна чистова група клітей; 16 - моталки готової штаби

Пропонований ШСГП-НТ (нова технологія) працює таким чином. Товстий сляб (завтовшки $H_{СЛ}$=150...300 мм і шириною В=1000…2000 мм) із слябінгу або машини безперервного литва заготовок (МНЛЗ) транзитом або після підігрівання в нагрівальних печах подають до чорнової групи ШСГП-НТ, що складається з однієї кліті, що окремо стоїть, і неперервної групи з 5 (чи 6) клітей кварто. У неперервній чорновій групі клітей розкат деформують до товщини $H_{ПР}$=(3…6) h (де $H_{ПР}$ і h - відповідно товщина проміжного розкату, що виходить з неперервної чорнової групи і товщина готової штаби, що виходить з чистової групи клітей). При цьому швидкість прокатки в останній кліті неперервної чорнової групи (кліть №6) визначається механічними характеристиками головної лінії клітей і потужністю головних приводів.

На підставі практичних даних для прокатки розкатів вказаних розмірів швидкість прокатки в останній кліті чорнової групи може складати v=6…14 м/с. Перевагою збільшення кількості клітей у неперервній чорновій групі (при одночасному зменшенні кількості клітей до 3-х в чистовій групі), в порівнянні з традиційним ШСГП, являється збільшення температури прокатки відносно тонкого проміжного розкату і, разом з цим, зменшення кількості клітей на стані до 9-ти ( при однакових розмірах валків, слябів і готової штаби, як і на традиційному ШСГП).

Після виходу з останньої кліті неперервної чорнової групи №6 розкат змотується моталкою (чи Coilbox) в рулон масою 20...40 т. Проміжний пристрій (ППУ- Coilbox) перемотування розташований на відстані 12…15 м від осі останньої кліті №6 неперервної чорнової групи і втрати температури на цій ділянці будуть незначними і, крім того, є можливість підігрівання штаби перед клітями чистової групи.

У чистовій групі клітей штабу прокатують по незалежному деформаційно-швидкісному режиму (від клітей чорнової групи) і цей режим може регулюватися в широких межах. При цьому швидкість входу проміжного розкату в першу кліть чистової групи (кліть№7) може бути рівної швидкості

виходу з останньої кліті чорнової групи №6 (чи може бути дещо більшою). Штаба, що виходить з останньої кліті чорнової групи (кліть№6), внаслідок відомих причин (зниження температури і відсутність заднього натягнення штаби), має велику товщину на задній кінцевій ділянці.

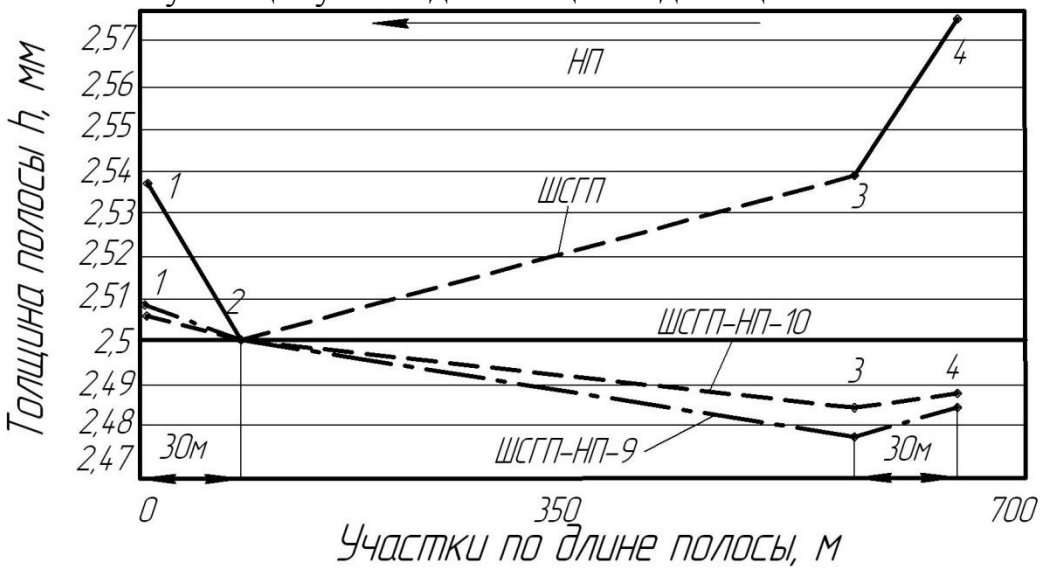


Рисунок 2.10 - Схеми зміни товщини штаби на ділянках 1-4 на станах 1700 різного типу. Товщина сляба Н=160мм, штаба 2,5х1250мм, сталь 08пс, температура сляба в клітi№1 -1180$^0$С, швидкість прокатки в чистовій кліті $v_ч$=10 м/с

На пристрої перемотування 7,8 відбувається зміна положення потовщеного кінця для завдання його в першу кліть чистової групи ( кліть №7). При такому процесі прокатування ( новий задній кінець штаби має більшу температуру і меншу товщину) забезпечується вирівнювання товщини по довжині штаби, а задній кінець штаби може бути на 0,03...0,05мм тонше за товщину переднього кінця [40,47].

При цьому в клітях №№4-6 сила прокатки на ШСГП (НТ) істотно менша, ніж на ШСГП (у клітях №№5-7), особливо при використанні 9-ти клітьового ШСГП -НТ. Зниження сили прокатки в клітях №№4-6 дозволяє помітно зменшити подовжню різнотовщинність готової штаби (рис.2.10).

Збільшення температури розкату і зниження коефіцієнта тертя забезпечують в клітях №№4-6 ШСГП -НТ помітне зниження опору металу деформації і середнього нормального контактного напруження (СНКН) (чинник форми $l_d/h_{ср}$=2...4,5). Сила прокатки в клітях чорнової групи зменшується з 16…19 МН (ШСГП) до 8...13 МН (ШСГП-НТ) Після зменшення температури при перемотуванні на ППУ сила прокатки декілька зростає в клітях чистової групи зі зменшенням сили до 4…4,5 МН в останній чистовій кліті.

На рис.2.10 представлений характер зміни товщини штаби на ділянках 1-4 після прокатки в чистовій кліті для станів різного типу В усіх випадках задана товщина штаби для усіх станів відповідала ділянці 2 і рівна 2,5мм. Ділянка 1 відповідає передньому кінцю штаби, що прокатується в усіх клітях

без переднього натягнення, а ділянка 4 відповідає задньому кінцю штаби, що прокатується без заднього натягнення і при меншій температурі, ніж ділянка 2. В усіх випадках приймали відстань між ділянками 1-2 і 3-4 рівним 30м.

Зміна товщини штаби на ділянці 2-3 обумовлено градієнтом температур по довжині штаби і відповідною зміною відношення $P_i/M_{Пi}$ ($P_i$ і $M_{Пi}$ - сила прокатки і модуль жорсткості штаби на ділянках) в порівнянні з фіксованою ділянкою 2 штаби. Відповідно до прийнятих параметрів прокатки градієнт температур по довжині штаби між ділянками 2 і 4 для серійного ШСГП виявився рівним $\Delta t_Г$=20 $^0$С, а для ШСГП(НТ) -$\Delta t_Г$ =10 $^0$С (менша температура на ділянці 4). Міжклітьове напруження натягнення для останніх шості клітей усіх станів приймала рівними $\sigma_Н$=15 Н/мм$^2$. Приріст товщини на ділянках 1, 3, 4 в порівнянні з ділянкою 2 визначали по формулах (2.7) - (2.10).

Як слідує з розрахунків (рис.2.10), при прокатуванні на традиційному стані ШСГП максимальне потовщення $\delta h_П$ =0,074мм відповідає ділянці 4 заднього кінца, де товщина штаби виявилася рівною $h_4$ =2,574мм. Як показує практика на подібних станах (ШСГП 1680 меткомбінату "Запоріжсталь") [31] приріст товщини на ділянці 4 може бути і більше, оскільки тепловий режим штаби в рулоні на ППУ не контролюється і не регулюється. Це зауваження можна віднести до усіх станів, що мають ППУ, і на яких відсутні додаткові пристрої для стабілізації теплового режиму прокатки штаби в чистових клітях.

При прокатки в чистових клітях ШСГП -НТ для заданої товщини штаби (ділянка 2) приріст її спостерігається лише на ділянці 1 переднього кінця, а на ділянках 3 і 4 штаба прокатана в кліті №9 на мінус $\delta h_П$=–0,022мм, (на 10-ти клітьовому стані на –0,015мм) внаслідок того, що в клітях чистової групи ШСГП-НТ штабу прокатують з більшою температурою в клітях №7,8, чим на ШСГП ($t_8$=924$^0$С). Так, наприклад, температура на вході в кліть №8 для ШСГП-НТ (10 клітей) складає - t=937 $^0$С (більше на 13$^0$С). Ще більша різниця в температурах кінця прокатки штаби в клітях №10: відповідно до 832 і 859$^0$С тобто різниця складає 27 $^0$С).

Таким чином, на ШСГП-НТ основна деформація розкату виконується в клітях чорнової групи (6-7 клітей), а завершальний деформаційний етап виконується в чистовій групі з трьох клітей, перед якою встановлене ППУ і прохідна індукційна піч. Така схема розташування робочих клітей забезпечує::

- підвищення температури розкату (штаби) на 25…39$^0$С після чистової кліті;
- підвищення точності прокатки штаб за рахунок зменшення товщини задньої кінцевої ділянки і температурного клину;
-зниження сумарної потужності прокатки на стані на 15.25% за рахунок підвищення температури штаби і зменшення кількості клітей з 6-7 до 3-х, що беруть участь в процесі прискорення штаби після захвату її переднього кінця моталкою.