ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО ЧЕРВОНОГО ПРАПОРУ
МЕТАЛУРГІЙНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

Романовський Ігор Георгійович

ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМОЗМІНЮВАННЯ У ТАВРОВИХ КАЛІБРАХ І РОЗРОБКА МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ КАЛІБРОВОК

Спеціальність 05.16.05 - "Обробка металів тиском"

Автореферат дисертації на здобуття вченого ступеню
кандидата технічних наук

Дніпропетровськ
1993

ЛННБ України ім.В.Стефаника
00814802 (N)

Дисертацію виконано на кафедрі обробки металів тиском Дніпропетровського ордена Трудового Червоного Прапору металургійного інституту

Науковий керівник - доктор технічних наук, професор О. П. Грудєв

Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор Гринавцев В. Н.

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Дучков С. М.

Провідна установа: - завод ім. Г. І. Петровського

Захист відбудеться "29" червня 1993 року о 12 год. 30 хв. в ауд. 9кі 301 - на засіданні спеціалізованої ради К 068.02.02 для захисту кандидатських дисертацій на здобуття вченого ступеню кандидата технічних наук при Дніпропетровському Трудового Червоного Прапору металургійному інституті.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці інституту.

Відгук у двох примірниках, засвідчений гербовою печаткою, просимо направляти за адресою: 320600, м. Дніпропетровськ, ГСП, пр. Гагаріна, 4, вченому секретареві ради інституту.

Автореферат розісланий "25" травня 1993 року.

Вчений секретар
спеціалізованої ради,
кандидат технічних наук,
доцент П. Л. Клименко

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

Актуальність роботи Розвиток ринкової економіки зумовив істотне підвищення вартості металу та металопродукції. У зв'язку з цим набувають актуальності розробки, спрямовані на освоєння економічних, у тому числі спеціальних профілів прокату, які забезпечують зниження витрат металу та підвищення якості металопродукції. Серед нових профілів, що дозволяють поліпшити показники роботи машин та механізмів, значне місце посідають профілі таврового типу.

Основним засобом виробництва таврових профілів є прокатка в системах реброваих та пластових калібрів, що чергуються. Як показав аналіз промислових технологій виробництва таврових профілів, найбільші труднощі при проектуванні калібровок викликає розрахунок параметрів формозмінювання у реброваих калібрах: величини мінімально необхідного висотного обтиску стінки та розширення полиць. Ці величини не можуть бути досить точно визначені без урахування істотної вертикальної асиметрії в калібрі. У зв'язку з цим застосування існуючих методик приводило до необхідності поступового встановлення остаточних розмірів на протязі 2 - 3 опробувань.

В даній роботі розглянуто комплекс питань, пов'язаних із дослідженням формозмінювання у реброваих таврових калібрах з урахуванням впливу вертикальної асиметрії та розробкою ефективної технології прокатки таврових профілів, що характеризують її актуальність.

Мета роботи Теоретичне та експериментальне дослідження формозмінювання металу при прокатці у реброваих таврових калібрах. Розробка методики розрахунку калібровок валків та промислової технології прокатки таврових профілів.

Наукова новина Новими є такі істотні результати роботи:

1. Методика розрахунку геометричних параметрів осередку деформації при прокатці у реброваих таврових калібрах з урахуванням впливу на розкат вертикальної асиметрії.

2. Методика побудови кінематично можливого поля швидкостей переміщень часток металу у геометричному осередку деформації, яка враховує відмінність швидкостей переміщення поверхень валків, що деформують розкат; регресійні залежності, що дозволяють визначити величини коефіцієнтів розширення полиць та мінімально необхідного прямого обтиску стінки в залежності від геометричних, кінематичних та фрикційних параметрів осередку деформації з урахуванням несиметричності процесу.

3. Спосіб визначення додаткового випередження, пов'язаного із

вертикальним вигином штаби на виході з валків нерівного діаметру.

4. Експериментальні залежності висотної деформації стінки при прокатці в ребрових таврових калібрах при різній величині вертикальної асиметрії.

5. Технологія прокатки та калібровки нових таврових профілів СП 120.70.22.8 та СП 160.48.8 на промисловому стані 630 / 420 Виробничого об'єднання "Ленінградський завод турбінних лопаток " (ВО "ЛЗТЛ", м. Санкт-Петербург).

Апробація Матеріали дисертації докладено на республіканській науково-практичній конференції "Союз науки та практики до 100-річчя Петровки" (Дніпропетровськ, 1987); Всесоюзному науково-дослідному семінарі "Поліпшення якості та економії металу шляхом підвищення точності сортових профілів"; на об'єдненому науковому семінарі кафедри обробки металів тиском та прокатних відділів Інституту чорної металургії АН України (1990, 1991, 1992, 1993).

Публікації Матеріали дисертаційної роботи відображено в 9 друкованих працях.

Об'єм роботи Дисертаційну роботу викладено на 205 сторінках машинописного тексту; робота складається із вступу, 4 розділів, списку використованої літератури з 111 найменувань, додатків; її ілюстровано малюнками.

СТАН ПИТАННЯ, МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Аналіз опублікованих в літературі робіт показав, що в цей час вивченню процесу прокатки в таврових калібрах, у тому числі ребрових, приділяється багато уваги. Проте теоретичні та експериментальні дослідження зводяться до спрощення даного процесу, бо не враховують істотну специфіку деформації, обумовлену впливом вертикальної асиметрії.

Як визначається в роботах О. П. Чекмарьова, А. А. Нефедова, О. П. Грудєва, В. А. Теряєва, інших авторів, вплив вертикальної асиметрії пов'язаний, в першу чергу, з різницею швидкостей переміщень деформуючих розкат поверхень валків, а також різною кривизною цих поверхень. Тому для вирішення поставленої задачі обрано відомий в літературі метод полей швидкостей часток в осередку деформації, бо він найбільш повно враховує кінематичні особливості процесу асиметричної прокатки розкату в калібрі.

В літературі є роботи І. Я. Тарновського, Б. М. Ілюковича,

О. Н. Скороходова, В. М. Клименка та ряду інших авторів, які дозволяють, на основі побудови кінематично можливого поля швидкостей переміщень визначити параметри формозмінювання в ребровому тавровому калібрі з достатньою для практичного використання точністю.

Разом з тим, в цих роботах не враховується істотня закономірність прокатки в калібрах - різниця діаметрів валків по верхньому та нижньому контурах калібра та різна швидкість переміщення часток металу по висоті осередку деформації. При побудові поля швидкостей переміщень приймається рівність горизонтальних швидкостей переміщень часток металу.

Таким чином, в літературі відсутні залежності для визначення параметрів формозмінювання в реброві таврових калібрах з урахуванням вертикальної асиметрії.

Проведений аналіз опублікованих робіт та вимоги щодо скорочення числа коштовних опробувань при сортаменті таврових профілів, який постійно розширюється, були покладені в основу формулювання основних завдань теоретичних та експериментальних досліджень.

1. Визначити межі осередку деформації при прокатці таврових профілів у реброві калібрах з урахуванням можливості встановлення розката у валках з урахуванням впливу вертикальної асиметрії.

2. Теоретично дослідити процес прокатки у реброві таврових калібрах з урахуванням впливу вертикальної асиметрії. Одержати залежності для розрахування величини мінімально необхідного прямого обтиску стінки та розширення полиці при прокатці таврового профіля в ребровому тавровому калібрі з урахуванням вертикальної асиметрії.

3. Експериментально дослідити залежність формозмінювання в реброві таврових калібрах від умов впливу вертикальної асиметрії.

4. Розробити та опробувати на практиці інженерну методику розрахування калібровок та рекомендацій по технології прокатки економічних таврових профілів.

ТЕОРЕТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРОКАТКИ У РЕБРОВИХ ТАВРОВИХ КАЛІБРАХ

При постанові умов задачі визначення параметрів формозмінювання у реброві таврових калібрах з урахуванням впливу вертикальної асиметрії виявляється необхідність розподілу розката на ділянки, поле швидкостей переміщень часток в межах кожной з котрих може бути

представлено однаковими залежностями.

Використана для цього схема поділу профіля на ділянки заснована на висновках експериментальних досліджень І. Я. Тарновського, Б. М. Ілюковича, Ф. А. Писаренка, та ряду інших авторів (Мал. 1).

Мал. 1.
Схема поділу профіля на ділянки та позначення, що було прийнято

З урахуванням обраної схеми деформації була визначена протяжність поверхні контакту штаби з валками по всім ділянкам профіля. Довжина осередка деформації на кожній ділянці визначена спільним вирішенням рівнянь поверхні валків і заготовки з урахуванням положення розката у калібрі та відповідного розподілу обтиснення між валками по всіх ділянках профіля.

Для визначення співвідношення контактних напруг між валками, по всій протяжності осередка деформації використані наявні в літературі результати експериментальних досліджень асиметричної прокатки в калібрах, які виконав П. П. Маменко.

При побудові поля швидкостей переміщень полиці прийнято, що величина обтиснення циліндричними поверхнями валків нерівного діаметра і відповідна протяжність поверхні контакта загалом не рівні (більший діаметр має валок, у який врізан рівчак що, формує стінку).

Відмітной особливостю одержаного поля швидкостей переміщень часток в геометрічному осередку деформації є введення вар'іруємого параметра m, який враховує несиметричність деформації. Параметр m визначає положення горизонтальної поверхні, в якій швидкості переміщень часток метала відповідно вертикальної осі рівні нулю. Відповідно введеному параметру m геометричний осередок деформації полиці поділяється горизонтальною площиною на дві зони - верхню й нижню - поле швидкостей переміщень в кожній з котрих зв'язується з окружною швидкістю відповідного валка.

При побудові кінематично можливого поля швидкостей переміщень використані слідуючи умови:

- нестисливості;
- сполучення на межі двох сусідніх дільниць;
- рівності горизонтальних швидкостей по елементах профіля у площині виходу штаби з валків.

З метою спрощення вирішення поставленої задачі прийняті отакі припущення:

- позаконтактні зони деформації відсутні;
- зміна коефіцієнта висотного обтиску верхньої та нижньої зон дільниці полиці по довжині геометричного осередка деформації відбувається за лінейною залежністю;
- метал є жорстко-пластичним середовищем.

Одержане поле швидкостей переміщень часток метала на дільниці полиці описується отакими рівняннями.

Дільниця 1. Верхня зона

$$V_{zB1} = -\frac{(V_H+\Delta V)z}{m h_{on} R_B}\left(\frac{x}{\eta_B} - \frac{x^2}{\ell_B}\left(\frac{1}{\eta_B}-1\right)\right) \qquad (1)$$

$$V_{yB1} = \frac{V_H+\Delta V}{m h_{on} R_B}\left(\frac{x}{\eta_B} - \frac{x^2}{\ell_B}\left(\frac{1}{\eta_B}-1\right)\right)\left(1+\frac{\ln\mu}{\ln\eta_B}\right)(y-b_K) \qquad (2)$$

$$V_{xB1} = -\frac{V_H+\Delta V}{m h_{on} R_B}\left(\frac{x^2}{2\eta_B} - \frac{x^3}{3\ell_B}\left(\frac{1}{\eta_B}-1\right)\right)\frac{\ln\mu}{\ln\eta_B} - \mu V_{xB1}\Big|_{x=\ell_B} \qquad (3)$$

де V_H - окружна швидкість гладенького валка меншого діаметру, що формує полицю;

ℓ_B - протяжність поверхні контакту полиці із валком більшого діаметру;

b_K - координата критичного перерізу по полиці;

$$\frac{1}{\eta_в} = \frac{m h_{оп}}{m h_{оп} - \Delta h_в} \qquad (4)$$

Дільниця 1. Нижня зона

$$V_{zн1} = \frac{V_н z}{(1-m) h_{оп} R_н}\left(\frac{x}{\eta_н} - \frac{x^2}{l_н}\left(\frac{1}{\eta_н} - 1\right)\right) \qquad (5)$$

$$V_{yн1} = \frac{V_н}{(1-m) h_{оп} R_н}\left(\frac{x}{\eta_н} - \frac{x^2}{l_н}\left(\frac{1}{\eta_н} - 1\right)\right)\left(1 + \frac{\ln\mu}{\ln\eta_в}\right)(y - b_к) \qquad (6)$$

$$V_{xн1} = -\frac{V_н}{(1-m) h_{оп} R_н}\left(\frac{x^2}{2\eta_н} - \frac{x^3}{3 l_н}\left(\frac{1}{\eta_н} - 1\right)\right)\frac{\ln\mu}{\ln\eta_в} - \mu V_{xв1}\big|_{x=l_в} \qquad (7)$$

$$\frac{1}{\eta_н} = \frac{(1-m) h_{оп}}{(1-m) h_{оп} - \Delta h_н} \qquad (8)$$

Дільниця 2. Верхня зона.

Швидкість переміщення часток металу в напрямі витяжки визначається з обліком умови $V_{xв1} = V_{xв2}$ при X = 0

$$V_{xв2} = -\frac{V_н + \Delta V}{m h_{оп} R_в}\left(\frac{x^2}{2\eta_в} - \frac{x^3}{3 l_в}\left(\frac{1}{\eta_в} - 1\right)\right)\frac{\ln\mu}{\ln\eta_в} - \mu V_{xв1}\big|_{x=l_в} \qquad (9)$$

$$V_{yв2} = \frac{V_н + \Delta V}{m h_{оп} R_в}\left(\frac{x}{\eta_в} - \frac{x^2}{l_в}\left(\frac{1}{\eta_в} - 1\right)\right)\left(1 + \frac{\ln\mu}{\ln\eta_в}\right)\left(1 + \frac{b_к}{b_1}\right) y \qquad (10)$$

$$V_{zв2} = \frac{V_н + \Delta V}{m h_{оп} R_в}\left(\frac{x}{\eta_в} - \frac{x^2}{l_в}\left(\frac{1}{\eta_в} - 1\right)\right)\left[\left(\frac{\ln\mu}{\ln\eta_в} + 1\right)\frac{b_к}{b_1} \times \right. \qquad (11)$$
$$\left. \times (z - m h_{оп} - 0{,}5\Delta h_в) - z\right]$$

Дільниця 2. Нижня зона

$$V_{xн2} = -\frac{V_н}{(1-m) h_{оп} R_н}\left(\frac{x^2}{2\eta_н} - \frac{x^3}{3 l_н}\left(\frac{1}{\eta_н} - 1\right)\right)\frac{\ln\mu}{\ln\eta_в} - \mu V_{xв1}\big|_{x=l_в} \qquad (12)$$

$$V_{yн2} = \frac{V_н}{(1-m) h_{оп} R_н}\left(\frac{x}{l_н} - \frac{x^2}{l_н}\left(\frac{1}{\eta_н} - 1\right)\right)\left(1 + \frac{\ln\mu}{\ln\eta_в}\right)\left(1 - \frac{b_к}{b_1}\right) y \qquad (13)$$

$$V_{zн2} = \frac{V_н}{(1-m) h_{оп} R_н}\left(\frac{x}{\eta_н} - \frac{x^2}{l_н}\left(\frac{1}{\eta_н} - 1\right)\right)\left[\left(\frac{\ln\mu}{\ln\eta_в} + 1\right)\frac{b_к}{b_1} \times \right. \qquad (14)$$
$$\left. \times (z - (1-m) h_{оп} - 0{,}5\Delta h_н) - z\right]$$

Побудову поля швидкостей переміщень часток металу на дільницях стінки здійснено з урахуванням різночасності початку деформації по її висоті. Значення компонент поля швидкостей визначено з

урахуванням бокового обтиснення стінки наклонними твірними замкнутого рівчака при вирішенні рівняння нестисливості відносно відповідно межовим умовам на межах ділянок.

З урахуванням одержаного поля швидкостей переміщення часток металу в осередку деформації по відомим рівнянням механіки суцільних середовищ одержані поля швидкостей деформації та інтенсивності швидкостей деформації по всіх ділянках профіля.

Функціональні залежності m і μ, необхідні для численого визначення компонент швидкостей переміщень часток металу по всіх ділянках, знаходились при умові мінімума повної потужності деформації прокатки. Відповідно даним робіт І. Я. Тарновського, Б. М. Ілюковича та О. Н. Скороходова, повна потужністьпрокатки визначалася як сума потужності пластичної деформації, потужності зрізу по поверхням зрізу та потужності сил тертя для всіх дільниць профіля.

Потужності сил тертя по контактній поверхні кожної дільниці визначались з урахуванням її поділу на зони випередження та відставання. С цією метою використовувались залежності, що дозволюють при прокатці в калібрі визначати усереднене відношення нейтрального кута до кута захвату для кожної поверхні контакту.

Мінімізацією рівняння повної потужності прокатки одержано функціонали m та μ. При цьому для отримання числених залежностей при пропонованій постанові задачі повна потужність прокатки розглядалась з урахуванням 20 безрозмірніх параметрів, відображаючих геометричні, кінематичні та фрикційні особливості формозміни при прокатці в ребровому тавровому калібрі з урахуванням вплива вертикальної асиметрії.

Підстановою одержаних залежностей m і μ в вирази, які описують компоненти швидкостей переміщення часток металу на всіх ділянках профіля, одержано кінематично можливе поле швидкостей переміщень часток металу в ребровому тавровому калібрі.

Спільним вирішенням диференціальних рівнянь ліній струму й диференціальних рівнянь приросту переміщень на межах дільниць одержані регресійні залежності, які дозволяють розрахувати коефіцієнти висотної деформації стінки η_c та розширення полиці β при прокатці у ребровому тавровому калібрі з урахуванням вертикальної асиметрії

$$\eta_c = +1{,}830 - 9{,}875\frac{\ell_в}{R_в} - 0{,}067\frac{h_{оп}}{b_c} + 1{,}141\frac{h_{оп}}{b_1} - 0{,}098\frac{b_к - b_c}{b_1} -$$
$$-0{,}07031\frac{h_{оп}}{\ell_в} + 0{,}007\frac{h_з}{h_{оп}} - 0{,}453\frac{h_з}{h_4} + 1{,}002\,\varepsilon + 0{,}048\frac{\Delta h_в}{\Delta h} - 0{,}3242\frac{R_з}{R_н} -$$
$$-1{,}164\frac{a_{ос}}{a_c} + 1{,}094\frac{b_{ос}}{b_c} + 0{,}102\frac{a_c}{b_c} + 0{,}210\frac{h_{оп}}{H_0} - 0{,}0811\frac{h_c}{H} - 0{,}02783\frac{V_в}{V_н} +$$
$$+0{,}3121\frac{F_{кв}}{F_{кн}} + 1{,}2501\,\psi_в - 0{,}1062\frac{\psi_в}{\psi_н} + 0{,}0506\frac{\sigma_{тв}}{\sigma_{тн}} \qquad (15)$$

$$\beta = +0{,}439 + 4{,}501\frac{\ell_в}{R_в} - 0{,}141\frac{h_{оп}}{b_c} - 1{,}123\frac{h_{оп}}{b_1} + 1{,}006\frac{b_к - b_c}{b_1} -$$
$$-0{,}2969\frac{h_{оп}}{\ell_в} - 0{,}002\frac{h_з}{h_{оп}} - 6{,}509\frac{h_з}{h_4} + 1{,}746\,\varepsilon - 1{,}298\frac{\Delta h_в}{\Delta h} - 0{,}003906\frac{R_в}{R_н} -$$
$$-2{,}1309\frac{a_{ос}}{a_c} + 0{,}9811\frac{b_{ос}}{b_c} + 0{,}2469\frac{a_c}{b_c} - 0{,}3188\frac{h_{оп}}{H_0} + 0{,}0619\frac{h_c}{H} - 0{,}0127\frac{V_в}{V_н} -$$
$$-0{,}5181\frac{F_{кв}}{F_{кн}} - 0{,}8154\,\psi_в + 1{,}0217\frac{\psi_в}{\psi_н} + 1{,}2141\frac{\sigma_{тв}}{\sigma_{тн}} \qquad (16)$$

Коефіцієнт висотної деформації стінки η_c дозволяє визначити мінімально необхідний абсолютний обтиск стінки, що забезпечує заповнення закритого рівчака реброваного калібра.

Це забезпечує мінімальний вріз в валки при надійному досягненні заданих розмірів профіля.

З використанням одержаних залежностей визначення геометричних параметрів осередка деформації та регресійних рівнянь (15) і (16) розроблено алгоритм розрахунку калібровок таврових профілів.

Цей алгоритм було реалізовано на промисловому стані 630 / 420 ВО " ЛЗТЛ " при проєктуванні калібровок двох таврових профілів. Профілі одержано з першого опробування.

Виконані теоретичні дослідження можуть бути застосовані для широкого кола сортових профілів і в цьому знаходиться висновок, який узагальнює характер підходу вирішеного завдання, що було поставлено.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ФОРМОЗМІНЮВАННЯ В РЕБРОВИХ ТАВРОВИХ КАЛІБРАХ

Мета експериментальних досліджень - вивчення характеру течії металу в реброваних таврових калібрах з урахуванням впливу вертикальної асиметрії, перевірка обгрунтованості припущень, що були

використовані при побудові поля швидкостей переміщень , а також перевірка залежностей, що отримано.

Експериментальне дослідження проведено на лабораторному стані 150 кафедри обробки металів тиском Дніпропетровського металургійного інституту. Використовувались спеціально зроблені прямокутні і таврові зразки; матеріал зразків - свинець.

Для перевірки обгрунтованості припущення, що було використано при побудові поля швидкостей переміщень часток, про рівність горизонтальних швидкостей по ділянках у площині виходу штаби з валків нерівних діаметрів розроблена спеціальна методика. Вона базується на отаких положеннях.

При прямолінійному виході штаби з валків зберігається рівність швидкостей пластичної течії металу у шарах штаби, які обтискують валки більшого (D_R) та меншого (D_r) діаметрів

$$V_R = V_r \qquad (17)$$

При рівності кутових швидкостей валків вираз (17) можна представити у такому вигляді

$$D_R(1+S_R) = D_r(1+S_r) \qquad (18)$$

де S_R, S_r - випередження на валках більшого та меншого діаметрів.

При прямолінійному виході штаби з валків нерівного діаметру достатньо екпериментально визначити випередження на одн му з валків (допускаємо S_r), щоб разрахувати величину випередження на другому валку

$$S_R = \frac{D_r}{D_R}(1+S_R) - 1 \qquad (19)$$

Якщо окружні швидкості по перерізу штаби у площині виходу відрізняються (штаба вигинається у вертикальній площині), то вираз (18) можна представити у вигляді

$$D_R(1+S_R+\Delta S) = D_r(1+S_r) \qquad (20)$$

де S_R - випередження на валку більшого діаметру, яке розраховано по формулі (19) при припущенні при рівністі горизонтальних швидкостей по перерізу штаби у площині виходу;

ΔS - додаткове випередження, що викликано вигином штаби.

У ступінчатих валках із співвідношеннями діаметрів по гладеньких ділянках 1,08; 1,13; 1,19; 1,30 була прокатана серія прямокутних штабин. При зміні міжвалкового зазору абсолютне обтиснення змінювалась на всіх ділянках на однакову величину.

Залежно від степені деформації значення випередження на кожній ділянці валків визначалось керновим методом по кожній поверхні контакту. Величина ΔS визначалась як різність між експериментальним значенням випередження на валку більшого діаметру і значенням випередження на цьому ж валку, що було розраховано при підстановці експериментального значення S_p у вираз (19).

При зміні степені деформації по всьому діапазону обтиску (від 9 до 40 відсотків) на чотирьох ділянках валків з різними співвідношеннями діаметрів, величина ΔS не перевищує 7 % .

При аналогічному дослідженні випередження на протилежних поверхнях полиці таврових розкатів при прокатці у ребрових калібрах з різними співвідношеннями діаметрів по циліндричним ділянкам, величина ΔS не перевищує 5 % .

З цього витікає, що припущення про рівність горизонтальних швидкостей по елементам в площині виходу із валків, яке було використано при побудові поля швидкостей переміщень часток у ребровому тавровому калібрі, обгрунтовано і підтверджується результатами експеримента.

Для визначення характеру впливу вертикальної асиметрії на висотну деформацію стінки була проведена прокатка таврових зразків в трьох однакових по розміру калібрах, які були врізані у ступінчаті валки з співвідношенням діаметрів циліндричних ділянок 1,13; 1,20; 1,30.

Для оцінки степені впливу вертикальної асиметрії на формозмінювання була обрана форма розкатів, яка відповідала розмірам замкнутого рівчака. Зміною міжвалкового зазору передбачалась зміна абсолютного обтиснення по ширині всіх трьох калібрів на однакову величину.

Встановлено, що при інших рівних умовах вертикальна асиметрія оказує значний вплив на висотну деформацію у замкнутому рівчаку ребрового таврового калібра.

При незначних степенях деформації (до 25 %) з ростом коефіцієнта несиметричності $K_D = D_R / D_P$ при переході від першого калібра до третього висота розката у центральній частині збільшуєть-

ся, тому що утягнення стінки зменшується. Ця залежність зберігається до ε = 28 - 30 %.

При подальшому збільшуванні ε більш інтенсивне утягнення стінки відбувається у калибрах з більшою вертикальною асиметрією. Такой вплив вертикальної асиметрії на висотну деформацію пояснюється слідуючим.

Із збільшенням разности діаметрів валків, що формують полицю, зростає нерівномірність деформації, яка зв'язана з різницею швидкостей течії металу на поверхнях контакту полиці з валками. Виникнення розтягуючих напруг у шарах метала, що прилегають до більшого валка, веде до знижування контактних напруг на цій ділянці полиці. Вирівнювання зусиль поміж валками відбувається за рахунок збільшування об'єма металу, що зміщується верхнім валком. Це веде до підвищування зусиль деформації. При цьому збільшується об'єм метала, що зміщується у закритий рівчак, і стінка одержує деякий додатковий приріст.

У зв'язку з цим при прокатці з $\varepsilon <$ 28 - 30 % зниження утягування стінки відбувається у калібрах з більшою вертикальною асиметрією.

З підвищенням ε до 30 - 35 % відбувається перерозподіл обтиснення полиці між валками. Менша кривизна полиці і твірних нахиленого рівчака затруднюють продольну течію металу внаслідок діючих підпираючих зусиль тертя. Це приводить до здебільшення контактних напруг на валкові більшого діаметру і зменшуван я об'єма метала, що зміщується у замкнутий рівчак.

Тому при $\varepsilon >$ 30 - 35 % більше утягання стінки відбувається у калібрі з більшою вертикальною асиметрією.

Таким чином, експериментально підтверджено істотний вплив вертикальної асиметрії процесу прокатки на формозмінювання.

З метою перевірки одержаних залежностей для визначення коефіцієнтів висотної деформації стінки η_c та розширення полиці β, параметри, розраховані по залежностях (15) та (16), порівнювались з відповідними значеннями, одержаними експериментально.

Задовільна східність порівняння (15) - 7...9 % для η_c та порівняння (16) - 10...12 % для β дозволила зробити висновок про можливість використання отриманих залежностей для розробки калібровок таврових профілів.

РОЗРОБКА І ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОКАТКИ ДВОХ НОВИХ ТАВРОВИХ ПРОФІЛІВ

Одним з найбільш перспективних напрямів транспортного машинобудування є розвиток підвесних монорейкових доріг (ПМД). Їх застосування в металургії, важкому машинобудуванні, інших галузях промисловості має ряд переваг порівняно з іншими транспортними засобами. Високими техніко-економічними показниками характерно експлотування двоколійної монорейкової дороги, візок якої котиться по нижніх полицях двутаврової чи таврової рейки.

Дніпропетровським металургійним інститутом разом з проектно-конструкторським інститутом конвейєробудування і фірмой "Політранс" (м. Львів) розроблена конструкція універсальної монорейки типу ПВС вантажопідйомністю до 20 т .

Розроблена конструкція представляє зварну двотаврову балку на основі нових гарячекатаних профілів СП 120.70.22.8 та Сп 160.48.8

Новий профіль СП 120.70.22.8, що являє собою тавр шириною 120 мм та висотою 70 мм із зносостійкої сталі 15ХСНД використовується як нижня робоча частина , по якої переміщуються колеса транспортного візка. Використання зносостійкої сталі, наявність трикутних виступів на внутрішніх гранях полиць підвищує втричі термін експлуатації монорейки ПВС порівняно до інших діючих конструкцій, бо у даному випадку відбувається більш повільний та рівномірний знос поверхні катання.

Використання тонкостінного широкотаврового профіля СП 160.48.8 як кріпильної частини балки дозволило набагато підвищити характеристики тривкості монорейки при її відносно невеликій металомісткості порівняно до існуючих конструкцій монорейкових профілів.

З урахуванням потреби в профілях СП 120.70.22.8 і Сп 160.48.8, складності їх конфігурації та особливих умов к якісним показникам робочих поверхнь (верхньої основи стінки та внутрьошніх граней полиць) для освоєння технологій прокатки обох профілів було обрано трьохклітьовий стан 630 / 420 виробничого об'єднання " ЛЗТЛ " (м. Санкт-Петербург). При проєктуванні промислової калібровки валків кожного профіля використовувався алгоритм розрахунку, що розроблено у цій роботі. Для передчистового та чистового проходів при прокатці кожного профіля використовувались реброві калібри, коефіцієнти висотного обтиску стінки та розширення полиці розраховувались по одержаним в даній роботі залежностям.

Технологічний процес прокатки кожного профіля було освоєно з першої спроби без додаткової коректировки калібровки прокатних валків.

Приймальна комісія представників ВО " ЛЗТЛ ", Інституту конвейєробудування (м. Львів) та Дніпропетровського металургійного інституту підтвердила відповідність якості профілів технічним умовам.

Річний економічний ефект на ВО "Конвейєр" (м. Львів) від використання профілів СП 120.70.22.8 та Сп 160.48.8 для виготовлення універсальної монорейки ПВС склав у 1990 році 314 тисяч карбованців.

ВИСНОВОК

Для випадків прокатки в ребрових таврових калібрах з урахуванням впливу вертикальної асиметрії на основі спільного вирішення рівнянь поверхні розкату і калібру одержані аналітичні залежності, що описують протяжність поверхні контакту штаби із валками по всіх ділянках профіля.

З використанням одержаних залежностей протяжності осередку деформації по всіх ділянках профіля одержано кінематично можливе поле швидкостей переміщень часток металу. Для урахування впливу вертикальної асиметрії на переміщення часток металу уведен вар'юємий параметр , який враховує розділ профіля по вертикалі на зони, швидкість переміщення часток у яких зв'язується з окружною швидкістю валка, що її деформує.

З урахуванням різночасності початку деформації по висоті стінки і відповідно межовим умовам на межах дільниць одержано поле швидкостей переміщень часток металу на дільниці стінки.

Для забезпечення рівності горизонтальних швидкостей переміщень часток на всіх ділянках профіля в площині виходa уведено, як вар'юємий параметр, коефіцієнт витягування μ .

Визначення функціоналів вар'юємих параметрів здійснювалось мінімізацією рівняння повної потужності прокатки по m і μ . Повна потужність прокатки визначалась як функція 20 безрозмірних параметрів, які ураховують геометричні, кінематичні та фрикційні особливості процесу прокатки у ребровому тавровому калібрі в умовах вертикальної асиметрії.

Спільним вирішенням диференціальних рівнянь ліній струму і ди-

ференціальних рівнянь приросту переміщень на межах дільниць одержані вирази для розрахунку коефіцієнтів висотної деформації стінки у замкнутому рівчаку та коефіцієнта розширення полиці з урахуванням впливу вертикальної асиметрії. У відомих методиках розрахунків параметрів калібровки не враховувався вплив вертикальної асиметрії на формозмінювання у ребровому тавровому калібрі.

Проведені експериментальні дослідження при прокатці прямокутних і таврових штабин на лабораторному стані 150. Встановлено і пояснено характер впливу вертикальної асиметрії на висотну деформацію стінки таврового профіля у замкнутому рівчаку реброваго калібру. Досліджена залежність кривизни вертикального вигину розкатів на виході з валків від степені деформації при різній асиметричності процесу прокатки.

Розроблена експериментальна методика визначення величини додаткового випередження, обумовленого вигином штаби у вертикальній площині.

Порівнянням розрахункових і експериментальних коефіцієнтів висотної деформації стінки і розширення полиці встановлена точність розробленої методики розрахунків параметрів формозмінювання в ребрових таврових калібрах. Порівняння результатів показує достатню вірогідність теоретичних розрахунків з експериментальними даними.

На основі існуючої системної моделі розрахунку калібровок з використанням розробленої методики побудови поля швидкостей переміщень часток і визначення параметрів формозмінювання, отриманих регресійних залежностей коефіцієнтів висотної деформації стінки і розширення полиці, розроблено алгоритм розрахунку калібровки валків для прокатки таврових профілів. Алгоритм реалізовано при проєктуванні калібровок нових таврових профілів СП 120.70.22.8 та Сп 160.48.8 на промисловому стані 630 / 420 ВО "ЛЗТЛ".

Успішне освоєння згаданих профілів за одне опробування підтвердило справедливість виявлених залежностей і працездатність запропонованої методики.

Основний вміст дисертації опубліковано в таких виданнях:

1. Деформація в фасоних калібрах при прокатці таврового профіля/ Б.С. Полатовський, В.О. Голубєв, І.Г. Романовський //Металургійна та горнорудна промисловість. - 1989р. -№2. - с. 24 - 25.
2. Калібровка таврового профіля для підйомнотранспортних систем /

Б. С. Полатовський, В. О. Голубєв, І. Г. Романовський, М. О. Мамаєв, Л. А. Горохов // Сталь, 1989р. -N9. - с. 56 - 57.
3. Маменко П. П., Романовський І. Г. Визначення положення деформируємих розрізів при прокатці в калібрах складної конфігурації // Вісті ВУЗів Чорна металургія. - 1986. -N3. - с. 145 - 146.
4. Освоєння спеціального таврового профиля на стані 630 / 420 / Б. С. Полатовський, В. О. Голубєв, І. Г. Романовський, М. О. Мамаєв, Л. А. Горохов // Проблеми металургійного виробництва, 1990р. - N 103. - с. 17 - 20.
5. Полатовський Б. С., Голубєв В. О., Романовський І. Г. Технологічні особливості прокатки профілів тавровго типа. - Дніпропетровськ, 1989. -12с. - Деп. В ЦНІІТЕІТЯЖБУД 15. 03. 89 N 387 - ТМ 89
6. Голубєв В. О., Романовський І. Г. Досліди процесу прокатки низькотаврових профілів. - Дніпропетровськ- 9с. - Деп. В ЦНІІТЕІТЯЖБУД 12. 05. 88 N 211 - ТМ 89
7. Маменко П. П., Романовський І. Г., Левкіна І. В. Застосування чистового контрольного калібру для підвищення якості деяких елементів фланцевого профіля // Підвищення якості та економія металу шляхом підвищення точності прокатки фасоних профілів: Тез. докл. Всесоюзн. наук. -технічн. семінару 9 - 13 лютого 1987 р. - М., 1987. - с. 18-19.
8. Полатовський Б. С., Романовський І. Г. Геометричні параметри осередка деформації при прокатці таврового спецпрофіля// Союз науки і практики до 100-річчя Петровки. Тез. докл. Респ. наук. -практ. конф. 21 - 22 травня 1987 р. - Дніпропетровськ, 1987. - с. 87 - 87.
9. Романовський І. Г., Бергеман Г. В., Кострижев Г. П. Аналіз сучасних засобів прокатки таврових профілів // Союз науки і практики до 100-річчя Петровки. Тез. докл. Респ. наук. -практ. конф. 21 - 22 травня 1987 р. - Дніпропетровськ, 1987. - с. 87 - 89.

Підписано до друку 19.05.1993.
Формат 60x84/16. Папір друк. № 2. Друк офсетний.
Фіз.друк.арк. 1,0. Облік.-вид.арк. 0,94. Умовн.друк.арк. 0,93.
Тираж 100 экз. Замовлення 369. Безкоштовно.

Дніпропетровський металургійний інститут,
320635, Дніпропетровськ, пр. Гагаріна, 4

ДЗ ДМеті, 320005, Лошманське шосе, 3-б.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

465566

АВ 27.673

БЕЗКОШТОВНО