



МІНІСТЕРСТВО  
ЕКОНОМІЧНОГО  
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 119409

(13) U

(51) МПК

B21B 1/22 (2006.01)

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2017 03193**

(22) Дата подання заявки: **03.04.2017**

(24) Дата, з якої є чинними  
права на корисну  
модель: **25.09.2017**

(46) Публікація відомостей  
про видачу патенту: **25.09.2017, Бюл.№ 18**

(72) Винахідник(и):

**Бобух Іван Олексійович (UA),  
Волошин Олексій Іванович (UA),  
Барабаш Андрій Володимирович (UA),  
Ростовський Костянтин Леонідович (UA),  
Григор'єв Павло Костянтинович (UA)**

(73) Власник(и):

**ПРИВАТНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО  
"НОВОКРАМАТОРСЬКИЙ  
МАШИНОБУДІВНИЙ ЗАВОД",  
вул. Орджонікідзе, 5, м. Краматорськ,  
Донецька обл., 84305 (UA)**

## (54) СПОСІБ ПРОКАТКИ СЛЯБА

(57) Реферат:

Спосіб прокатки сляба, при якому виконують обтиснення сляба по ширині в вертикальних каліброваних валках з коефіцієнтом заповнення їх калібрів на рівні 0,75...0,96 і відповідне формування кромки сляба горизонтальними валками з ребордами в прямому та реверсивному режимі роботи, причому на фіксованих відрізках  $L_\phi$  від переднього та заднього торців сляба виконують обтиснення  $\Delta b_\phi$ , величина якого не перевищує 20 мм, при цьому довжина

$$L_\phi = 2\sqrt{\Delta b_\phi \times \frac{D}{2}}, \text{ де}$$

$\Delta b_\phi$  - фіксоване обтиснення вертикальними валками на відрізках  $L_\phi$ ,

$D$  - діаметр калібру вертикального валка,

а на суміжних відрізках  $L_{ei}$  сляба обтиснення збільшується рівномірно від  $\Delta b_\phi$  до  $\Delta b_{ei}$ , де

$$L_{ei} = 1,5\sqrt{\Delta b_{ei} \times \frac{D}{2}}, \text{ де}$$

$\Delta b_{ei}$  - обтиснення вертикальними валками для отримання розрахункової ширини сляба

$b_{ei} = b_0 - \Delta b_{ei}$ , де

$b_0$  - початкова ширина сляба,

крім того реборди лівої та правої пари горизонтальних валків встановлюють на розмір  $b_{ei}$ , а бочки горизонтальних валків шириною  $b_z$  забезпечують обтиснення сляба до товщині  $h_z$ , при цьому вирівнюють коефіцієнти подовження як по ширині бочки, так і за її межами, згідно із залежністю:

$$2\sigma_c h_z b_z \geq \sigma_c h_e (b_{ei} - 2b_z), \text{ де}$$

UA 119409 U

$\sigma_c'$  - напруження в металі, який деформується в межах бочок горизонтальних валків,

$\sigma_c''$  - напруження в металі, який знаходиться за межами бочок горизонтальних валків,

$b_z$  - ширина бочки горизонтальних валків  $b_z \geq h_{nl}$ ,

$h_{nl}$  - глибина пластичної деформації,

$b_{\epsilon i}$  - ширина сляба після деформації вертикальними валками,

$h_z$  - товщина сляба після деформації горизонтальними валками,

$h_z = h_0 / \lambda_{zg}$ , де

$h_0$  - початкова товщина сляба,

$\lambda_{zg}$  - коефіцієнт подовження при обтисненні метала горизонтальними валками

$\lambda_{zg} = F_{\kappa\epsilon} / F_{\kappa z}$ , де

$F_{\kappa\epsilon}$  - площа сляба після обтиснення вертикальними валками на ширині бочки  $b_z$ ,

$F_{\kappa z}$  - площа сляба після обтиснення горизонтальними валками на ширині бочки  $b_z$ ,

$h_{\epsilon}$  - товщина сляба після деформації вертикальними валками

$h_{\epsilon} = h_0 / \lambda_{\epsilon\epsilon}$ , де

$\lambda_{\epsilon\epsilon}$  - коефіцієнт подовження метала при обтисненні в вертикальних валках

$\lambda_{\epsilon\epsilon} = F_{\kappa o} / F_{nl}$ , де

$F_{\kappa o}$  - площа сляба до обтиснення на глибині пластичної деформації

$h_{nl} + \Delta b_{\epsilon i} / 2$ ,

$F_{nl}$  - площа сляба після обтиснення на глибині пластичної деформації  $h_{nl}$ .

Корисна модель, яка заявляється, стосується прокатного виробництва чорної металургії й може бути застосована на штабових та листових станах для прокатки гарячекатаних штаб та листів зі значним редукуванням вихідних слябів по ширині.

Відомий спосіб прокатки сляба по ширині, що включає прокатку сляба в вертикальних валках з калібрами і формування кромки слябів ребордами горизонтальних валків (авторське свідоцтво СРСР № 418232, МПК В21В 1/38). Цей спосіб має суттєвий недолік, а саме прокатка в калібрах вертикальних валків виконується з однаковим обтисненням, що приводить до зменшення ширини сляба, що прокатується, на його передньому та задньому торцях.

Другий недолік полягає в тому, що не визначені основні параметри калібру вертикального валка і глибина пластичної деформації по ширині прокатного сляба. Також не визначені параметри горизонтальних валків з ребордами.

Також відомий спосіб прокатки сляба, в якому зменшена різниця коефіцієнтів подовження металу між прикрайковими та центральними зонами сляба (патент України на корисну модель № 55900, МПК В21В 1/22).

Таке технічне рішення є найбільш близьким до того, що заявляється, по сукупності істотних ознак і приймається як прототип.

У відомому способі прокатки сляба також, як і в тому, що заявляється, здійснюються наступну послідовність дій: виконують обтиснення слябів по ширині в вертикальних валках з коефіцієнтом заповнення їх калібрів на рівні 0,75...0,96 і відповідне формування кромки слябів ребордами горизонтальних валків в прямому та реверсивному режимі роботи.

Але обтиснення з коефіцієнтом подовження при прокатці сляба в калібрах вертикальних валків, рівним 0,9...1,05, не вирішує задачі рівномірного подовження на ширині сляба після прокатки в горизонтальних валках з ребордами, при цьому цей недолік збільшується нерівномірною товщиною сляба після прокатки в горизонтальних валках, а саме: максимальна товщина  $h_m \leq 1,05 \times h_0$ , де  $h_0$  - початкова товщина сляба, а її відстань від кромки перевищує глибину калібру вертикальних валків.

В основу корисної моделі поставлено задачу розширити технологічні можливості при прокатці слябів з одночасним підвищенням коефіцієнта придатного по ширині листа, з розширенням сортаменту слябів як по ширині, так і по товщині.

Поставлена задача вирішується за рахунок технічного результату, який полягає в застосуванні перемінної величини обтиснення по ширині близько переднього та заднього торців сляба, а також в розширенні діапазону регулювання проміжку між ребордами валків зі збереженням витягувальних здібностей горизонтальних валків і зменшенні об'єму металу, що переміщується до центра сляба від передніх та задніх його торців.

Для досягнення технічного результату в способі прокатки сляба, при якому виконують обтиснення сляба по ширині в вертикальних каліброваних валках з коефіцієнтом заповнення їх калібрів на рівні 0,75...0,96 і відповідне формування кромки сляба горизонтальними валками з ребордами в прямому та реверсивному режимі роботи, відповідно до корисної моделі, на фіксованих відрізках  $L_\phi$  від переднього та заднього торців сляба виконують обтиснення  $\Delta b_\phi$ , величина якого не перевищує 20 мм, при цьому довжина

$$L_\phi = 2\sqrt{\Delta b_\phi \times \frac{D}{2}}, \text{ де}$$

$\Delta b_\phi$  - фіксоване обтиснення вертикальними валками на відрізках  $L_\phi$ ,

$D$  - діаметр калібру вертикального валка, а на суміжних відрізках  $L_{ei}$  сляба обтиснення збільшується рівномірно від  $\Delta b_\phi$  до  $\Delta b_{ei}$ , де

$$L_{ei} = 1,5\sqrt{\Delta b_{ei} \times \frac{D}{2}}, \text{ де}$$

$\Delta b_{ei}$  - обтиснення вертикальними валками для отримання розрахункової ширини сляба

$b_{ei} = b_0 - \Delta b_{ei}$ , де

$b_0$  - початкова ширина сляба,

крім того реборди лівої та правої пари горизонтальних валків встановлюють на розмір  $b_{ei}$ , а

бочки горизонтальних валків шириною  $b_z$  забезпечують обтиснення сляба до товщині  $h_z$ , при

цьому вирівнюють коефіцієнти подовження як по ширині бочки, так і за її межами, згідно із залежністю:

$$2 \times \sigma_c' \times h_e \times b_e \geq \sigma_c'' \times h_e \times (b_{ei} - 2b_e), \text{ де}$$

$\sigma_c'$  - напруження в металі, який деформується в межах бочок горизонтальних валків,

5  $\sigma_c''$  - напруження в металі, який знаходиться за межами бочок горизонтальних валків,

$b_e$  - ширина бочки горизонтальних валків  $b_e \geq h_{nl}$ ,

$h_{nl}$  - глибина пластичної деформації,

$b_{ei}$  - ширина сляба після деформації вертикальними валками,

$h_e$  - товщина сляба після деформації горизонтальними валками,

10  $h_e = h_0 / \lambda_{eg}$ , де

$h_0$  - початкова товщина сляба,

$\lambda_{eg}$  - коефіцієнт подовження при обтисненні металу горизонтальними валками

$\lambda_{eg} = F_{kg} / F_{kz}$ , де

$F_{kg}$  - площа сляба після обтиснення вертикальними валками на ширині бочки  $b_e$ ,

15  $F_{kz}$  - площа сляба після обтиснення горизонтальними валками на ширині бочки  $b_e$ ,

$h_e$  - товщина сляба після деформації вертикальними валками

$h_e = h_0 / \lambda_{eg}$ , де

$\lambda_{eg}$  - коефіцієнт подовження металу при обтисненні в вертикальних валках

$\lambda_{eg} = F_{ko} / F_{nl}$ , де

20  $F_{ko}$  - площа сляба до обтиснення на глибині пластичної деформації  $h_{nl} + \Delta b_{ei} / 2$ ,

$F_{nl}$  - площа сляба після обтиснення на глибині пластичної деформації  $h_{nl}$ .

У результаті порівняльного аналізу запропонованого способу прокатки сляба з прототипом встановлено, що вони мають наступні загальні ознаки:

25 виконання обтиснення сляба по ширині в вертикальних каліброваних валках з коефіцієнтом заповнення їх калібрів на рівні 0,75...0,96;

формування кромки сляба горизонтальними валками з ребордами в прямому та реверсивному режимі роботи;

а також відмітні ознаки:

на фіксованих відрізках  $L_\phi$  від переднього та заднього торців сляба виконують обтиснення

30  $\Delta b_\phi$ , величина якого не перевищує 20 мм, при цьому довжина

$$L_\phi = 2 \sqrt{\Delta b_\phi \times \frac{D}{2}}, \text{ де}$$

$\Delta b_\phi$  - фіксоване обтиснення вертикальними валками на відрізках  $L_\phi$ ,

$D$  - діаметр калібру вертикального валка,

на суміжних відрізках  $L_{ei}$  сляба обтиснення збільшується рівномірно від  $\Delta b_\phi$  до  $\Delta b_{ei}$ , де

35  $L_{ei} = 1,5 \sqrt{\Delta b_{ei} \times \frac{D}{2}}$ , де

$\Delta b_{ei}$  - обтиснення вертикальними валками для отримання розрахункової ширини сляба

$b_{ei} = b_0 - \Delta b_{ei}$ , де  $b_0$  - початкова ширина сляба,

реборди лівої та правої пари горизонтальних валків встановлюють на розмір  $b_{ei}$ , а бочки горизонтальних валків шириною  $b_z$  забезпечують обтиснення сляба до товщині  $h_z$ , при цьому вирівнюють коефіцієнти подовження як по ширині бочки, так і за її межами, згідно із залежністю:

$$2 \times \sigma_c' \times h_z \times b_z \geq \sigma_c'' \times h_e \times (b_{ei} - 2b_z), \text{ де}$$

5  $\sigma_c'$  - напруження в металі, який деформується в межах бочок горизонтальних валків,

$\sigma_c''$  - напруження в металі, який знаходиться за межами бочок горизонтальних валків,

$b_z$  - ширина бочки горизонтальних валків  $b_z \geq h_{nl}$ ,

$h_{nl}$  - глибина пластичної деформації,

$b_{ei}$  - ширина сляба після деформації вертикальними валками,

10  $h_z$  - товщина сляба після деформації горизонтальними валками,

$$h_z = h_0 / \lambda_{z\phi}, \text{ де}$$

$h_0$  - початкова товщина сляба,

$\lambda_{z\phi}$  - коефіцієнт подовження при обтисненні металу горизонтальними валками

$$\lambda_{z\phi} = F_{\kappa\phi} / F_{\kappa z}, \text{ де}$$

15  $F_{\kappa\phi}$  - площа сляба після обтиснення вертикальними валками на ширині бочки  $b_z$ ,

$F_{\kappa z}$  - площа сляба після обтиснення горизонтальними валками на ширині бочки  $b_z$ ,

$h_e$  - товщина сляба після деформації вертикальними валками

$$h_e = h_0 / \lambda_{e\phi}, \text{ де}$$

$\lambda_{e\phi}$  - коефіцієнт подовження металу при обтисненні в вертикальних валках, який становить

20  $\lambda_{e\phi} = F_{ko} / F_{nl}, \text{ де}$

$F_{ko}$  - площа сляба до обтиснення на глибині пластичної деформації  $h_{nl} + \Delta b_{ei} / 2$ ,

$F_{nl}$  - площа сляба після обтиснення на глибині пластичної деформації  $h_{nl}$ .

Таким чином, запропонований спосіб прокатки слаба має нову операцію й нову послідовність виконання операцій.

25 Причинно-наслідковий зв'язок між сукупністю ознак, що заявляються, та технічним результатом є.

За рахунок того, що на фіксованих відрізках  $L_\phi$  від переднього та заднього торців сляба виконують обтиснення  $\Delta b_\phi$ , величина якого не перевищує 20 мм, при цьому довжина

$$L_\phi = 2 \sqrt{\Delta b_\phi \times \frac{D}{2}}, \text{ де}$$

30  $\Delta b_\phi$  - фіксоване обтиснення вертикальними валками на відрізках  $L_\phi$ ,

$D$  - діаметр калібру вертикального валка,

а на суміжних відрізках  $L_{ei}$  сляба обтиснення збільшується рівномірно від  $\Delta b_\phi$  до  $\Delta b_{ei}$ , де

$$L_{ei} = 1,5 \sqrt{\Delta b_{ei} \times \frac{D}{2}}, \text{ де}$$

$\Delta b_{ei}$  - обтиснення вертикальними валками для отримання розрахункової ширини сляба

35  $b_{ei} = b_0 - \Delta b_{ei}, \text{ де}$

$b_0$  - початкова ширина сляба, стало можливим змінювати величину обтиснення від  $\Delta b_\phi$  до

$\Delta b_{ei}$ , також збільшити коефіцієнт придатного по ширині листа і зменшити об'єм металу, який

переміщується до центра сляба від передніх та задніх його торців, що дозволяє усунути звуження сляба на передніх та задніх торцях більше величини  $\Delta b_{ei}$ .

За рахунок того, що реборди лівої та правої пари горизонтальних валків встановлюють на розмір  $b_{ei}$ , а бочки горизонтальних валків шириною  $b_z$  забезпечують обтиснення сляба до товщині  $h_z$ , при цьому вирівнюють коефіцієнти подовження як по ширині бочки, так і за її межами, згідно із залежністю:

$$2 \times \sigma_c' \times h_z \times b_z \geq \sigma_c'' \times h_g \times (b_{ei} - 2b_z), \text{ де}$$

$\sigma_c'$  - напруження в металі, який деформується в межах бочок горизонтальних валків,

$\sigma_c''$  - напруження в металі, який знаходиться за межами бочок горизонтальних валків,

$b_z$  - ширина бочки горизонтальних валків  $b_z \geq h_{nl}$ ,

$h_{nl}$  - глибина пластичної деформації,

$b_{ei}$  - ширина сляба після деформації вертикальними валками,

$h_z$  - товщина сляба після деформації горизонтальними валками,

$$h_z = h_0 / \lambda_{zb}, \text{ де}$$

$h_0$  - початкова товщина сляба,

$\lambda_{zb}$  - коефіцієнт подовження при обтисненні металу горизонтальними валками

$$\lambda_{zb} = F_{kb} / F_{kz}, \text{ де}$$

$F_{kb}$  - площа сляба після обтиснення вертикальними валками на ширині бочки  $b_z$ ,

$F_{kz}$  - площа сляба після обтиснення горизонтальними валками на ширині бочки  $b_z$ ,

$h_g$  - товщина сляба після деформації вертикальними валками

$$h_g = h_0 / \lambda_{gb}, \text{ де}$$

$\lambda_{gb}$  - коефіцієнт подовження металу при обтисненні в вертикальних валках, який становить

$$\lambda_{gb} = F_{ko} / F_{nl}, \text{ де}$$

$F_{ko}$  - площа сляба до обтиснення на глибині пластичної деформації  $h_{nl} + \Delta b_{ei} / 2$ ,

$F_{nl}$  - площа сляба після обтиснення на глибині пластичної деформації  $h_{nl}$ , стало можливим вирівняти коефіцієнт подовження по ширині сляба, що дає можливість розширити діапазон регулювання проміжку між ребордами зі збереженням витягувальних здібностей горизонтальних валків, при цьому товщина заготовки на повздовжніх торцях зменшується до величини  $h_0$ , а відношення  $h_{0max} / h_{0min} = 1,1$ . До того ж, прийняті параметри осередку деформації (або  $D_{kb}$  - діаметр калібру вертикального валка) дозволяють міняти величину обтиснення від 20 мм до 120 мм для отримання розрахункової ширини сляба після прокатки.

Виключення із зазначеної сукупності ознак відмітної ознаки не забезпечує рішення поставленого завдання. Технічне рішення, що заявляється, невідомо з рівня техніки, тому воно є новим. Технічне рішення, що заявляється, промислово застосовано, тому що його виконання не представляє труднощів.

Заявлене рішення промислово застосовано, тому що його технологічне обладнання не викликає труднощів при виконанні і може бути реалізоване на базі діючого прокатного стану гарячої прокатки, раніше спроектованого та виготовленого ПАТ "Новокраматорський машинобудівний завод".

Таким чином, пропонованому технічному рішенням може бути представлена правова охорона, тому що воно є новим і промислово застосовано.

Суть пропонованого способу, що заявляється, пояснюється нижче.

- Фіг. 1 - загальний вид пристрою для впровадження пропонованого способу прокатування сляба;

- Фіг. 2 - вид А на фіг. 1

- Фіг. 3 - розріз С-С на фіг. 1;
- Фіг. 4 - розріз F-F на фіг. 1;
- Фіг. 5 - поле ліній зміщення (ковзання) та деформації металу при прокатуванні.

Для реалізації пропонованого технічного рішення на вертикальних каліброваних валках 1 (фіг. 1) нарізають калібри 2 (фіг. 3) з катаючим діаметром  $D_{\kappa\phi}$ , глибиною  $t_{\kappa}$  та шириною  $b_{\kappa}$ .

При цьому ширина калібру  $b_{\kappa}$  визначається по максимальній товщині сляба, що прокатується,  $h_{0\max}$ . Наприклад для сляба  $h_{0\max} = 250$  мм величина  $b_{\kappa} = 256$  мм забезпечує мінімальне обтиснення сляба по кромці  $\Delta b$  не більше 6...7 мм на фіксованих відрізках  $L_{\phi}$  та зростання на суміжних відрізках  $L_{\theta}$  обтиснення до 20 мм з коефіцієнтом заповнення калібрів на рівні 0,75...0,96.

Пара лівих та правих горизонтальних валків виконуються з двох конструктивних елементів - бочки 3 ( $D_{\kappa\phi}$  - катаючий діаметр,  $b_2$  - довжина) та ребордів 4, які переміщуються разом з бочками 3, поздовж горизонтальних осей нижніх та верхніх валків (фіг. 1, фіг. 4).

Реборди 4 лівої та правої пари горизонтальних валків 3 встановлюють на розмір  $b_{\theta i}$ , а бочки горизонтальних валків шириною  $b_2$  забезпечують обтиснення сляба до товщині  $h_2$  (фіг. 4).

Промислові дослідження на діючих прокатних станах при температурі прокатки дозволили одержати базові напруження по вертикальним та горизонтальним клітям і напруження в металі  $\sigma_c'$ , який деформується в межах бочок валків, та в металі за межами бочок  $\sigma_c''$ , встановити залежність подовження від змінної величини модуля пружності  $E$  тобто  $\varepsilon$ , тобто  $\sigma_c' / E_1 = \lambda = \sigma_c'' / E_2$ .

При цьому вирівнюються коефіцієнти подовження як по ширині бочки, так і за її межами, згідно із залежністю:

$$2\sigma_c' h_2 b_2 \geq \sigma_c'' h_{\theta} (b_{\theta i} - 2b_2), \text{ де}$$

$\sigma_c'$  - напруження в металі, який деформується в межах бочок горизонтальних валків,

$\sigma_c''$  - напруження в металі, який знаходиться за межами бочок горизонтальних валків,

$b_2$  - ширина бочки горизонтальних валків  $b_2 \geq h_{\text{пл}}$ ,

$h_{\text{пл}}$  - глибина пластичної деформації,

$b_{\theta i}$  - ширина сляба після деформації вертикальними валками,

$h_2$  - товщина сляба після деформації горизонтальними валками, який обчислюється, згідно з формулою  $h_2 = h_0 / \lambda_{\text{зв}}$ , яка, у свою чергу, розкривається подалі на наступній сторінці.

Для того, щоб не було переповнення металом, що деформується, калібрів, які утворюються парами горизонтальних валків 3 та їх ребордами 4 твірні реборди 4 горизонтальних валків 3 відносно торцевої поверхні сляба 5 виконують з випуском твірної під кутом 1...3° (фіг. 4), а діаметри реборд 4 визначаються згідно з формулою:

$$D_p = D_{\kappa\phi} + h_2, \text{ де}$$

$D_{\kappa\phi}$  - катаючий діаметр горизонтальних валків,

$h_2$  - товщина сляба після прокатки в горизонтальних валках.

$$h_2 = h_0 / \lambda_{\text{зв}}, \text{ де}$$

$h_0$  - початкова товщина сляба, при прокатці слябів різної товщини  $h_{0\max} / h_{0\min} = 1,1$  для розрахунку величини  $D_p$  беруть  $h_{0\min}$ .

$\lambda_{\text{зв}}$  - коефіцієнт подовження при обтисненні металу горизонтальними валками

$$\lambda_{\text{зв}} = F_{\kappa\phi} / F_{\kappa\phi}, \text{ де}$$

$F_{\kappa 6}$  - площа сляба після обтиснення вертикальними валками на ширині бочки  $b_6$ ,

$F_{\kappa 2}$  - площа сляба після обтиснення горизонтальними валками на ширині бочки  $b_2$ .

Увага величинам коефіцієнтів подовження при обтисненні металу як в вертикальних так і в горизонтальних валках надається для того щоб виключити переповнення калібрів металом, що деформується.

Підвищення коефіцієнта придатного по ширині листа є основним економічним завданням технічного рішення. На фіг. 2 показана схема зміни ширини сляба, що деформується по ширині.

Експериментальні та теоретичні дослідження показали, що глибина зони пластичної деформації залежить від співвідношення геометричних параметрів зони деформації в вертикальних валках, та особливо в вертикальних валках з калібрами, численно визначені границі жорстких зон осередку деформації від величин  $\sum \ell_p / \ell_{\Delta b}$  та  $h_{nl} / \ell_{\Delta b}$ .

По способу, що пропонується, на фіксованих відрізках  $L_\phi = 2\sqrt{\Delta b_\phi \times \frac{D}{2}}$  довжиною 228,3 мм (див. таблицю 1, фіг 2, 5) сляб обтискується на величину  $\Delta b = 20$  мм, а далі величина обтиснення рівномірно зростає і при обтисненні близько  $\Delta b_i = 25$ , при довжині відрізка

$\sum L_p = 291,5$  мм при параметрах  $\frac{\sum L_p}{L_{\Delta b}} = 2,175$  та  $\frac{h_{nl}}{L_{\Delta b}} = 2,18$ , що є свідченням жорсткого переднього кінця за межами осередку деформації. При цьому передній кінець  $\Sigma B_2 T'$  опускається по відношенню до величини обтиснення на 23,6 мм. Тобто ширина переднього кінця сляба зменшується на 43,6 мм:

Далі обтиснення сляба по ширині зростає до  $\Delta b = 60$  мм при цьому сума  $L_{ei} + L_\phi$  зростає до величини  $\sum L_p = 538,5$  мм. При постійній величині обтиснення  $\Delta b_i = 60$  мм на ділянці сляба рівній 10923 мм при довжині сляба  $L_{сляба} = 12000$  мм ширина сляба дорівнює 1650 мм, а далі обтиснення зменшується від  $\Delta b_i$  до 20 мм, при цьому ширина сляба зменшується на 42,36 мм відносно обтиснення (фіг. 2).

На передній та задній ділянках загальною довжиною 1077 мм ширина сляба очікується від 1650 мм до 1666 мм.

Для обґрунтування відносного переміщення металу в осередку деформації вертикальних 1 та горизонтальних валків 3, 4, використали теоретичну модель - поле лінії зсуву в металі осередка деформації при прокатці (див. під ред. О.П. Чекмарьова, "Теорія прокатки". - М.: Металургія, 1975. - С. 46-50).

На фіг. 5 показана висота осередку деформації на його вході  $H_0$  та виході  $H_1$ . Границі осередку деформації в межах його геометричних розмірів ACODB, де AB - довжина  $L_i$  дуги охоплення. Границі осередку деформації за межами геометричних розмірів, а саме ACP - на вході в осередок деформації, та BOTG<sub>1</sub> на виході із осередку деформації, а також відповідні кути переміщення  $\psi$ ,  $\varphi$  на вході металу в осередок деформації та виході в залежності від глибини деформації, величина якої більше  $0,025 \times h_{nl}$  (де  $h_{nl} = H_1$ ) зони імовірних напружень розтягування 1234 в осьовій зоні та 56 - на виході із осередку деформації.

Реалізація способу прокатування слябів на конкретному прикладі.

Нагрітий до температури прокатування 1150...1250 °С сляб 5 переміщується рольгангом (на фігурах не показаний) та задається в калібри вертикальних валків 1, де деформується по ширині  $b_0$  з перемінним обтисненням, а саме: на фіксованій довжині  $L_\phi = 220$  мм виконують обтиснення, величина якого  $\Delta b_\phi = 20$  мм, при цьому довжина осередку деформації в калібрах вертикальних валків:  $L_\phi / 2 = 110$  мм, глибина деформації  $h_{nl} = 266$  мм, збільшення товщини на кромці сляба  $\Delta b_\kappa = 10,2$  мм, максимальне збільшення товщини  $\Delta b_m = 16$  мм на відстані від кромки сляба  $[X_m] = 123,4$  мм.



Дослідження на діючих прокатних станах показали, що силові та кінематичні показники прокатки в горизонтальних та вертикальних валках при температурі прокатування 1150...1250 °С однакові при одних і тих же відношеннях  $l_z / h_{cp}$  - в горизонтальних валках, та

$$l_z / h_{nl} - \text{в вертикальних валках в межах } 0,3 \leq \frac{l_z}{h_{cp}} = \frac{l_z}{h_{nl}} \leq 0,6,$$

- 5 де  $l_z$  - довжина дуги захвата осередку деформації горизонтальних валків (AB),  
 $h_{cp}$  - середня висота осередку деформації горизонтальних валків, яка обчислюється, згідно

$$\text{із залежністю } h_{cp} = \frac{H_0 + H_1}{2}, \text{ де}$$

$H_0$  - висота осередку деформування на вході (фіг. 5),

$H_1$  - висота осередку деформування на виході (фіг. 5).

10

Таблиця

Зміна параметрів осередку деформації

$\Delta b$ , мм	$h_{nl}$ , мм	$L_\Delta$	$\Sigma l_p$	$\frac{\Sigma l_p}{l_{\Delta\delta}}$	$\frac{h_{nl}}{l_{\Delta\delta}}$	$\Sigma B_2 T$	$XT$	$XP$	$XP - L_\phi$
20	265,8	ПО	228,3	2,075	2,42	20,4	55	198	-63
30	283,9	134	63,2	2,175	2,18	23,6	20	214	-36
40	295,7	155	73,7	2,356	1,96		15,5	237	6,8
50	304,0	173	82,3	2,587	1,73		12,1	255	34,9
60	310,0	190	91,0	2,834	1,63		9,5	282	61,3

Поле лінії зсуву в металі товстих та високих осередків деформації при прокатуванні, коли  $0,3 \leq \frac{l_z}{h_{cp}} \leq 0,6$ ,

- 15 дозволяє окреслити межі та визначити місце і взаємне розміщення визначальних точок осередку деформації в залежності від геометричних параметрів  $l_z / h_{cp}$ ,  $l_z / h_{nl}$  та величини обтиснення  $\Delta b_\delta = \Delta h$ .

В таблиці приведені величини обтиснення  $\Delta b_\delta$  та координати точок на вході в осередок деформації (A'A<sub>2</sub>PX) та виході (BB<sub>1</sub>DG<sub>1</sub>T).

- 20 Координати названих точок приведені по відношенню до дійсних геометричних параметрів осередку деформації та обтиснення відповідно строк 1...5 таблиці.

При цьому величина діаметра валків прийнята 1300 мм. Згідно з фіг. 5, величина  $H_0 = H_1 + \Delta b_\delta$ , для  $\Delta b_\delta = 20$  мм,  $H_1 = 2h_{nl}$ , тоді  $H_0 = 2h_{nl} + \Delta b_\delta$ .

Для стана 2000, сляба 240 × 1710 × 12000 мм і  $h_{nl} = 266$  мм, подовження zdeформованої жорсткої зони вираховується як  $\lambda_{\text{жс}} = \frac{H_0}{H_1} = 1,0376$  (див. табл.), при цьому величина  $L_\phi$

- 25 збільшується до  $B_2B_1=228,3$  мм.

Особливість поля лінії зсуву металу (фіг. 5) полягає в тому, що осередок деформації металу виходить за межі геометричної зони, яка обмежена лініями ACODB. На виході із зони деформації має місце продовження полів ліній зсуву, в яких діють умови пластичної рівноваги - зона ODBG<sub>1</sub>T.

- 30 В області B56 мають місце подовжні напруження розтягування, окрім цього на межі BD має місце розрив швидкостей: справа від лінії BD окружна швидкість валка  $V_\delta$ , зліва від лінії BD - швидкість на виході із осередку деформації  $V_1$ , в додаток до цього зона BD6 відносно точки  $G_1$  по лінії зсуву BD переміщується в напрямку прокатування.

Після виходу ділянки  $L_\phi$  за межі точки В осередку деформації з урахуванням подовження її довжини - відрізок ВТ' знаходиться за межами осередку деформації, відносно торцевої грані сляба вільна поверхня металу має нахил  $\varphi_1$  рівний куту нахилу лінії  $G_1B_1$  до площини, що проходить через точку В границі осередку деформації паралельно площині, що проходить через осі вертикальних валків. Для ділянки сляба з фіксованим обтисненням  $\Delta b_\phi = 20 \text{ мм}$ , з урахуванням подовження, загин відносно площини лінії  $B_1B_2T'B=20,4 \text{ мм}$ .

Для суміжного відрізка довжиною  $L_\phi$ , де величина обтиснення зростає від  $\Delta b_\phi = 20 \text{ мм}$  до  $\Delta b_\phi = 60 \text{ мм}$  розрахунки приведені у таблиці для величини обтиснення 30, 40, 50, 60 мм, де також приведені розрахунки відповідного зменшення ширини та збільшення довжини сляба після обтиснення за межами осередку деформації  $\Sigma B_2T'$  й їх відношення до величини довжини дуги  $\Sigma B_2T'/l_{\Delta\phi}$ , а також відношення глибини пластичної деформації до величини довжини дуги  $h_{nl}/l_{\Delta\phi}$ .

При відношенні  $\Sigma B_2T'/l_{\Delta\phi} > 2...2,2$ , та  $h_{nl}/l_{\Delta\phi} < 2...2,1$  є свідченням жорсткого кінця за межами осередку деформації, тобто при зростанні обтиснення  $\Delta b_\phi$  від 20 мм до 30 мм зміщення ширини переднього торця сляба припиняється.

На вході в зону деформації має місце зона САР, в якій втілюються умови пластичної рівноваги, а швидкість переміщення відповідає швидкості зони відставання. Точка Р на осі симетрії осередку деформації, яка характеризує зону поза контактної деформації, перевищує в 1,2...1,4 рази геометричну довжину осередку деформації при обтисненні  $\Delta b_\phi = 60...120 \text{ мм}$ , та в 1,6...2,2 рази при обтисненні  $\Delta b_\phi = 20...30 \text{ мм}$ , при надлишковому переміщенні ХР-  $L_\phi$  від 6,8 до 61,3 мм має місце задній жорсткий кінець. Приближення заднього торця сляба до точки  $A_2$  свідчить, що зона металу вище лінії  $AA_3$ , за відсутністю опору, переміщується у бік осі симетрії осередку деформації та в бік протилежний переміщенню сляба, збільшуючи довжину деформованої осевої зони сляба.

З усього вищевикладеного видно, що реалізація способу прокатки сляба відповідно до формули корисної моделі дозволить розширити технологічні можливості при прокатці слябів з одночасним підвищенням коефіцієнта придатного по ширині листа, з розширенням сортаменту слябів як по ширині, так і по товщині.

## ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб прокатки сляба, при якому виконують обтиснення сляба по ширині в вертикальних каліброваних валках з коефіцієнтом заповнення їх калібрів на рівні 0,75...0,96 і відповідне формування кромки сляба горизонтальними валками з ребордами в прямому та реверсивному режимі роботи, який **відрізняється** тим, що на фіксованих відрізках  $L_\phi$  від переднього та заднього торців сляба виконують обтиснення  $\Delta b_\phi$ , величина якого не перевищує 20 мм, при

цьому довжина  $L_\phi = 2\sqrt{\Delta b_\phi \times \frac{D}{2}}$ , де

$\Delta b_\phi$  - фіксоване обтиснення вертикальними валками на відрізках  $L_\phi$ ,

$D$  - діаметр калібру вертикального валка,

а на суміжних відрізках  $L_{\phi i}$  - сляба обтиснення збільшується рівномірно від  $\Delta b_\phi$  до  $\Delta b_{\phi i}$ , де

$L_{\phi i} = 1,5\sqrt{\Delta b_{\phi i} \times \frac{D}{2}}$ , де

$\Delta b_{\phi i}$  - обтиснення вертикальними валками для отримання розрахункової ширини сляба

$b_{\phi i} = b_0 - \Delta b_{\phi i}$ , де

$b_0$  - початкова ширина сляба,

крім того реборди лівої та правої пари горизонтальних валків встановлюють на розмір  $b_{\text{ei}}$ , а бочки горизонтальних валків шириною  $b_z$  забезпечують обтиснення сляба до товщині  $h_z$ , при цьому вирівнюють коефіцієнти подовження як по ширині бочки, так і за її межами, згідно із залежністю:

$$5 \quad 2\sigma_c' h_z b_z \geq \sigma_c'' h_{\text{ei}} (b_{\text{ei}} - 2b_z), \text{ де}$$

$\sigma_c'$  - напруження в металі, який деформується в межах бочок горизонтальних валків,

$\sigma_c''$  - напруження в металі, який знаходиться за межами бочок горизонтальних валків,

$b_z$  - ширина бочки горизонтальних валків  $b_z \geq h_{\text{пл}}$ ,

$h_{\text{пл}}$  - глибина пластичної деформації,

$$10 \quad b_{\text{ei}} - \text{ширина сляба після деформації вертикальними валками},$$

$h_z$  - товщина сляба після деформації горизонтальними валками,

$$h_z = h_0 / \lambda_{z\text{в}}, \text{ де}$$

$h_0$  - початкова товщина сляба,

$\lambda_{z\text{в}}$  - коефіцієнт подовження при обтисненні метала горизонтальними валками

$$15 \quad \lambda_{z\text{в}} = F_{\text{кв}} / F_{\text{кz}}, \text{ де}$$

$F_{\text{кв}}$  - площа сляба після обтиснення вертикальними валками на ширині бочки  $b_z$ ,

$F_{\text{кz}}$  - площа сляба після обтиснення горизонтальними валками на ширині бочки  $b_z$ ,

$h_{\text{в}}$  - товщина сляба після деформації вертикальними валками

$$h_{\text{в}} = h_0 / \lambda_{\text{вв}}, \text{ де}$$

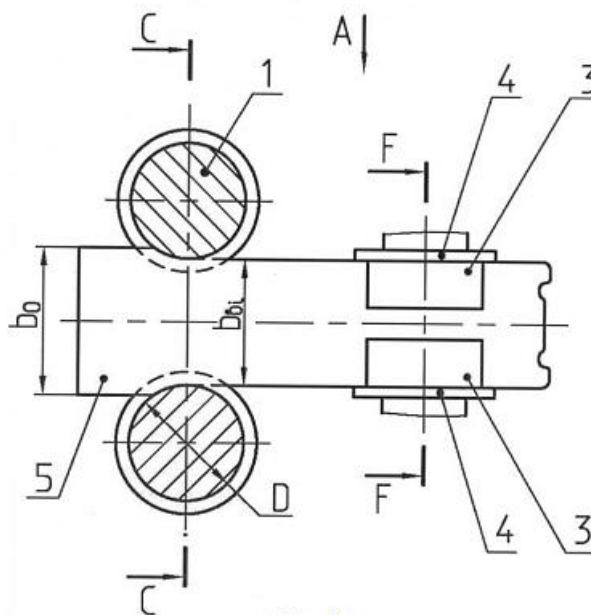
$$20 \quad \lambda_{\text{вв}} - \text{коефіцієнт подовження метала при обтисненні в вертикальних валках}$$

$$\lambda_{\text{вв}} = F_{\text{ко}} / F_{\text{пл}}, \text{ де}$$

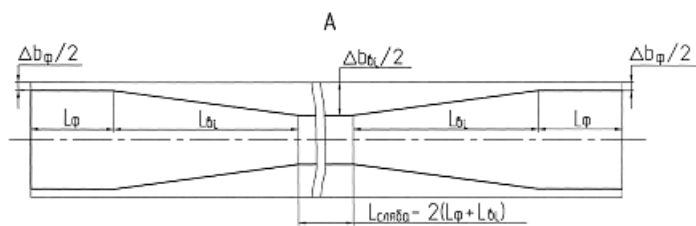
$F_{\text{ко}}$  - площа сляба до обтиснення на глибині пластичної деформації

$$h_{\text{пл}} + \Delta b_{\text{ei}} / 2,$$

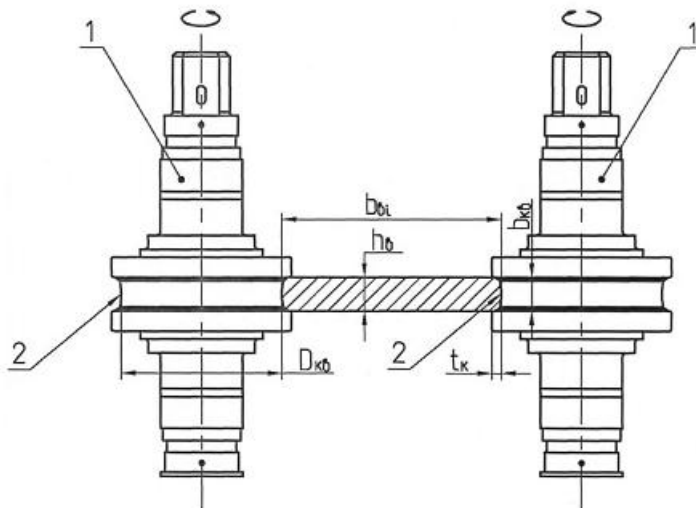
$F_{\text{пл}}$  - площа сляба після обтиснення на глибині пластичної деформації  $h_{\text{пл}}$ .



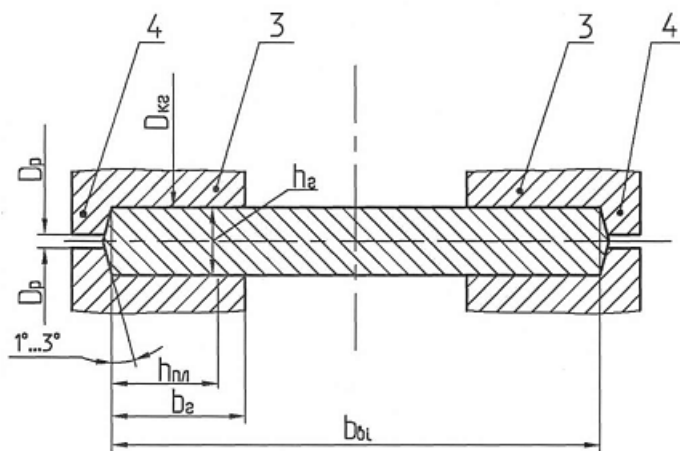
Фиг. 1



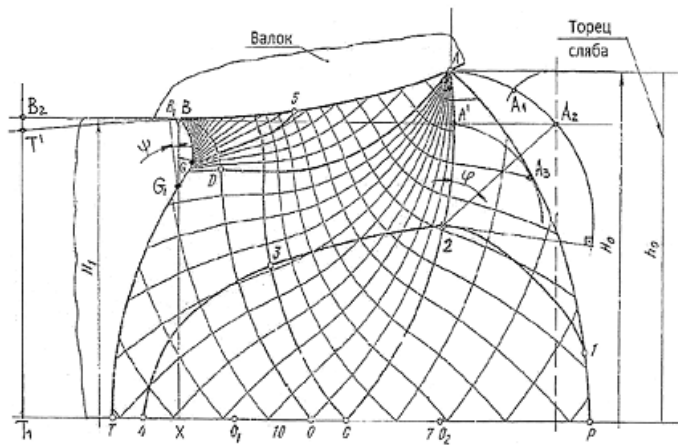
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5

Комп'ютерна верстка О. Рябко

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601