

Винахід відноситься до прокатного виробництва, а саме - до виробництва товстих листів на реверсивних станах.

Існує спосіб прокатування товстих листів, при якому кількість обертів валків продовж кожного проходу змінюється внаслідок розгону від швидкості захвату до максимальної, з якою прокатується середня частина розкату, та гальмування від максимальної до швидкості викидання металу з валків [Василев Я.Д., Сафьян М.М. Производство полосовой и листовой стали -Київ.: „Вища школа“, 1976. - с.35].

Недоліком існуючого способу є виникнення поздовжньої різнотовщинності розкату, зумовлене зниженням температури металу на передньому та задньому кінцях розкату та в місцях так званих „глісажних позначок“, тобто в місцях контакту слябів при їх нагріванні перед прокатуванням в методичних пічах з глісажними трубами, які охолоджуються. В перетинах розкату з більш низькою температурою опір деформації металу вище, отже там більше зусилля прокатування та пружна деформація робочої кліті, а в перетинах з більш високою температурою - навпаки. Це і призводить до зміни товщини розкату по його довжині, тобто до поздовжньої різнотовщинності. Поздовжня різнотовщинність підвищує витрати металу на виробництво 1т. листів та призводить до збільшення ваги виробів з цих листів, оскільки розрахунки на міцність ведуться по мінімальній товщині.

В основу винаходу покладене завдання розробки такого способу прокатування товстих листів на реверсивних товстолістових станах (ТЛС), в якому поздовжня різнотовщинність усунена завдяки компенсації зміни температури по довжині розкату зміною швидкості деформації за допомогою регулювання кількості обертів валків.

Поставлене завдання вирішується тим, що в способі прокатування товстих листів, що включає розгін валків від швидкості захвату до максимальних обертів та їх гальмування до швидкості викидання металу з валків, згідно з винаходом, після досягнення максимальних обертів їх змінюють в залежності від зміни температури металу по довжині розкату по співвідношенню:

$$\omega_i = \omega_{\max} \left( \frac{t_i}{t_{\max}} \right)^{c/a}$$

де  $\omega_{\max}$ ,  $t_{\max}$  - максимальні кількість обертів валків та температура металу у даному проході;

$\omega_i$ ,  $t_i$  - кількість обертів валків та температура металу у даному перетині розкату;

$c$ ,  $a$  - показники ступеню температурного розміцнювання та швидкісного зміцнювання сталі, що прокатується.

Це дозволить усунути поздовжню різнотовщинність товстих листів. Вибір співвідношення поміж максимальними та поточними обертами валків зумовлений необхідністю зменшення до нуля різниці в товщинах перетинів розкатів по їх довжині.

Відомо, що товщина розкату в його довільному перетині може бути знайдена по формулі Сімса-Головіна:

$$H = S + P/M_k$$

де  $S$  - відстань між валками до захвату металу;

$P$  - зусилля прокатування;

$M_k$  - модуль жорсткості робочої кліті.

Величина різнотовщинності в довільному перетині:

$$\partial h_i = h_i - h_{\min} = \left( S + \frac{P_i}{M_k} \right) - \left( S + \frac{P_{\min}}{M_k} \right) = \frac{1}{M_k} (P_i - P_{\min})$$

де  $h_i$ ,  $P_i$  - товщина розкату та зусилля прокатування в довільному перетині;

$h_{\min}$ ,  $P_{\min}$  - товщина розкату та зусилля прокатування в перерізі з максимальною температурою металу.

Зусилля прокатування листів, як відомо, дорівнює:

$$P = \beta \cdot n_{\sigma} \cdot \sigma_T \cdot l_d \cdot V_{cp}$$

де  $\beta$  - коефіцієнт Лодє;

$n_{\sigma}$  - коефіцієнт напруженого стану;

$\sigma_T$  - дійсний опір деформації при даних температурі, ступеню і швидкості деформації;

$l_d$  - довжина вогнища деформації;

$V_{cp}$  - середня ширина вогнища деформації.

Із умови  $\partial h_i = 0$  маємо:

$$P_i - P_{\min} = \beta \cdot n_{\sigma} \cdot l_d \cdot V_{cp} [(\sigma_T)_i - (\sigma_T)_{\max}] = 0,$$

де  $(\sigma_T)_{\max}$  - дійсний опір деформації в перетині з максимальною температурою металу.

Отже для усунення різнотовщинності необхідно:

$$(\sigma_T)_i = (\sigma_T)_{\max}$$

Дійсний опір деформації з достатньою для практики точністю можна визначити по емпіричній формулі Андреюка та Тюленева [Василев Я.Д., Сафьян М.М. Производство полосовой и листовой стали. - Київ.: „Вища школа“, 1976. - с.26]:

$$\sigma_T = s \cdot \sigma_{T,0} \cdot U^a \cdot (10\varepsilon)^b \left( \frac{t}{1000} \right)^{-c}$$

де  $s$ ,  $\sigma_{T,0}$  - константи даної марки сталі;

$\varepsilon$  - ступінь деформації в частках одиниці;

$a$ ,  $b$ ,  $c$  - показники ступеню швидкісного та деформаційного зміцнення та температурного розміцнення даної марки сталі відповідно.

Звідси:

$$s * \sigma_{T.0(10\varepsilon)^b} \left[ U_i^a \left( \frac{t_i}{1000} \right)^{-c} - U_{\max}^a \left( \frac{t_{\max}}{1000} \right)^{-c} \right] = 0,$$

де  $U_i$  - пошукувана швидкість деформації в перетині з температурою  $t_i$ ;

$U_{\max}$  - швидкість деформації в перетині з температурою  $t_{\max}$ .

Внаслідок цього:

$$U_i = U_{\max} \left( \frac{t_i}{t_{\max}} \right)^{c/a}$$

Оскільки оберти валків з швидкістю деформації пов'язані залежністю:

$$\omega = \frac{U * I_d}{\varepsilon * R},$$

де  $R$  - радіус робочих валків, то остаточно одержуємо:

$$\omega_i = \omega_{\max} \left( \frac{t_i}{t_{\max}} \right)^{c/a}$$

На Фіг.1 наведено характерну зміну товщини по довжині розкату, що був прокатаний на реверсивному ТЛС. На Фіг.2 показано зміни кількості обертів валків по запропонованому способу прокатування в залежності від розподілу температури та товщини по довжині розкату. З метою спрощення регулювання головних двигунів прокатної кліті зміна кількості обертів валків може відбуватися лінійно і тільки оберти в перетинах з мінімальною та максимальною температурами металу визначаються по запропонованій залежності.

Спосіб здійснюється таким чином.

Припустимо, що різнотовщинність усувається в останньому проході. Тоді в передостанньому проході за допомогою датчика температури вимірюється зміна її по довжині розкату і ця інформація записується в пам'ять комп'ютера. Експериментальні дослідження показали, що поздовжній профіль розкатів на ТЛС має форму, показану на фіг. 1, причому перетини з мінімальною товщиною та максимальною температурою знаходяться поблизу його кінців.

Місцезнаходження перетинів в останньому проході від його переднього кінця визначається множенням відстані від заднього кінця розкату до даного перетину в передостанньому проході на коефіцієнт витягування в останньому проході.

В останньому проході після захвату металу валками вони розганяються до  $\omega_{\max}$  в перетині з  $t_{\max}$  за допомогою існуючої системи автоматичного керування головними двигунами кліті, яка повинна тепер бути пов'язаною з комп'ютером. Потім кількість обертів лінійно зменшується до  $\omega_i$  в перетині з  $t_i$ . Величина  $\omega_i$  знаходиться по запропонованій залежності. Внаслідок зменшення швидкості деформації опір деформації, незважаючи на зниження температури у цьому перетині, зменшується до  $\sigma_T$  в перетині з  $t_{\max}$ . Оскільки інші параметри деформування не змінюються, то зусилля деформації в цих перетинах вирівнюються. Робляться рівними пружні деформації кліті, і, як наслідок, зрівнюються товщини розкату.

Наступний перетин з температурою, більшою ніж в місцях глісажних позначок, знаходиться близько середини розкату. Тут швидкість деформації потрібно збільшити, щоб товщина розкату не вийшла за нижню межу поля допуску. Це робиться збільшенням обертів валків з урахуванням температури в цьому перетині по запропонованій залежності.

Аналогічним чином має відбуватися регулювання обертів валків і в інших перетинах.

На кінцях розкату, яким на діаграмі швидкості (Фіг.2) відповідають ділянки від швидкості захвату  $\omega_3$  до  $\omega_{\max}$  та від  $\omega_{\max}$  до швидкості викидання  $\omega_B$ , різнотовщинність не усувається, оскільки кінці розкату все рівно відрізаються на ножицях. Тому швидкість захвату визначається із необхідності розгону валків до  $\omega_{\max}$  на довжині переднього кінця, що відрізається, а швидкість викидання - виходячи із звичайних вимог мінімізації пауз між проходами, якщо різнотовщинність усувається не в останньому проході, або довільно - якщо в останньому.

Приклад здійснення способу.

На ТЛС 2800 здійснюється прокатування розкату 16x1700x13800мм із сталі 3сп. Поздовжня різнотовщинність усувається в останньому проході, де обтиск дорівнює 2мм. Модуль жорсткості чистової кліті  $M_k=3,136$ Мн/мм.

По експериментальним даним для цього розкату відома величина поздовжньої різнотовщинності у всіх його перетинах (Фіг.1). Мінімальна товщина на передньому кінці розкату  $h_{\min}=16$ мм знаходиться на відстані 600мм від кінця. Максимальна товщина з переднього кінця розкату ( в середині його першої глісажної позначки) - на відстані 2400мм від переднього кінця.

По показанням оптичного пірометра температура в перетині  $h_{\min}$ , який ми позначимо №1, дорівнює 920°C. Її приймемо за  $t_{\max}$ . В перетині  $h_{\max}=16,25$ мм, який знаходиться на відстані 2400мм від переднього кінця у останньому проході і який ми позначимо №2,  $t_{\min}$  дорівнює 894°C. По запропонованій залежності знаходимо:

$$\omega_i = 10 \left( \frac{894}{920} \right)^{2,54/0,124} = 5,559^{1/c},$$

де  $\omega_{\max}=10^{1/c}$  - максимальна кількість обертів робочих валків в цьому проході.

Перевіримо, чи вдалося зменшити товщину розкату в перетині №2 до 16мм завдяки зменшенню обертів з 10 до 5,559 1/с.

Опір деформації в перетині №1:

$$\sigma_T=87,072*1,11^{0,167*15,7^{0,124}*0,92^{-2,54}}=154,07\text{МПа}.$$

Опір деформації в перетині №2 по існуючому способу:

$$\sigma_T=87,072*1,11^{0,167*15,7^{0,124}*0,894^{-2,54}}=165,71\text{МПа}.$$

Зусилля прокатування в перетині №1:  
 $P_1 = 1,15 \cdot 1,132 \cdot 154,07 \cdot 28,28 \cdot 1850 = 10,493 \text{ Мн.}$

Зусилля прокатування в перетині №2 по існуючому способу:  
 $P_2 = 1,15 \cdot 1,132 \cdot 165,71 \cdot 28,28 \cdot 1850 = 11,286 \text{ Мн.}$

Різниця в товщинах у перетинах №1 та №2:

$$h_2 - h_1 = \frac{1}{M_k} (P_2 - P_1) = \frac{1}{3,136} (11,286 - 10,493) = 0,253 \text{ мм}$$

Після зменшення обертів валків в перетині №2 по запропонованому способу до 5,559 1/с, швидкість деформації стала дорівнювати:

$$U_2 = \frac{\omega_2 \cdot R \cdot \varepsilon}{l_d} = \frac{5,559 \cdot 400 \cdot 0,111}{28,28} = 8,727^{1/c}$$

Отже опір деформації тепер буде дорівнювати:

$$\sigma = 87,072 \cdot 1,11^{0,167} \cdot 8,727^{0,124} \cdot 0,894^{-2,54} = 154,07 \text{ МПа.}$$

Зусилля прокатування зменшиться до величини:

$$\bar{P}_2 = 1,15 \cdot 1,132 \cdot 154,07 \cdot 28,28 \cdot 1850 = 10,493 \text{ Мн.}$$

Отже, різнотовщинність усунена. Аналогічні розрахунки виконали для перетина №3, який знаходиться на відстані 6500мм від переднього кінця, де товщина розкату знов зменшується до 16мм; для перетину №4 на відстані 10200мм (друга глісажна позначка), де товщина дорівнює 16,4мм, та в перетині №5 на відстані 13200мм, де товщина розкату зменшується до 15,95мм. Тут навпаки, потрібно кількість обертів збільшувати, щоб запобігти зменшенню товщини.

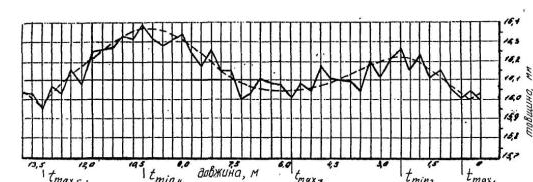
Результати розрахунків зведено в таблицю.

Таблиця

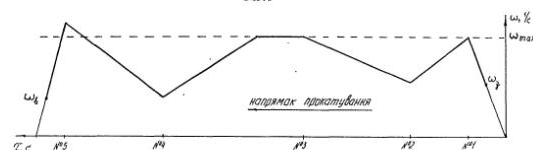
№ перетину	Відстань від переднього кінця, мм	$h_i$ мм	$t_i$ °C	$\omega_i$ 1/с	$P_i$ Мн	$\bar{P}_i$ Мн
1	600	16,00	920	10,000	10,493	10,493
2	2400	16,25	894	5,559	11,286	10,493
3	6500	16,00	920	10,000	10,493	10,493
4	10200	16,40	880	4,020	11,748	10,493
5	13200	15,95	925	11,175	10,336	10,493

По таблиці 1 видно, що завдяки стабілізації зусилля прокатування у всіх перетинах розкату товщину можна підтримувати постійною, рівною 16мм.

Таким чином застосування запропонованого способу дозволяє усувати поздовжню різнотовщинність товстих листів при їх прокатуванні на реверсивних ТЛС, що зменшить питомі витрати металу на їх виробництво, а також масу конструкцій, що виготовляються із цих листів.



Фіг.1



Фіг.2